

Viabilidade da Fabricação de Porcelanatos por Via Seca a Partir de Massas de Cor de Queima Clara. Parte III: Composição da Massa

**Fábio Gomes Melchtiades^{a,b}, Lisandra Rafalela dos Santos Conserva^{a,b},
Suelen Nastri^a, Álvaro Pereira Leite^a, Anselmo Ortega Boschi^{a,b*}**

^aLaboratório de Revestimentos Cerâmicos – LaRC, Departamento de Engenharia de Materiais – DEMA, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, Rod. Washington Luiz, Km 235, CEP 13565-905, São Carlos, SP, Brasil

^bPrograma de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – PPGCEM, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, Rod. Washington Luiz, Km 235, CEP 13565-905, São Carlos, SP, Brasil

**e-mail: daob@ufscar.br*

Resumo: Os porcelanatos apresentaram altas taxas de crescimento de produção e consumo no Brasil e no mundo na última década e possuem valor agregado mais elevado, dentre as tipologias de revestimentos cerâmicos fabricadas atualmente. Ainda que mais de 70% da produção brasileira de revestimentos cerâmicos seja fabricada pelo processo via seca, os porcelanatos são produzidos quase que exclusivamente por via úmida no Brasil e no mundo. Considerando as vantagens meio ambientais e econômicas do processo via seca, este trabalho teve por objetivo contribuir para a viabilização da fabricação de porcelanatos esmaltados a partir de massas de cor de queima clara, através do processo via seca. Para isso, foram estudadas as condições mais adequadas para a preparação da massa e posteriormente analisadas as possibilidades que se configuram para a formulação de massas destinadas a este processo. Ao final do trabalho, conclui-se a respeito do potencial técnico deste produto e são apresentadas as condições de processamento mais adequadas para sua viabilização em escala industrial. Nesta terceira parte do trabalho, encontram-se os resultados referentes aos estudos de formulação de massas realizados.

Palavras-chaves: *porcelanatos, via seca, matérias-primas, boratos, fundentes.*

1. Introdução

Nas etapas anteriores deste estudo^{1,2}, foram apresentados os resultados relacionados com a moagem e a granulação das massas envolvidas na fabricação de porcelanatos esmaltados produzidos por via seca. As conclusões parciais do trabalho apontaram para a necessidade do uso de moinhos pendulares de elevada capacidade de redução de tamanhos de partículas e de granuladores capazes de gerar grânulos de elevada fluidez.

Nesta etapa do trabalho, encontram-se os resultados dos estudos de formulação de massas realizados visando a obtenção de porcelanatos de cor de queima clara, com boas propriedades técnicas e estéticas, pelo processo via seca.

As massas atualmente preparadas pelo processo via úmida apresentam como requisito fundamental para sua viabilidade econômica, a necessidade de formação de suspensões de baixas viscosidades e elevadas concentrações de sólidos³. A baixa viscosidade das suspensões formadas desempenha importante papel para garantir a descarga dos moinhos, o transporte até os tanques de armazenamento e a posterior etapa de atomização. Dentro deste cenário, os defloculantes devem atuar como agentes que promovem a dispersão das partículas nas suspensões⁴, permitindo a obtenção de suspensões de baixas viscosidades com reduzidas proporções de água. Dessa forma, a produtividade dos atomizadores aumenta e os custos energéticos da etapa de atomização são reduzidos, tendo em vista que se relacionam com a energia necessária para a evaporação da água das suspensões.

Em vista dos requisitos das suspensões preparadas a partir das massas processadas por “via úmida”, é fundamental que as composições utilizadas apresentem comportamentos reológicos compatíveis com as exigências apresentadas. Neste sentido, algumas

argilas de elevada plasticidade geralmente apresentam utilização restrita nas composições das massas destinadas a este processo⁵, tendo em vista que alguns minerais reconhecidamente apresentam maiores dificuldades para formar suspensões estáveis com elevadas concentrações de sólidos e baixas viscosidades. Simultaneamente, as matérias-primas utilizadas para a formulação de massas para processos “via úmida” se restringem ao universo dos minerais insolúveis em água na temperatura ambiente, tendo em vista que a dissolução – ainda que parcial – pode afetar o balanço de cargas na superfície das partículas e gerar efeitos danosos às propriedades reológicas das suspensões⁶.

