

# Consideração e Análises sobre Moagens em Contínuo com Particular Referência aos Aspectos Tecnológicos e às Economias Energéticas

Loris Lorici

Sacmi Impianti do Brasil Ind. e Com. Ltda.

**Resumo.** O presente trabalho apresenta uma análise comparativa entre os moinhos descontínuos e os contínuos tanto sob o ponto de vista das características técnicas quanto econômicas. Da análise comparativa conclui-se que a moagem contínua possibilita uma redução significativa dos custos de produção, além de conferir maior flexibilidade ao processo e contribuir para uma maior constância das características dos produtos acabados.

Como representantes do mundo de instalação cerâmica, temos assistido nas últimas décadas a uma evolução tecnológica que tem induzido profundas transformações nas instalações e na organização das indústrias cerâmicas.

Basta lembrar os exemplos:

- A adoção do forno a rolos para a queima de pisos, sanitários e louças.
- O emprego dos secadores rápidos de altíssima eficiência, sempre mais integrados nas respectivas tecnologias.
- A realização da colagem a pressão em ciclo rápido dos sanitários, com a utilização dos estampos de resina.
- A adoção do moinho a úmido em contínuo como complemento ao já conhecido atomizador para a preparação da barbotina, objeto de nossa relação.

Tal evolução foi induzida principalmente pela necessidade de diminuir custos de fabricação e aumentar a produtividade específica de cada instalação, obtendo ao mesmo tempo maior flexibilidade operativa e de produto com o maior respeito pela quantidade final e pelas condições ambientais.

Como fabricante de equipamentos, soubemos enfrentar este desafio, garantindo uma notável confiabilidade de operação e uma sensível redução dos consumos energéticos. E tudo em acordo com o andamento manifestado por esses fatores nos últimos anos, como evidenciado na Figs. 1 a 4.

Entrando mais especificamente no tema objeto de nossa exposição, cumpre-nos ressaltar imediatamente que também o moinho contínuo a úmido tem respondido mais do que satisfatoriamente às necessidades acima descritas.

Para melhor compreender a introdução deste equipamento, faremos um breve histórico das evoluções ocorridas no setor a partir dos anos 50.

As primeiras produções industriais de ladrilhos utilizavam ainda matérias-primas constituídas principalmente

de argilas naturais, e utilizavam, para a moagem, moinhos a seco; isto constituía parte de uma instalação apta a forne-

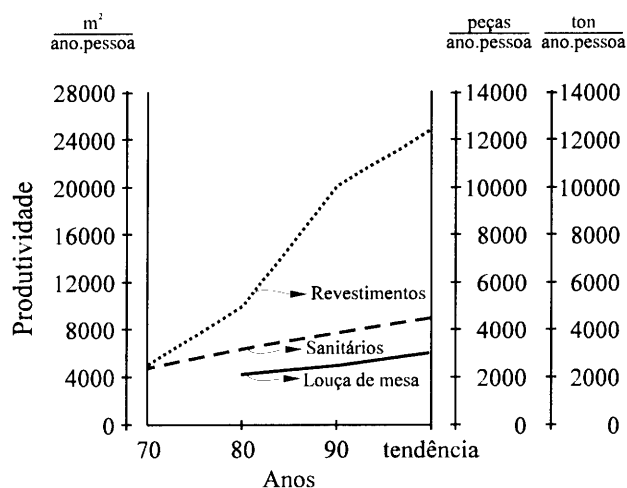


Figura 1.

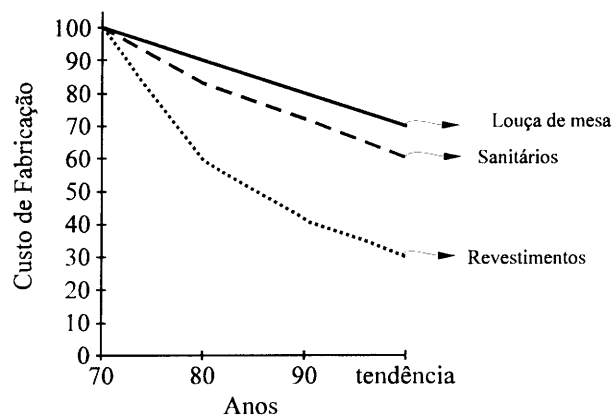


Figura 2.

