

Influência da Distribuição de Tamanho de Partículas sobre a Piroplasticidade em Porcelanato Técnico em Função do Procedimento de Moagem

Radamés Darós Darolt^{a,b,*}

^a*Engenharia de Materiais, Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Av. Universitária 1105, Bairro Universitário, CEP 88806-000, Criciúma - SC, Brasil*

^b*Eliane Revestimentos Cerâmicos, Unidade Porcellanato, Rod. Luiz Rosso, Km 04, sn, Bairro Morro Estevão, CEP 88803-470, Criciúma - SC, Brasil*

**e-mail: radames@eliane.com*

Resumo: Este estudo trata da influência da distribuição de tamanho de partículas de porcelanato técnico em função do procedimento de moagem sobre a deformação pirolástica, além de outras propriedades tecnológicas. As matérias-primas plásticas e não-plásticas foram moídas separadamente em moinhos de bolas industriais, variando-se o tempo de moagem e o tempo de mistura entre elas. Após moagem, as condições foram queimadas em diferentes temperaturas para verificar-se a estabilidade do processo. Os resultados obtidos mostram que, em função da distribuição de tamanho de partículas pode-se reduzir o índice de piroplasticidade em 20%. Uma moagem inicial dos materiais não-plásticos seguida da mistura com os materiais argilosos possibilita a otimização do processo de moagem, sendo possível uma redução de duas horas do tempo total de moagem, com redução do consumo energético e aumento de produtividade do setor de preparação de massa por via úmida.

Palavras-chave: *distribuição de tamanho de partículas, otimização de moagem, eficiência de moagem, piroplasticidade, porcelanato técnico.*

1. Introdução

Numerosos trabalhos comprovam experimentalmente que mediante a modificação da distribuição de tamanhos de partículas de uma determinada matéria-prima é possível obter distintos empacotamentos em peças conformadas. Com isso, tanto as propriedades do produto acabado (porosidade, tamanho do poro, resistência mecânica) são afetadas, como o comportamento da massa durante o processo de fabricação é alterado, devido ao aumento da área superficial das partículas de menor tamanho¹⁻⁶.

As matérias-primas com características argilosas possuem um tamanho de partícula médio de 2 µm, enquanto os materiais rochosos (feldspatos e albitas) possuem um tamanho superior a 63 µm. Na etapa de moagem a maior parte do material a sofrer desgaste e cominuição são os materiais rochosos¹.

Por isso, o objetivo deste estudo consiste na variação do tempo de moagem dos materiais argilosos (matérias-primas plásticas) e rochosos (matérias-primas não-plásticas), sendo realizada separadamente a moagem da fração argilosa e da fração rochosa, para somente então realizar a adição da fração argilosa, completando-se assim a condição de massa. O efeito da moagem em separado foi avaliado em função da distribuição de tamanho de partículas (DTP) das barbotinas obtidas e do índice de deformação pirolástica do produto acabado.

1.1. Processo de moagem por via úmida

O equipamento tradicionalmente utilizado na moagem por via úmida é o moinho de bolas, que pode ser contínuo ou intermitente, segundo a construção mecânica e tipo de alimentação. Os elementos moedores podem ser de sílex, porcelana ou alta alumina. Seu revestimento pode ser de borracha, sílex ou tijolos cerâmicos (porcelana ou alta alumina)².

A ação moedora do meio de moagem deve-se à rotação do moinho, provocando o efeito denominado cascata (ângulo da carga de elementos moedores em torno de 45-60°), pois a ação inercial

de elementos moedores de alta densidade gera uma força de aproximadamente 60% da aceleração da gravidade, proporcionando assim a máxima ação de moagem, reduzindo o desgaste das bolas e do revestimento do moinho (Figura 1b). Dessa forma a velocidade do moinho é um importante parâmetro de operação, mas que normalmente não é ajustável³.

1.2. Empacotamento modal de partículas

Os materiais cerâmicos de origem argilomineral apresentam características bastante particulares quando considerados como partículas ou como aglomerados (Figura 2a). O controle da distribuição de tamanho das partículas de uma barbotina para fabricação de produtos cerâmicos - juntamente com outras características como a forma e o estado de agregação das partículas (Figura 2b) - são de fundamental importância na obtenção de um produto acabado de boa qualidade. Então, é fundamental que se faça um controle da distribuição de tamanho de partículas das matérias-primas utilizadas, para que, tendo-se um processo de moagem controlado, possa ser produzida uma massa cerâmica com uma distribuição de tamanho de partículas constante.