No caso da fabricação de porcelanatos pelo processo “via seca”, o comportamento reológico em suspensão deixa de ser um requisito fundamental para a formulação da massa utilizada, tendo em vista que não são formadas suspensões durante a preparação da massa. Esta diferença pode viabilizar a utilização de argilas de alta plasticidade e de minerais que apresentem alguma solubilidade em água nas composições das massas especificamente destinadas a esta rota de fabricação. Considerando esta possibilidade, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o potencial de algumas matérias-primas fundentes em massas de porcelanatos preparadas por “via seca”, que não poderiam ser utilizadas em massas destinadas ao processo “via úmida”, pelas limitações impostas por seus comportamentos reológicos.

Os fundentes⁷ desempenham papel fundamental nas massas de porcelanato, dada a necessidade de obtenção de porosidades reduzidas no produto acabado. A baixa porosidade é obtida através da formação de elevados volumes de fases líquidas durante a queima, que decorrem da fusão progressiva dos minerais fundentes utilizados na composição

da massa. Sendo assim, os fundentes são determinantes para a definição da temperatura de queima do produto, são responsáveis pela deformação pirolástica⁸ sofrida pela massa durante a queima e afetam de modo marcante as características microestruturais dos porcelanatos obtidos.

Nas massas de porcelanato preparadas por via úmida, os feldspatos são os fundentes mais tradicionais⁹. Os filitos¹⁰ nos últimos anos têm sido largamente utilizados em massas de porcelanato em substituição ao feldspato. Normalmente, a soma destas matérias-primas representa de 40 a 60% da composição das massas de porcelanatos.

Os boratos, por sua vez, podem ser alternativas de grande interesse para utilização em massas desta tipologia, tendo em vista que o B₂O₃ permite a formação de fases vítreas de baixas viscosidades em temperaturas reduzidas. Ainda que existam iniciativas¹¹ para sua utilização em massas destinadas aos processos “via úmida”, os boratos devem ser empregados com restrições em formulações destas massas, em função da solubilidade parcial que apresentam em água. Entretanto, em massas destinadas ao processo via seca, estes materiais podem atuar sem grandes restrições, tendo em vista que o comportamento reológico deixa de ser um requisito a ser atendido.

2. Objetivos

Dentro do contexto apresentado acima, o presente trabalho tem por objetivo principal contribuir para a viabilização da fabricação de porcelanatos esmaltados a partir de massas de cor de queima clara, através do processo via seca. Nesta etapa específica do trabalho, os seguintes objetivos específicos foram considerados:

- Avaliar o potencial de algumas matérias-primas fundentes em massas de porcelanatos preparadas por “via seca”, que não poderiam ser utilizadas em massas destinadas ao processo “via úmida”, pelas limitações impostas por seus comportamentos reológicos;
- Utilizar os resultados dos testes de avaliação de fundentes para o desenvolvimento de uma massa de porcelanato via seca de cor de queima clara.

Os estudos relacionados com a moagem e a granulação das massas destinadas a este processo são apresentados nas Partes I e II deste artigo, respectivamente.

3. Procedimento Experimental

Para a realização do trabalho, foram coletadas amostras das matérias-primas presentes em uma massa industrial utilizada para a fabricação de porcelanatos esmaltados pelo processo “via úmida”. As matérias-primas foram dosadas na proporção que define a formulação da massa, gerando a composição denominada “Massa Porcelanato AT”. Inicialmente esta massa foi caracterizada química e mineralogicamente através de análises de fluorescência de raios X e difração de raios X.

Simultaneamente foram coletadas amostras dos fundentes testados no trabalho: barrilha, hidroboracita, ulexita e colemanita. Estas matérias-primas foram selecionadas em virtude dos potenciais que apresentam para atuar como fundentes durante a queima, denotados pelos elementos químicos que fazem parte de suas composições – B₂O₃, Na₂O, CaO e MgO. Os boratos selecionados apresentam vantagens econômicas em comparação com o ácido bórico e os bórax hidratados. Inicialmente suas composições químicas foram determinadas por fluorescência de raios X para confirmação dos elementos químicos presentes e suas proporções.

Para avaliação do potencial que estas matérias-primas apresentam como fundentes, as mesmas foram adicionadas em teores fixos sobre a massa de porcelanato selecionada para esta etapa do estudo. A Tabela 1 apresenta as composições das massas testadas.