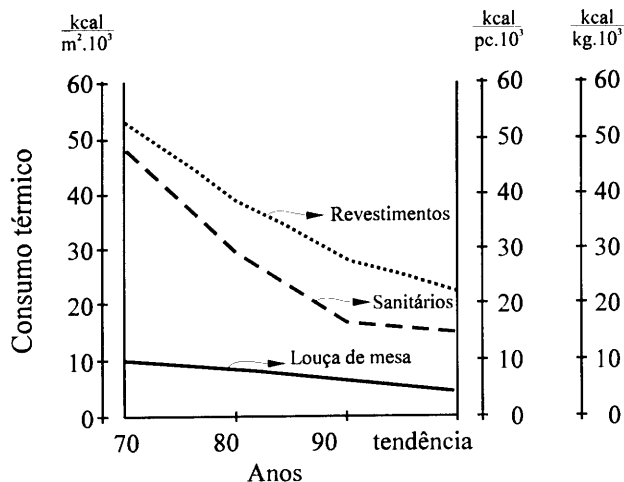


Figura 3.

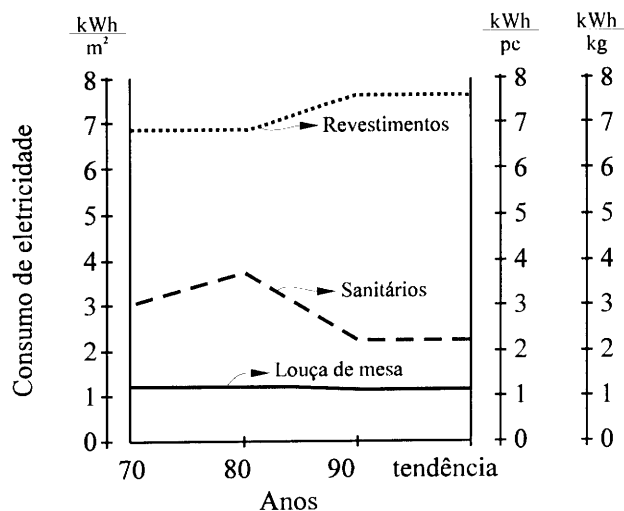


Figura 4.

cer um pó semitrabalhado contendo uma umidade de 6-7%. A energia utilizada era somente do tipo eletromecânica.

Sucessivamente, ao redor dos anos 60, começaram a se firmar produções industriais de ladrilhos com maior conteúdo técnico e estético que utilizavam não somente argilas naturais simples, mas formulações de massas cerâmicas difíceis de serem moídas por via seca. Entraram em cena, então, os clássicos moinhos a tambor rotativo tipo Alsing, com carga e descarga descontínua, moendo a úmido. Esses necessitavam, após a moagem, de outras máquinas do tipo mecânico, como o filtro prensa, e do tipo térmico, como os secadores a tapete, a fim de eliminar a água de moagem. O resultado obtido era sempre, como no caso da moagem a seco, um pó semitrabalhado com umidade residual de 6-7%.

A energia utilizada não era mais somente eletromecânica, pois a parte necessária para a secagem era energia térmica.

No final dos anos 60, foi introduzida na indústria cerâmica uma nova máquina que, em uma só fase, permitia

passar diretamente do produto obtido com a moagem a úmido em moinhos, a assim chamada barbotina, a um pó semitrabalhado com a umidade residual desejada de 5-6%. Além disso, o semitrabalhado assim obtido apresentava-se não mais em forma de pequenas pedrinhas irregulares, mas sob a forma de um pó granulado, mais adequado às sucessivas fases de trabalho. Esta nova máquina era o secador por atomização, comumente chamado de atomizador.

Delineava-se nesse momento uma nova instalação e uma nova tecnologia que simplificava de forma notável o processo de moagem a úmido, mostrando-se interessante para a quase totalidade dos produtos.

Quanto ao aspecto energético, persistia o uso tanto da energia elétrica como da térmica; os dois processos se interligavam tão perfeitamente que devemos considerar, quando se fala do consumo energético, o conjunto dos dois e não a simples unidade.