Um alto empacotamento destas partículas caracteriza um arranjo que maximiza a ocupação de um determinado espaço pelo material, diminuindo, consequentemente, a quantidade de vazios no sistema. Ao contrário, um baixo empacotamento resulta em uma grande quantidade de espaços não ocupados, e assim em uma maior variação da cinética de sinterização. Este condicionamento dimensional influencia ainda na resistência mecânica do material conformado, uma vez que este arranjo geométrico determina a conectividade interparticular e, consequentemente, leva a uma adesividade maior ou menor na microestrutura do material verde. Para esta discussão os tamanhos serão denominados: grande (grossos), médio e pequeno (finos).

Em um sistema binário, Figura 3a, ocorre a condição de máximo empacotamento de partículas, e a distribuição resulta em um preenchimento do espaço por esferas de tamanho grande contendo em seus interstícios esferas de tamanho menor; porém, esta condição é distante do ideal representado pelos 100% de densificação. A Figura 3b mostra o aumento da densidade quando se maximiza uma proporção de partículas de maior diâmetro, com preenchimento de seus espaçamentos intersticiais por partículas médias e de tamanho menor (finos).

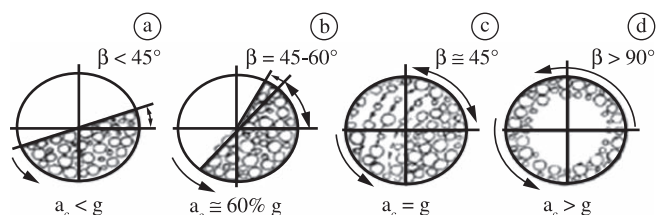


Figura 1. Ilustração esquemática do interior de um moinho de bolas para quatro diferentes valores da aceleração centrífuga (a_c), onde β é o ângulo formado entre o plano das bolas inclinadas e a horizontal (ângulo de cascata)⁴.

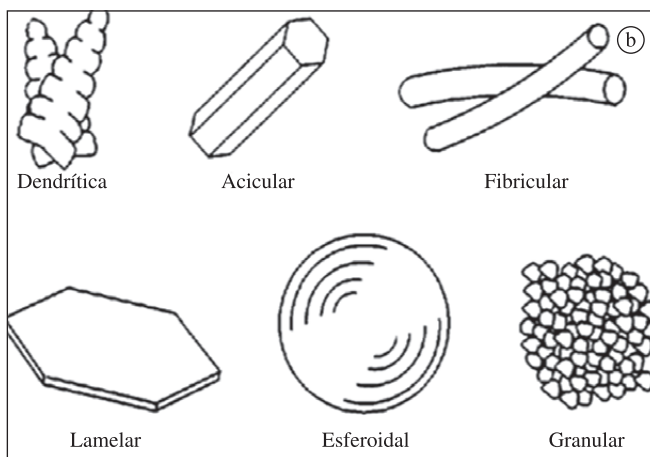
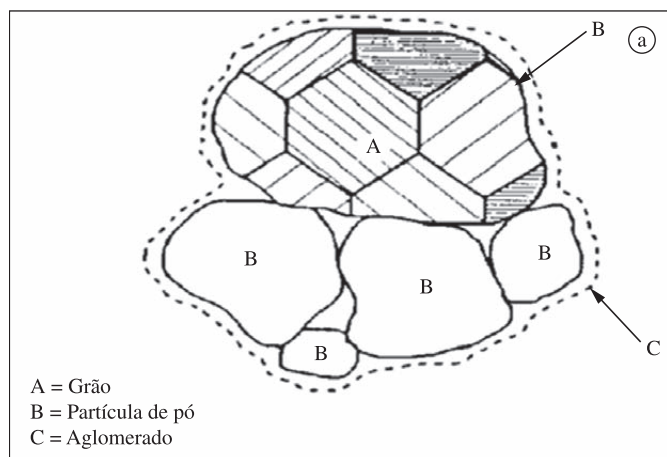


Figura 2. a) Representação e terminologia das porções materiais. b) Morfologia das partículas⁵.