Todas as massas foram moídas por “via seca” em moinho de martelos de laboratório com complementação da moagem realizada a seco em almofariz e moinho de bolas de moagem rápida de laboratório. A moagem foi realizada até que todas as massas apresentassem passagem completa pela peneira ABNT #230 (abertura de 63 µm). Após a moagem, todas as massas foram granuladas em peneiras de laboratório com adição de 6,5% de umidade, forçando a passagem dos aglomerados obtidos por peneiras com aberturas de 1,0 mm de diâmetro. As massas granuladas repousaram por 24 horas para a homogeneização da umidade utilizada para a granulação e

Tabela 1. Composições das massas testadas.

Matérias-primas	STD	B	H	U	C
Massa porcelanato AT	100,0	97,5	97,5	97,5	97,5
Barrilha (%)	-	2,5	-	-	-
Hidroboracita (%)	-	-	2,5	-	-
Ulexita (%)	-	-	-	2,5	-
Colemanita (%)	-	-	-	-	2,5

Tabela 2. Composições químicas da massa de porcelanato AT e dos fundentes.

Óxidos (%)	Massa porcelanato AT	Barrilha	Hidroboracita	Ulexita	Colemanita
P.F.	5,59	40,52	26,61	6,57	25,68
SiO ₂	68,02	0,01	5,98	7,22	9,69
Al ₂ O ₃	17,72	-	1,04	1,43	2,18
Fe ₂ O ₃	1,24	0,03	0,68	0,67	0,76
TiO ₂	0,42	-	0,12	0,23	0,14
CaO	1,05	-	14,18	12,07	22,11
MgO	1,50	-	9,46	0,70	2,11
Na ₂ O	2,20	58,23	-	16,80	0,40
K ₂ O	2,02	0,01	0,27	0,46	0,53
MnO	-	-	-	-	0,01
P ₂ O ₅	0,02	-	-	0,05	0,07
B ₂ O ₃	-	-	41,59	53,52	35,97

posteriormente foram utilizadas para a conformação de corpos de prova por prensagem.

Foram conformados corpos de prova de dimensões aproximadas $60 \times 20 \times 6 \text{ mm}^3$, por prensagem uniaxial em prensa hidráulica de laboratório, empregando-se pressão de compactação fixa de 380 Kgf/cm^2 . Os corpos de prova obtidos foram caracterizados através das seguintes análises: densidade aparente após secagem, módulo de ruptura à flexão após secagem, retração linear de secagem, curvas de gresificação após queima em quatro diferentes temperaturas em ciclos de 45 minutos de duração total, com patamar de 5 minutos na máxima temperatura de queima, módulo de ruptura à flexão após queima, coordenadas cromáticas por espectrofotometria de reflectância, índices de piroplasticidade e coeficientes de expansão térmica linear.

Após a conclusão desta etapa do trabalho, uma massa de porcelanato via seca foi desenvolvida, utilizando a metodologia de planejamento estatístico de experimentos¹², empregando-se hidroboracita como fundente auxiliar. O comportamento durante a queima desta massa foi comparado com o comportamento de três massas industriais de porcelanato via úmida, utilizadas por distintas empresas nacionais. A comparação envolveu o levantamento de curvas de gresificação e a avaliação dos índices de piroplasticidade destas massas em suas respectivas temperaturas de máxima densificação.

4. Análise e Discussão dos Resultados

A composição química da massa de porcelanato é apresentada na Tabela 2 juntamente com as composições químicas das matérias-primas fundentes selecionadas para o trabalho. Na Tabela 3 encontra-se a composição mineralógica da massa de porcelanato AT estimada a partir dos resultados da análise química e da análise mineralógica.

Os resultados obtidos indicam que a massa AT apresenta composição química típica das massas de porcelanato esmaltados utilizadas atualmente no Brasil, onde se destacam seus conteúdos de Fe_2O_3 e TiO_2 relativamente mais baixos em relação aos revestimentos de cor de queima vermelha. Dentre os óxidos dos elementos alcalinos (Na_2O e K_2O), nota-se que seus teores em peso são bastante semelhantes. A análise racional indica teores similares de albita e mica muscovita, sendo estes minerais responsáveis por aportar os óxidos mencionados. Os elevados teores de mica muscovita possivelmente estão associados à utilização de filito¹⁰, que tem sido bastante utilizado como matéria-prima fundente nas massas de porcelanato esmaltado

Tabela 3. Composição mineralógica estimada da Massa Porcelanato AT.