No início dos anos 80, com o aumento da capacidade produtiva, o advento da automatização e a necessidade sempre crescente das reduções de custos, percebe-se que a moagem a úmido com moinhos descontínuos é incapaz de dar respostas adequadas. Torna-se necessário introduzir um novo conceito de moagem, que permita superar certos limites próprios do moinho descontínuo: inicia-se o uso na produção cerâmica de ladrilhos, de maneira mais consistente (casos esporádicos já existiam), do moinho rotativo em contínuo.

Além das vantagens do tipo energético que em seguida evidenciaremos, as aplicações de moagem em contínuo a úmido permitem uma série de vantagens práticas e tecnológicas que se pode assim catalogar:

*Menor tempo de moagem, o que implica em maior produção específica por unidade de volume-máquina*

- A relação entre os corpos moedores e o material a moer no interior do moinho contínuo durante seu funcionamento é de 3 para 1, enquanto no moinho descontínuo tal relação é de 1 para 1.
- A subdivisão dos moinhos em câmaras separadas contendo corpos moedores com dimensões progressivamente menores permite uma ótima relação entre essas dimensões do material a moer, provocando um forte aumento na eficiência da moagem.
- O resultado é uma economia nos volumes utilizados para moagem e portanto também nos espaços ocupados.

*Maior constância nas características dos produtos obtidos (barbotina)*

A completa automatização e controle de carga e descarga eliminam a possibilidade de erros devido ao fator humano. O processo está sob controle contínuo; nada é deixado ao acaso.

## Melhores condições de controle granulométrico

A descarga com o moinho em movimento reduz os fenômenos reológicos do tipo tissoróptico. Isto, unido à alta temperatura do produto descarregado, permite peneirar em malhas muito reduzidas, com grande vantagem da qualidade. Densidade, viscosidade e resíduo são mais constantes e controláveis.

## Redução do trabalho físico do operador e diminuição quantitativa da mão-de-obra.

- Diminuição dos tempos perdidos devido a carga/descarga dos moinhos descontínuos, que no caso de massa com alto resíduo e ciclos de moagem reduzidos podem representar até 40% do tempo total.
- A automatização de todas as operações, com exceção da reintegração dos corpos moedores, permite que o pessoal encarregado se dedique principalmente ao controle decisivo.

Somente a descrição desses itens não evidencia suficientemente os melhoramentos tecnológicos que foram alcançados. A experiência prática, ao invés, tem demonstrado o quanto estes têm influenciado no melhoramento quantitativo e qualitativo dos produtos semitrabalhados e em consequência, dos produtos finais. São prova disso as 70 unidades instaladas em várias partes do mundo, 60 das quais nos últimos três anos.

Após ter colocado devidamente em evidência estes detalhes, passemos às considerações do tipo energético.

Como já evidenciado anteriormente, este estudo deve ser efetuado examinando o moinho contínuo conjuntamente com a operação sucessiva de secagem por atomização, enquanto é sobretudo nesta última fase que se realizam as economias energéticas originárias da moagem.

Para traduzir na prática os conceitos e apresentar valores concretos, utilizamos uma comparação entre instalações de produção do semitrabalhado de igual capacidade produtiva, utilizando a mesma massa cerâmica e o mesmo resíduo de moagem.

O primeiro utilizando o moinho a úmido contínuo, o segundo composto como os clássicos moinhos Alsing descontínuos.

A Fig. 5 evidencia a capacidade produtiva de cada um dos moinhos: MTC 041 - MTC 071 - MTC 101 - MTC 161 em função da tipologia produtiva. Examinaremos portanto o maior e o menor destes: o MTC 161 e o MTC 041.

**Exemplo 1.** Características e capacidade dos moinhos examinados e relativo atomizador comum.

- Nr. 1 Moinho rotativo de 160.000 L de volume.  
Capacidade produtiva diária: 517,5 t (22,5 t/h x 23 h/dia).  
Revestimento em borracha e seixos em sílica

- Nr. 14 Moinhos descontínuos tipo Alsing de 30.000 L de volume cada um.  
Revestimento em borracha e seixos em sílica.  
Tempo do ciclo de moagem: 11 h (9 h de moagem efetiva, 2 h para carga e descarga).  
Quantidade de massa carregável: 17 toneladas.  
Capacidade de moagem diária de cada moinho: 37 t (17 t x 2,18 ciclos/dia).  
Capacidade de moagem diária global dos 14 moinhos: 518 t (37 t/dia x 14 moinhos).
- Nr. 1 Atomizador de 7.520.000 kcal/h para os dois tipos de moagem.