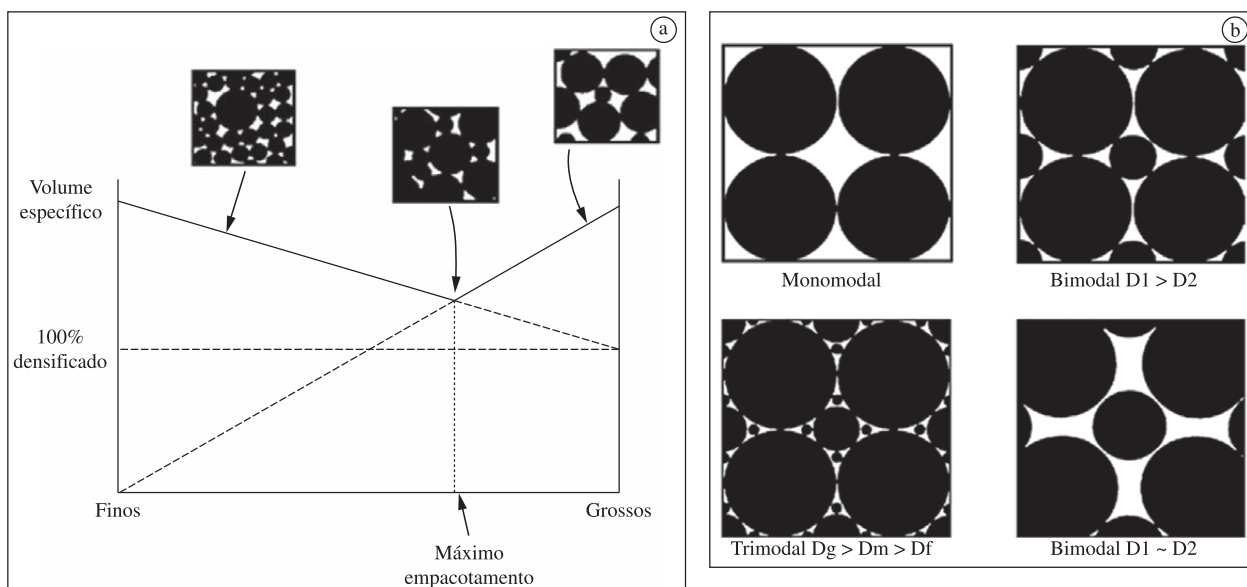


Figura 3. Condições de empacotamento em: a) sistema binário; e b) sistema ternário⁶.

Desta forma, o estudo do empacotamento de partículas pode ser definido como o problema da correta seleção da proporção e do tamanho adequado dos materiais particulados, de forma que os vazios maiores sejam preenchidos com partículas menores, cujos vazios serão novamente preenchidos com partículas ainda menores e assim sucessivamente⁷.

2. Procedimento Experimental

As matérias-primas que compõem a condição da massa em estudo estão divididas, segundo sua natureza plástica, em 57% de materiais plásticos e 43% de materiais não-plásticos. Experimentalmente, as etapas de pesagem e moagem das condições são divididas em duas etapas. Na primeira etapa foi feita a moagem dos materiais plásticos, realizada no setor de “dispersão de argilas”, em moinhos de 16.000 L, com padrão de moagem de 2 horas. A segunda etapa, a moagem dos materiais não-plásticos, foi feita em moinho de 26.000 L. Deve-se destacar que a empresa inicialmente não realiza a moagem separada dos materiais não-plásticos, ou seja, mistura-se a pré-barbotina dos materiais plásticos aos materiais não-plásticos desde o início da carga, realizando-se o início da moagem juntamente com a quantidade de água necessária. Nesta etapa do estudo faz-se a variação do tempo de moagem dos materiais plásticos (1, 2 e 4 horas), e a adição da pré-

barbotina após moagem dos materiais não-plásticos (2, 4 e 6 horas), ocorrendo à mistura completa da condição. A barbotina final é gerada pelo total de horas de moagem até atingir-se o resíduo padrão de fábrica.

Para o desenvolvimento deste trabalho foram selecionados moinhos de bolas industriais (16.000 e 26.000 L) com revestimento e carga de bolas de alta alumina. A relação entre a carga de bolas versus carga de material a moer e velocidade crítica do tambor foi padronizada para todos os experimentos².

As matérias-primas foram caracterizadas para determinação de sua análise química (FRX, Philips PW 2400), mineralogia (DRX, Philips PW 1830), tamanho de partículas (DTP, Cilas 1064L), e resíduo bruto (via peneiramento);

As condições foram processadas por moagem industrial, variando-se o tempo de moagem dos materiais plásticos e o tempo de moagem dos materiais não-plásticos. Após a moagem separada, foi realizada a mistura de ambas as partes até o resíduo de moagem atingir o padrão de fábrica, assim caracterizando uma condição. A barbotina de cada condição foi caracterizada quanto a sua distribuição de tamanho de partículas (DTP).

Após moagem foram preparados corpos-de-prova por prensagem uniaxial em prensa hidráulica de laboratório (Gabbrielli, L4/110), com pressão de prensagem de 460 kgf.cm⁻². Os compactos foram secos e caracterizados quanto a sua densidade aparente via imersão em mercúrio conforme método NBR ISO 13818:1997⁸, sendo em seguida sinterizados em forno a rolos de laboratório (Sere, ERL 121) em um gradiente de queima (1150, 1170, 1180, 1190, 1200, 1210, 1220 °C), com ciclo de 60 minutos, segundo uma curva padrão da empresa para queima de massa de porcelanato.

Em seguida, os corpos-de-prova queimados foram caracterizados quanto à retração linear, absorção de água e colorimetria (Colorgard system/05), segundo procedimentos da NBR 13818:1997⁸. Finalmente, foi realizado o ensaio de deformação pirolástica.