Minerais (%)	Massa AT
Caulinita	19,0
Quartzo	37,1
Albita	18,6
Mica muscovita	17,1
Dolomita	3,5
Talco	2,4
Outros	2,3

Tabela 4. Características dos corpos de prova das massas antes da queima.

Massas	Densidade aparente (g/cm^3)	Módulo de ruptura flexão (MPa)	Retração de secagem (%)
STD	$1,94 \pm 0,02$	$2,8 \pm 0,2$	$0,11 \pm 0,01$
B	$2,01 \pm 0,02$	$6,6 \pm 0,7$	$0,22 \pm 0,01$
H	$1,93 \pm 0,03$	$3,3 \pm 0,6$	$0,15 \pm 0,02$
U	$1,93 \pm 0,02$	$2,9 \pm 0,3$	$0,14 \pm 0,02$
C	$1,96 \pm 0,02$	$3,0 \pm 0,3$	$0,14 \pm 0,01$

brasileiras, como alternativa para redução dos teores de feldspatos, que são menos abundantes no sul do país.

A análise racional indica ainda, além da presença de caulinita e quartzo, a existência de fundentes auxiliares na massa, representados pela presença de talco e dolomita em teores estimados inferiores a 3,0%.

As análises químicas dos fundentes evidenciam que as matérias-primas selecionadas apresentam elevada pureza, pois suas composições químicas são bastante semelhantes em relação às suas fórmulas químicas. Destaca-se que a barrilha apresenta maior pureza em relação aos boratos, que em geral, apresentam contaminações de SiO_2 compreendidas entre 5% e 10%. Além disso, deve-se destacar a presença de elementos cromóforos (Fe_2O_3 e TiO_2) nos boratos, os quais podem exercer influência sobre a cor de queima das massas, ainda que os teores destes elementos sejam plenamente compatíveis com os limites aceitáveis para massas de porcelanatos esmaltados.

A Tabela 4 expressa os resultados das características das massas antes da queima. Com exceção da massa contendo barrilha (massa B), as demais massas não apresentaram alterações significativas na densidade aparente e no módulo de ruptura à flexão após secagem em relação à massa STD. A massa contendo barrilha obteve densidade aparente e módulo de ruptura à flexão significativamente mais elevados em comparação com as demais massas. Este resultado está relacionado com o efeito ligante que o carbonato de sódio desempenha em massas de revestimentos cerâmicos. Conforme descrito na literatura¹³, este tipo de ligante forma pontes sólidas entre as partículas através de cristalizações, podendo promover incrementos de até 50% sobre a resistência mecânica dos corpos crus, quando realizadas adições da ordem de 0,5% em uma massa cerâmica.

Com relação à retração de secagem, os boratos adicionados geraram pequenos incrementos na magnitude da contração das massas em relação à massa STD. Por sua vez, a presença de barrilha na massa B foi responsável por um incremento expressivo na retração de secagem da massa, associado à solubilização desta matéria-prima na água utilizada para a granulação.

O comportamento das massas durante a queima pode ser avaliado através dos diagramas de gresificação representados nas Figuras 1 e 2, que indicam os efeitos da temperatura de queima sobre a retração linear e a absorção de água das massas.

Os diagramas de gresificação indicam que todos os fundentes testados foram efetivos para promover reduções na temperatura de queima da massa STD, tendo em vista que as massas onde foram adicionados atingem suas temperaturas de máxima densificação após queima em temperaturas notavelmente mais baixas em relação à massa STD. Tais resultados são altamente interessantes, levando-se em conta que o aumento da fusibilidade da massa pode permitir a utilização de temperaturas de queima mais baixas e/ou a utilização de ciclos de queima mais rápidos na fabricação de porcelanatos por via seca.

Especial ênfase deve ser dada aos resultados obtidos pela massa H – contendo hidroboracita como fundente. Esta massa apresentou máxima densificação após queima a $1140 \text{ }^\circ\text{C}$, o que representa uma redução de $40 \text{ }^\circ\text{C}$ na temperatura de queima necessária para que a

máxima densificação da massa STD fosse atingida. A massa contendo ulexita como fundente também apresentou fusibilidade bastante elevada, provavelmente em virtude da presença combinada de sódio e boro. O efeito fundente mais pronunciado da hidroboracita em relação aos demais boratos provavelmente se deve à maior participação relativa de boro nesta matéria-prima e menor conteúdo de SiO_2 ,

considerando as proporções relativas entre os elementos durante a queima (isenta de perda ao fogo).