Abordaremos em primeiro lugar o consumo energético do tipo elétrico.

As vantagens do tipo operativo devidas à continuidade são compensadas pela relação entre o volume ocupado pelos corpos moedores e o volume total interno do moinho mais favorável no descontínuo.

Pode-se evidenciar que praticamente há uma igualdade, demonstrada também ao examinarmos as potências elétricas instaladas nos dois casos:

Nr. 14	moinhos descontínuos	1050 kW
Nr. 1	moinho contínuo	1030 kW

Examinaremos agora os aspectos relativos ao consumo de energia térmica.

A favorável correlação entre corpos moedores e materiais a serem moídos e a maior velocidade de moagem do moinho contínuo permitem a obtenção de uma elevada temperatura da barbotina obtida.

O tipo de descarga dinâmica, a elevada temperatura interna e a relação extremamente elevada entre corpos moedores e material a moer permitem a redução de alguns pontos percentuais no conteúdo de água de moagem.

Estes dois fatores são a base das sensíveis economias energéticas que evidenciaremos aqui em seguida, não sem antes evidenciar as características da barbotina obtida com os dois métodos e os elementos de base para o cálculo.

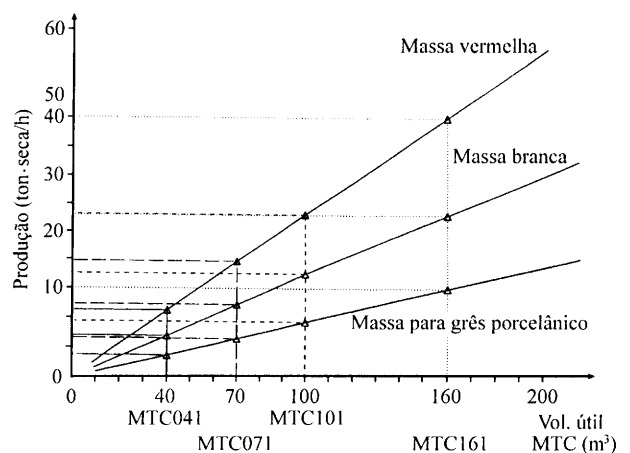


Figura 5.

## Características da barbotina

	Moagem descontínua	Moagem contínua
Densidade (peso/litro)	1670	1775
Conteúdo de água	32,5%	30,5%
Temperatura	38 °C	58 °C
Viscosidade	150 cP	178 cP
Resíduo sobre 63	5% do seco	5% do seco

## Elementos para o cálculo

Poder calorífico do combustível	8.400 kcal/Nm <sup>3</sup>
Calor específico da barbotina	0,5 kcal/Kg
Conteúdo de água residual no pó	6%
Capacidade térmica do atomizador	7.520.000 kcal/h

Para uma maior compreensão dos dados resultantes, formulamos a seguinte tabela comparativa:

	Máquina descontínua	Máquina contínua	Diferença Absoluta (e percentual)
1. Quantidade de calor necessário para vaporização de 1 L de água na barbotina (*)	800 kcal	760 kcal	-40 kcal (-5%)
2. Capacidade de evaporação real do atomizador	9.400 L/h	9,895 L/h	+ 495 L/h (+5,3%)
3. Capacidade produtiva de pó atomizado	23.943 kg/h	28.067 kg/h	+4.124 kg/h (+17,2)
4. Energia térmica necessária para secagem da barbotina	305 kcal/kg	260 kcal/kg	-45 kcal/kg (-14,8%)
5. Energia elétrica gasta para produzir o pó atomizado somente atomizador	7,81 kWh/t	6,68 kWh/t	-1,13 kWh/t (-14,4 %)

\* Devido à diferente temperatura das barbotinas na saída do moinho (58 °C para o contínuo, 38 °C para o descontínuo).