2.1. Condições desenvolvidas

Com as combinações dos tempos de moagem foram obtidas 12 condições, sendo uma condição o padrão (2/0) da empresa, conforme Tabela 1.

Na Tabela 1, a coluna dos Códigos significa que o número à esquerda da barra indica o tempo (em horas) de moagem dos materiais plásticos, e o número à direita da barra indica o tempo de moagem dos materiais não-plásticos. As condições de moagem com código zero (0), experimentos 1, 5 e 9, indicam que os materiais não-plásticos não foram moídos separadamente, ou seja, condição igual ao padrão de fábrica, variando-se apenas o tempo de moagem dos materiais plásticos.

3. Resultados e Discussões

3.1. Moagens dos materiais plásticos

Pela análise das distribuições de tamanho de partículas, Figura 4 e Tabela 2, é possível observar claramente o efeito que o tempo de moagem tem na redução do tamanho das partículas. Conforme aumenta o tempo de moagem, há uma redução no tamanho e um arredondamento no diâmetro médio das partículas, o que é evidente pela alteração da forma da curva de distribuição. O diâmetro médio da pré-barbotina com 1 hora de moagem é de 31 µm (curva linha tracejada); com 2 horas é de 27 µm (curva linha contínua); e com 4 horas é de 22 µm (curva linha pontilhada).

O rendimento de moagem pode ser determinado pelos valores de resíduo, que reduz da primeira hora de moagem de 39,0 para 31,1% na quarta hora. Um maior tempo de moagem altera o formato das partículas e sua área superficial, e durante a sinterização há variação das propriedades tecnológicas do produto final, como densificação,

Tabela 1. Condições dos experimentos estudados.

Número do experimento	Tempo de moagem dos materiais plásticos (horas)	Tempo de moagem dos materiais não-plásticos (horas)	Código
1	1	0	1/0
2	1	2	1/2
3	1	4	1/4
4	1	6	1/6
5	2	0	2/0
6	2	2	2/2
7	2	4	2/4
8	2	6	2/6
9	4	0	4/0
10	4	2	4/2
11	4	4	4/4
12	4	6	4/6

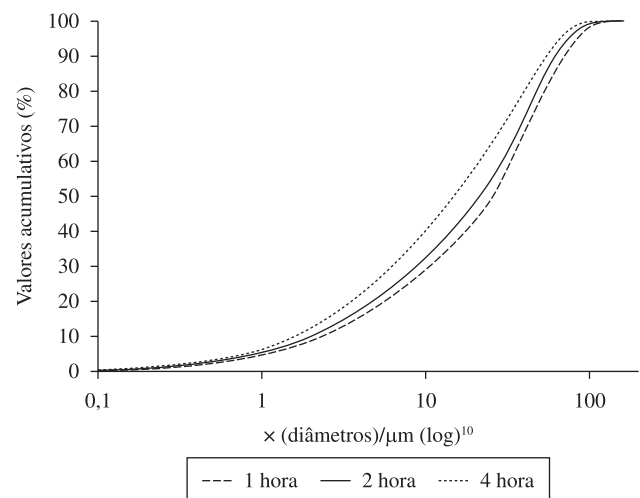


Figura 4. DTP após moagem dos materiais plásticos.

Tabela 2. Diâmetro das partículas e resíduo para cada hora de moagem dos materiais plásticos.

	1 hora	2 horas	4 horas
10% das partículas abaixo de:	2,3 µm	2,0 µm	1,7 µm
50% das partículas abaixo de:	26 µm	22 µm	15 µm
90% das partículas abaixo de:	70 µm	62 µm	54 µm
100% das partículas abaixo de:	140 µm	140 µm	112 µm
Diâmetro médio (µm)	31	27	22
Resíduo moagem (%)	39,0	36,7	31,1

tamanho de poros e porosidade e deformação pirolástica, entre outros.

3.2. Moagem dos materiais não-plásticos

Para análise das propriedades tecnológicas obtidas em função do tempo de moagem total das 12 condições foram utilizados os resultados para as condições extremas de distribuição de tamanho de partículas, ou seja, a curva para a moagem mais fina (código 1/6, 1 hora de moagem dos materiais plásticos para 6 horas de moagem dos não-plásticos) e a curva para a moagem mais grosseira (código 2/2, 2 horas de moagem dos plásticos para 2 horas de moagem dos não-plásticos), Tabela 3.