No caso dos corpos de prova contendo barrilha, observou-se a formação de uma fina camada vitrificada na superfície superior dos mesmos. Este fenômeno provavelmente está associado com a solubilização completa da barrilha na água de granulação. Durante

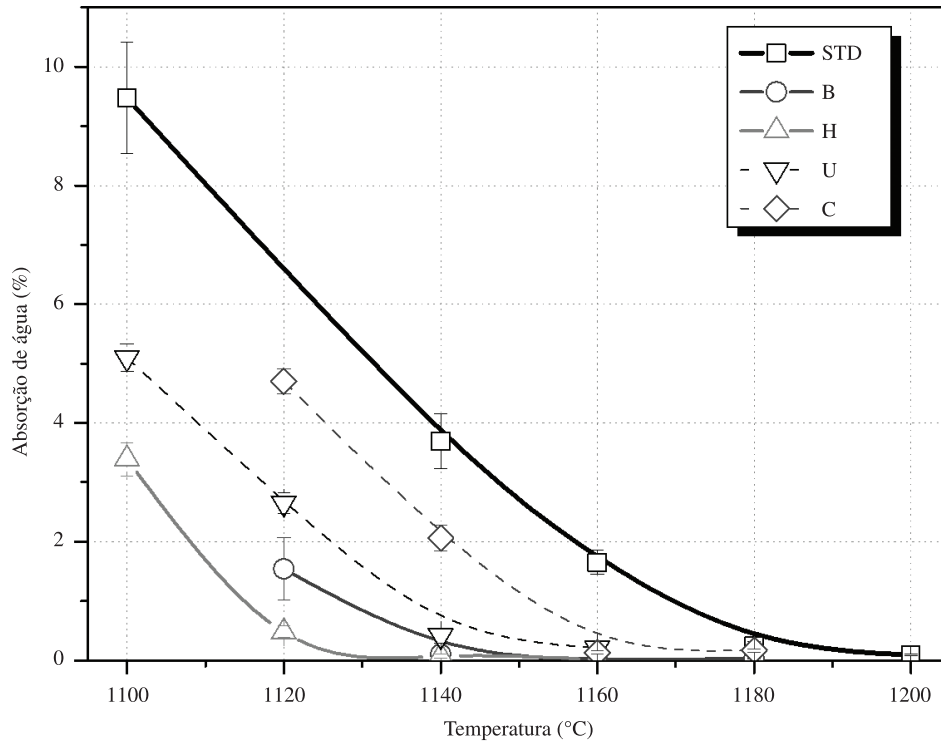


Figura 1. Efeitos da temperatura de queima sobre a absorção de água das massas STD, B, H, U e C.