Resumindo, evidenciamos que, com a moagem em contínuo, a temperatura da barbotina aumenta em 20 °C, e ao mesmo tempo a porcentagem de água sobre o total se reduz (no nosso exemplo) de 32,5% para 30,5%.

A conseqüência destes fatos se traduz em:

- Um aumento produtivo ponderável de 17,22% (28.067 - 23.943): 23.943.

- Uma diminuição do consumo térmico de 14,8% (305 - 260): 305.
- Uma diminuição do consumo elétrico relativo a fase de atomização de 14,4% (7,81 - 6,68): 6,68.

Considerando:

Funcionamento atomizador: 161 h/semana

Peso produto: 18 kg/m<sup>2</sup>

A instalação descontínua considerada poderia produzir:

$$23943 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 161 \frac{\text{h}}{\text{sem}} \times \frac{30 \text{ sem}}{7 \text{ mes}} \times \frac{1 \text{ m}^2}{18 \text{ kg}} = 917,815 \frac{\text{m}^2}{\text{mes}}$$

**e não mais, devido à capacidade de evaporação do atomizador.**

Enquanto a instalação contínua produziria:

$$28067 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 161 \frac{\text{h}}{\text{sem}} \times \frac{30 \text{ sem}}{7 \text{ mês}} \times \frac{1 \text{ m}^2}{18 \text{ kg}} = 1.076.000 \frac{\text{m}^2}{\text{mês}}$$

Revendo a Fig. 5, observamos com o moinho MTC 161 tem efetivamente a possibilidade de incrementar a própria produção específica, de modo a poder desfrutar ao máximo a nova capacidade do atomizador.

### Exemplo 2

- Nr. 1 Moinho rotativo de 40.000 L de volume  
Capacidade produtiva diária: 149,5t (6,5 t/h x 23 seixos em sílica)
- Nr. 4 Moinhos descontínuos tipo Alsing de 30.000 L de volume cada um.  
Revestimento em borracha e seixos em sílica.  
Tempo de ciclo de moagem: 11 h (9 h de moagem efetiva, 2 h para carga e descarga).  
Quantidade de massa carregada: 17 t  
Capacidade de moagem diária por moinho: 37 t (17 t x 2,18 ciclos/g)  
Capacidade de moagem diária global dos 4 moinhos: 148 t (37 t/dia x 4 moinhos)
- Nr. 1 Atomizador de 2.172.000 kcal/h para os dois tipos de moagem

Sobre o consumo energético valem as mesmas considerações do Exemplo 1.

As potências instaladas são:

- Nr. 4 Moinhos descontínuos 300 kW  
Nr. 1 Moinho contínuo MTC 041 286 kW

As características da barbotina são as mesmas do exemplo anterior, assim como os elementos de cálculo. Somente as capacidades unitárias resultam diminuídas:

Para uma melhor compreensão dos dados resultantes, formulamos a nova tabela comparativa:

	Máquina Descontínua	Máquina Contínua	Diferença Absoluta e Percentual
1. Diferença de calor necessário para evaporação de 1 litro de água na barbotina (*)	800 kcal	760 kcal	-40 kcal (-5%)
2. Capacidade de evaporação real do atomizador	2715 L/h	2858 L/h	+143 lt/h (+5,2%)
3. Capacidade produtiva de pó atomizador	6915 kg/h	8106 kg/h	+1191 kg/h (+17,2%)
4. Energia térmica necessária para secagem da barbotina	305 kcal/kg	260 kcal/kg	45 kcal/kg (-14,8%)
5. Energia elétrica gasta para produzir pó atomizado somente atomizador	9,6 kWh/ton	8,2 kWh/ton	-1,4 kWh/ton (-14,65%)

(\*) Devido à diferente temperatura da barbotina na saída do moinho (58 °C para o contínuo, 38 °C para o descontínuo).

Resumindo, como feito para o moinho maior, temos:

- Um aumento produtivo em peso de 17,2% devido à relação dos valores (8.106-6.915):
- Uma diminuição do consumo térmico igual a 14,8% determinado pela relação dos valores 9.305-260): 305.
- Uma diminuição do consumo elétrico relativo à fase de atomização de 14,6% devido à relação (9,60-8,20): 9,60.