Com relação ao tempo de moagem foram obtidos resultados muito interessantes, principalmente para a condição 2/2, onde o tempo de moagem médio foi de 9h40min, em comparação a 11h40min do padrão (STD), uma redução de 2 horas, possibilitando um aumento de produtividade e economia de energia no setor. A condição 1/6 apresentou em média um acréscimo de 10 minutos no tempo de moagem em comparação ao padrão para se obter o resíduo de moagem. As condições com 4 horas de moagem dos materiais não-plásticos apresentaram em média 11 horas de moagem.

Com isso pode-se afirmar que quanto maior o tempo de moagem (neste caso 6 horas) dos não-plásticos, maior será o tempo de moagem final para se obter o resíduo padrão. Para os materiais plásticos não

houve efeito sobre o tempo de moagem final tanto para uma moagem com 1 hora quanto para uma moagem com 4 horas no setor de dispersão de argilas.

Como pode ser observado na Tabela 3, a condição padrão de moagem da empresa (2/0) mostra que 50% das partículas estão abaixo de 6,9 μm , valor intermediário quando comparado à condição de moagem mais fina (1/6), com $D_{50} = 6,3 \mu\text{m}$, e com a condição de moagem mais grossa (2/2), com $D_{50} = 7,6 \mu\text{m}$. A condição padrão da empresa (STD) assemelha-se mais à condição 1/6, onde 100% das partículas estão concentradas em valores abaixo de 45 μm , enquanto na condição 2/2 este diâmetro passa para 90 μm para os 100% das partículas.

3.3. Propriedades tecnológicas das condições

3.3.1. Densidade aparente a seco

Em relação à densidade aparente a seco, pode-se perceber que com o aumento do tempo de moagem dos não-plásticos há uma redução da densidade aparente, como pode ser observado para a moagem mais fina, 1/6, que apresenta $d_{ap} = 1,90 \text{ g.cm}^{-3}$. O padrão apresenta $d_{ap} = 1,93 \text{ g.cm}^{-3}$. Para a moagem mais grosseira, 2/2, a densidade aparente é de $1,94 \text{ g.cm}^{-3}$; este comportamento provavelmente resulta de um melhor empacotamento das partículas, sendo que a condição com distribuição mais fina provavelmente apresenta um menor número de tamanhos modais do que a condição mais grosseira⁶.

3.3.2. Curva de gresificação

Analisando-se os resultados da Figura 5 pode-se verificar que para a condição STD a máxima retração de queima (7,4%) é obtida a

Tabela 3. DTP e tempo total de moagem para as condições extremas e para a condição padrão da empresa.

Porcentagem/Condição	1/6	2/0	2/2
Condição	Mais fina	STD	Mais grosseira
10% das partículas abaixo de:	1,0 μm	1,1 μm	1,1 μm
50% das partículas abaixo de:	6,3 μm	6,9 μm	7,6 μm
90% das partículas abaixo de:	21 μm	22 μm	26 μm
100% das partículas abaixo de:	45 μm	45 μm	90 μm
Diâmetro médio	9,0 μm	9,6 μm	11,5 μm
T_{total} de moagem (T_{total} = tempo de moagem dos não-plásticos + tempo para atingir resíduo)	11h50min	11h40min	9h40min

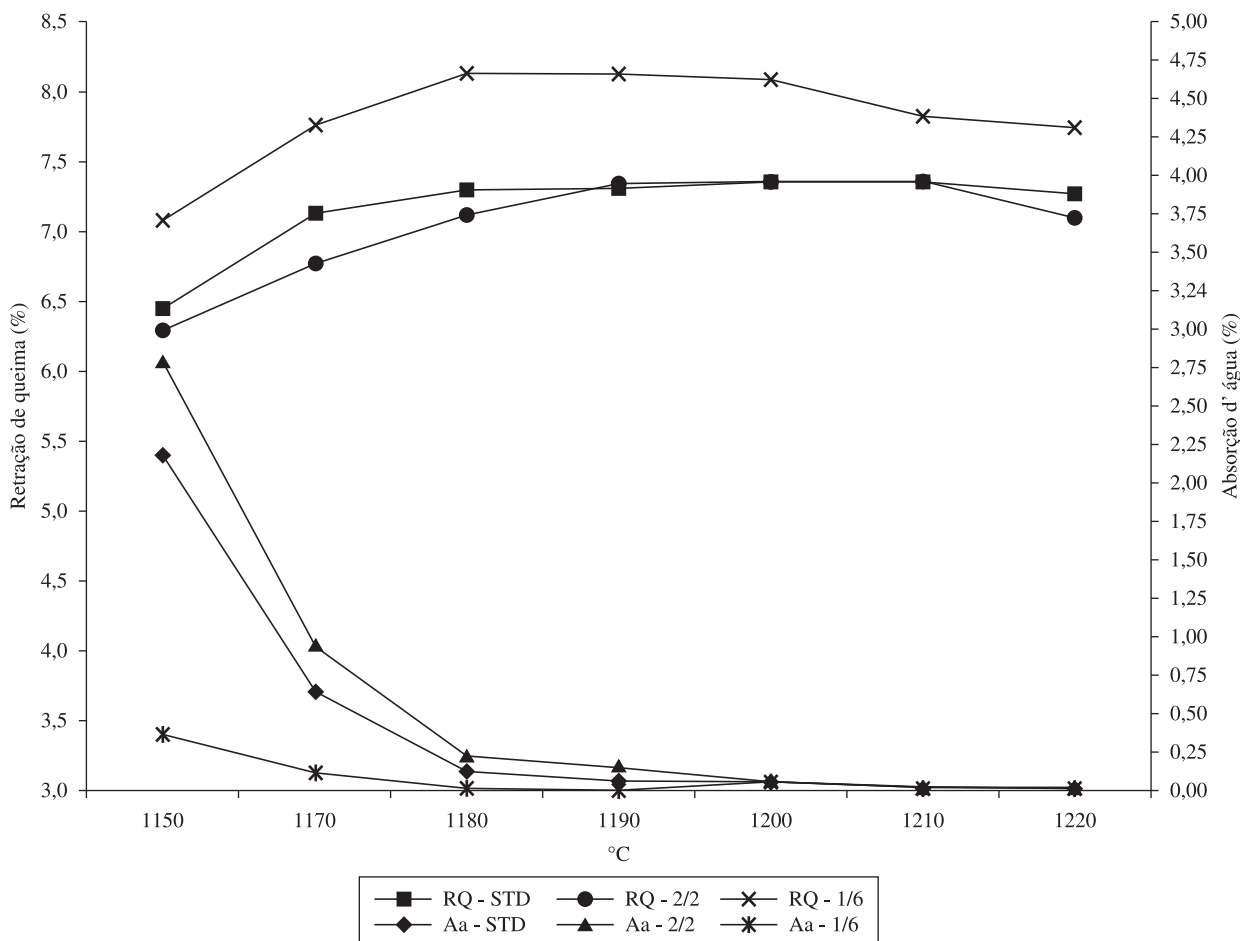


Figura 5. Curva de gresificação em função do tempo de moagem.

1200 °C, e nesta mesma temperatura a absorção de água é de 0,05%. Para a DTP mais fina (1/6) a máxima retração de queima é 8,1% que ocorre a 1180 °C e a absorção d'água nessa mesma temperatura é de 0,02%, mostrando o comportamento fundente da massa. Quanto mais estreita a distribuição e quanto menor o tamanho das partículas maior será sua reatividade durante a sinterização, em função da maior área superficial. A formulação mais grosseira apresentou valores similares à condição padrão.

De fato, uma boa reatividade entre as partículas irá favorecer as reações físico-químicas em alta temperatura para formação de novas fases cerâmicas e densificação do corpo cerâmico, o que pode ser observado pela absorção de água a 1150 °C onde, enquanto para as condições 2/2 e STD a absorção é alta (aproximadamente 2,5%), para a condição 1/6 este valor é de 0,36%.

3.3.3. Cor de queima

A condição com maior tempo de moagem dos materiais não-plásticos (1/6, mais fina) apresentou-se mais escura (coordenada L*) e avermelha (coordenada a*) do que a 2/2 (mais grosseira), Tabela 4. Principalmente quando comparada ao padrão a diferença de tonalidade para a formulação 1/6 é maior, sendo que o valor de L* é menor que o padrão (75,64 em relação a 77,41) e a coordenada a* é maior que o padrão (2,53 em relação a 1,42). Este comportamento provavelmente está relacionado com a maior ou menor dissolução dos elementos cromóforos, principalmente os óxidos de ferro, em função do tempo de moagem dos materiais plásticos (argilas e caulins), proporcionando uma cor mais escura e mais avermelhada.

3.3.4. Índice de deformação pirolástica

A DTP influencia diretamente o desenvolvimento da deformação pirolástica, conforme pode ser observado na Tabela 5. A pirolasticidade afeta a velocidade de vitrificação do produto final e pode influenciar também a viscosidade das fases líquidas formadas, alterando as propriedades técnicas finais.

Deste modo, quanto mais fina for a distribuição de tamanhos de partículas (condição 1/6), maior será a reatividade entre as partículas durante a sinterização devido a maior área superficial de contato entre as mesmas, o que garante a formação de fases líquidas em temperaturas relativamente baixas. Isto resulta em uma deformação pirolástica antecipada, com uma maior flecha de deformação (6,40 mm), o que é evidente para a condição que apresentou um tamanho médio de partícula de 9,0 µm.