Com as mesmas hipóteses do caso anterior, a instalação descontínua considerada produziria:

$$6.915 \frac{\text{kg}}{\text{hora}} \times 161 \frac{\text{horas}}{\text{sem}} \times \frac{30 \text{ sem}}{7 \text{ mês}} \times \frac{1 \text{ m}^2}{18 \text{ kg}} = 265.075 \frac{\text{m}^2}{\text{mês}}$$

**E não mais devido ao vínculo dado pelo atomizador.**

Enquanto a instalação produziria:

$$8.106 \frac{\text{kg}}{\text{hora}} \times 161 \frac{\text{horas}}{\text{sem}} \times \frac{30 \text{ sem}}{7 \text{ mês}} \times \frac{1 \text{ m}^2}{18 \text{ kg}} = 310.730 \frac{\text{m}^2}{\text{mês}}$$

Estes confrontos referem-se a uma massa de monoqueima greificada com suporte branco, sendo esta a tipologia produtiva mais facilmente encontrada e verificada junto as cerâmicas de vários países que atualmente utilizam o moinho em contínuo.

As produções obtidas são as indicadas na já citada Fig. 5 com tolerância de até +15: 20%.

No que diz respeito às tipologias referidas a monoqueima com suporte vermelho que estão em nosso poder, mostram variações ainda mais elevadas devido à extrema variabilidade desse tipo de componentes.

Neste caso, foram atingidas produções de 50:55 t/hora para o MTC 161 e de 14:18 t/hora para o MTC 041.

O cálculo preciso de produção deverá portanto ser feito baseando-se em cada massa e nas matérias-primas utilizadas em cada instalação.

Para tal estudo, nosso laboratório está à completa disposição das cerâmicas interessadas.

Desejamos, além disso, sublinhar as mais interessantes características do moinho contínuo MTC 041. Sendo o menor da série, ele mostra-se extremamente indicado para todas as cerâmicas de pequeno e médio porte desejosas de se aproximar do processo em contínuo de maneira flexível e modular, com menores investimentos iniciais e contando com uma ou mais máquinas extremamente simples e confiáveis.

Descrevemos as principais características:

- A movimentação é assegurada por dois motores a corrente alternada de 132 kW e dois motores auxiliares de 11 kW;
- A transmissão é a correia através de um grupo intermediário de redução a engrenagens em banho de óleo (com controle elétrico de nível);
- O tensionamento das correias é assegurado por um comando parafuso sem fim / engrenagem epicicloidal que atua sobre um suporte excêntrico;
- As motorizações, os grupos de transmissão, regulagem e tensionamento estão totalmente contidos nas duas bases do moinho, onde a do lado de descarga comporta a base de escorregamento axial para compensação da dilatação de toda estrutura metálica;
- Peso e dimensões que tornam possível seu transporte em estradas mediante veículos normais;
- Extrema rapidez de montagem e de instalação no estabelecimento, devido a suas dimensões reduzidas;
- A manutenção apresenta as problemáticas normais dos moinhos descontínuos;
- Os controles da lubrificação dos grupos são automáticos; os suportes são facilmente inspecionáveis e desmontáveis.

Diâmetro interno	2.200 mm
Comprimento interno	10.550 mm
Volume interno	40.100 L
Volume útil com revestimento	36.550 L
Peso cilindro	20.000 kg.
Peso revestimento	8.000 kg.
Peso dos seixos de sílica	24.500 kg.
Peso da barbotina	8.300 kg.
Peso das bases e motorizações	13.700 kg.

Peso total moinho	74.500 kg.
Nº 2 motores principais	132 kW
Nº 2 motores auxiliares	11 kW
Potência instalada	286 kW
Velocidade do moinho em regime	18 giros/min
Velocidade do moinho em aviamento e posicionamento	1 giro/min

## Conclusões

Como se vê com todos esses dados, a moagem contínua representa a condição para uma redução generalizada dos custos de produção; o melhoramento decisivo da flexibilidade da instalação, uma melhor qualidade e constância dos produtos acabados; um respeito às normas ambientais e de segurança; e tudo isto em acordo com as modernas necessidades do mercado global.