Porém, uma distribuição de tamanho de partículas mais grosseira para um tamanho médio de partícula de 11,5 µm (condição 2/2) implica em uma menor reatividade entre as partículas, pois neste caso o contato entre as áreas superficiais é menor do que para o caso da condição 1/6, ocorrendo menor deformação, e conseqüentemente, menor será a flecha de deformação (3,81 mm). Pode-se afirmar que uma moagem mais fina (menor diâmetro médio) resulta em uma maior tendência à pirolasticidade, dada pela flecha de deformação, e também pelo fato da absorção de água ser praticamente nula a 1180 °C, enquanto que para uma moagem mais grosseria a absorção de água nula somente ocorre a 1200 °C.

É importante ressaltar que a condição padrão (2/0) apresentou um índice de pirolasticidade igual a $4,57 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$, enquanto a condição 2/2 apresentou o melhor resultado, com um índice de $3,64 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$, uma diferença de $0,93 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$ ou 20% de redução no índice de deformação pirolástica, Figura 6.

3.4. Análise econômica

Em função dos resultados obtidos para a condição 2/2, foi realizado um estudo econômico visando uma previsão de redução de gastos energéticos e aumento de produção para o setor.

Tabela 4. Coordenadas colorimétricas em função do método de moagem.

Colorimetria/Condição	1/6	2/0	2/2
Condição	Mais fina	STD	Mais grosseira
Coordenada L* (+ claro / - escuro):	75,64	77,41	77,28
Coordenada a* (+ vermelho / - verde):	2,53	1,42	1,59
Coordenada b* (+ amarelo / - azul):	10,17	9,64	9,53

Obs.: Os valores das coordenadas colorimétricas foram baseados nas temperaturas de máxima densificação em função do gradiente de queima, sendo que o corpo cerâmico quando em expansão muda o seu comportamento.

Tabela 5. Deformação pirolástica em função do método de moagem.

Condição	1/6	2/0	2/2
	Mais fina	STD	Mais grosseira
Flecha de deformação (mm)	6,40	4,86	3,81
Índice de pirolasticidade (cm^{-1})	$6,39 \cdot 10^{-5}$	$4,57 \cdot 10^{-5}$	$3,64 \cdot 10^{-5}$
Diâmetro médio da partícula (µm)	9,0	9,6	11,5

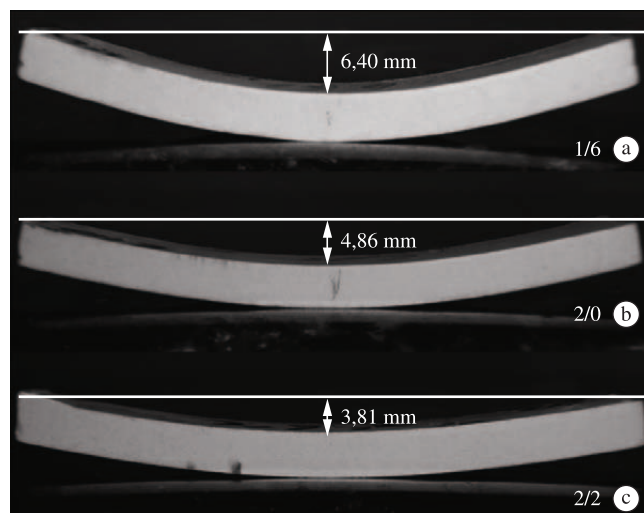


Figura 6. Peças submetidas à deformação pirolástica (flecha em mm) para as condições: a) 1/6; b) STD; e c) 2/2.

3.4.1. Aumento de produtividade

Considerando-se que o ciclo total de uma descarga após moagem é igual ao tempo necessário para carregar o moinho mais o tempo de moagem e o tempo para descarga, tem-se para uma produção diária média de sete moinhos durante 24 horas que:

- Ciclo de moagem para o STD: 12 descargas/dia;
- Ciclo de moagem para a 2/2: 14,6 descargas/dia;
- Aumento nominal de 2,6 descargas/dia ou 78 descargas/mês.

3.4.2. Consumos energéticos

O cálculo do custo energético por moagem é dado por:

$$\text{Custo moagem} = \text{consumo motor} \times t_{\text{moagem}} \times \text{Valor}(kWh \text{ da energia}) \quad (1)$$

Onde: Custo moagem é o consumo de energia para uma moagem (em R\$/moagem); Consumo motor é a quantidade de kW consumida em 1 hora; t_{moagem} é o tempo necessário para moagem (em horas); Valor (kWh) é o valor da energia para moagem (R\$).

Assim tem-se:

- Custo de moagem para o STD: 269,15 R\$/moagem;
- Custo de moagem para a 2/2: 213,08 R\$/moagem;
- Redução de 56,07 R\$/moagem (20,3%).

4. Conclusão

Os resultados obtidos neste estudo comprovam que alterações nas curvas de distribuição de tamanho de partículas em função do tipo de matéria-prima – que sofre um grau maior ou menor de cominuição – levam à alteração nas propriedades tecnológicas do produto acabado – neste caso porcelanato técnico.

Pode-se afirmar que para uma condição onde primeiramente são moídos somente os materiais não-plásticos durante duas horas e em seguida são misturados os materiais plásticos, ocorre otimização do processo de moagem, tanto por redução do tempo de moagem aliada a uma redução dos custos operacionais, quanto uma redução do índice de piroplasticidade em função de uma melhor condição de empacotamento das partículas.

Todos os resultados foram obtidos em moinhos industriais, onde as condições de moagem como distribuição de tamanhos de bolas, quantidades de bolas, velocidade de rotação do tambor, tipo de revestimento, entre outras variáveis, são padrão do processo industrial, o que comprova a confiabilidade dos resultados. Com relação aos resultados obtidos pode-se afirmar:

- Em relação à moagem dos materiais plásticos, há uma grande variação no tamanho de partícula: a variação do tempo de moagem de duas horas para quatro horas reduz o D_{50} de 22 para 15 μm , mostrando a importância de se controlar o resíduo de moagem desta pré-barbotina, o que atualmente não ocorre na empresa;
- Com relação à moagem somente dos não-plásticos o estudo mostrou que há possibilidade de otimização do processo de moagem, com uma redução de 11h40min para 9h40min de moagem. Com relação à DTP viu-se que a condição 2/2 apresentou um tamanho médio de partícula de 11,5 μm , mais grosseira quando comparada à situação atual de fábrica, que é de 9,6 μm , sendo que a condição extrema foi obtida com a condição 1/6, com um tamanho médio de 9,0 μm ;
- Com relação às propriedades tecnológicas as distribuições mais finas (1/6) apresentaram um pior empacotamento das partículas, com menor densidade aparente após secagem, consequentemente causando uma maior retração de queima, porém com redução da máxima temperatura de queima para 1180 °C para se obter absorção nula, ao contrário do padrão, onde estes valores ocorrem somente a 1200 °C, havendo assim a possibilidade de aumento da fusibilidade da condição estudada;

- Entre as diversas condições de moagem a melhor foi a 2/2, ou seja, duas horas de moagem dos materiais plásticos com mistura após duas horas de moagem dos não-plásticos, sendo que as propriedades físicas resultaram muito próximas ao padrão da empresa, porém com menor índice de piroplasticidade (redução de 20%). A possível redução de custo mensal com gastos energéticos é de aproximadamente R\$ 20.000,00, com aumento de duas e meia descargas/dia; porém deve ser estudada a melhor metodologia de se operacionalizar este novo processo de moagem caso venha a ser implantado, pois haverá um maior desgaste físico da equipe operacional pelo fato de se abrir e fechar as tampas do moinho com maior frequência.

Finalmente, pode-se obter uma melhora substancial no desempenho do produto (pela redução da deformação piropástica), utilizando como abordagem uma nova distribuição de tamanho de partícula do produto estudado.

Agradecimentos

Aos professores do departamento de Engenharia de Materiais da UNESC e do Instituto Maximiliano Gaidzinski, por disponibilizarem os equipamentos para a realização deste estudo. Em especial ao professor/orientador Dr. Adriano Michael Bernardin, ao orientador de campo M. Vicente de Lorenzi e ao professor do IMG Maykon Carginin.

Referências

1. BARBA, A. et al. **Matérias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas**. Castellón: Instituto de Tecnología Cerámica, 1997. 291 p.
2. BRISTOT, V. M. **Máquinas e equipamentos para cerâmica**. Criciúma: Luana, 1996. 352 p.
3. CARGNIN, M. et al. Influência do resíduo in natura das matérias-primas, carga de bolas e resíduo final no tempo de moagem via úmida em moinho de bolas. **Cerâmica Industrial**, v. 12, n. 6, p. 32-36, 2007.
4. RIBEIRO, M. J. P. M.; ABRANTES, J. C. C. Moagem em moinho de Bolas: estudo de algumas Variáveis e Otimização Energética do Processo. **Cerâmica Industrial**, v. 6, n. 2, p. 7-11, 2001.
5. THÜMMLER, F.; OBERACKER, R. **Introduction to Powder Metallurgy**. Cambridge: The Institute of Materials, 1993. 332 p.
6. BARBOSA JUNIOR, J. C. **Controle da distribuição do tamanho de partículas cerâmicas no processamento de pavimentos gresificados**. 1997. 185 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.
7. OLIVEIRA, I. R. et al. **Dispersão e empacotamento de partículas: princípios e aplicações em processamento cerâmico**. São Paulo: Fazendo arte, 2000. 195 p.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR ISO 13818: Placas cerâmicas para revestimento, especificação e métodos de ensaios**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.