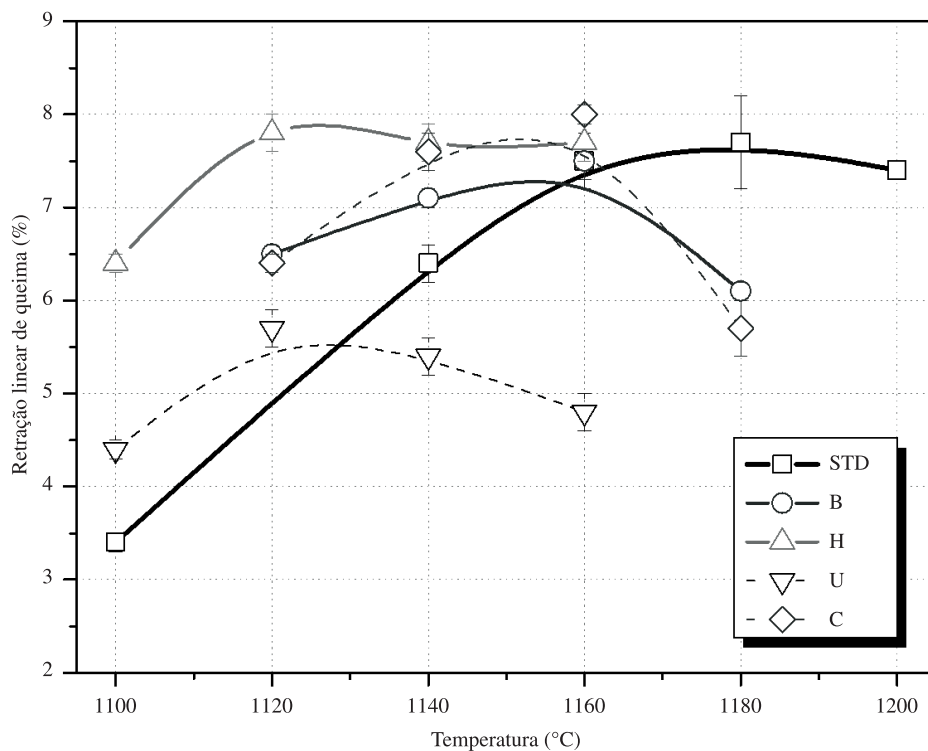


Figura 2. Efeitos da temperatura de queima sobre a retração linear de queima das massas STD, B, H, U e C.

a secagem dos corpos de prova, a barrilha é transportada pela água para a superfície das peças e, após a evaporação da água, o carbonato de sódio se cristaliza na superfície. Este fenômeno praticamente inviabiliza a utilização de barrilha como fundente neste tipo de massa, ao menos no teor testado, considerando que gera grande heterogeneidade nos corpos queimados.

Além da redução da temperatura de máxima densificação das massas, a análise das curvas de gresificação demonstra que os intervalos de queima das massas contendo os fundentes testados tornam-se menores em relação à massa STD. Este fato pode ser comprovado pelos formatos das curvas de retração linear em função da temperatura de queima, que apontam para maiores alterações dimensionais nas massas contendo os fundentes testados em função de pequenas alterações de temperatura ao redor da temperatura de máxima densificação das massas.

Deve-se ressaltar que resultados semelhantes foram obtidos em trabalhos anteriores e apresentados na literatura especializada¹¹, onde estudos da mesma natureza foram realizados para uma massa de porcelanato fabricada por via úmida. Todavia, nas massas destinadas a este tipo de processamento, os boratos devem ser utilizados com muita cautela, tendo em vista que as propriedades reológicas das suspensões são diretamente afetadas pela presença dos mesmos, a partir de teores consideravelmente baixos de adição.

Na Tabela 5 encontram-se indicadas as temperaturas de máxima densificação das massas, juntamente com suas propriedades (módulo de ruptura, índice de piroplasticidade, coeficiente de expansão térmica e coordenadas cromáticas indicadoras da cor de queima) após queima nestas temperaturas.

Os resultados evidenciam a existência de diferenças expressivas nos módulos de ruptura à flexão dos corpos queimados em suas respectivas temperaturas de máxima densificação. Com exceção da massa B, todas as massas com a adição de fundentes apresentaram módulos de rupturas inferiores em relação à massa STD. Estes resultados decorrem da provável densificação heterogênea apresentada por estas composições, as quais apresentavam ligeira expansão nas temperaturas de queima necessárias para a obtenção de absorção de água nula. No caso da massa contendo hidroboracita, verificou-se que a resistência mecânica, avaliada através do módulo de ruptura à flexão, foi inclusive ligeiramente superior em relação à massa STD.

Com relação aos resultados dos índices de piroplasticidade, é possível verificar que, de uma forma geral, a adição de fundentes enérgicos tende a aumentar a susceptibilidade à deformação da massa STD. Este resultado decorre da redução da viscosidade das fases vítreas formadas, as quais apresentam maior fluidez em altas temperaturas e favorecem a deformação dos corpos de prova. A presença de boro, juntamente com os elementos alcalinos e alcalinos terrosos aportados pelos fundentes utilizados é responsável por este fenômeno nas massas em questão, tendo em vista os conhecidos efeitos destes elementos sobre a viscosidade dos vidros¹⁴.

Com relação ao coeficiente de expansão térmica, os efeitos da adição dos boratos estudados sobre a massa STD foram pouco

pronunciados, causando apenas ligeiras reduções provavelmente em virtude da diminuição da expansão térmica das fases vítreas formadas com a presença de boro. No caso da massa contendo barrilha, a presença de elevada concentração de sódio nas fases vítreas formadas certamente foi responsável pelo aumento do coeficiente de expansão térmica do produto. O sódio é apontado na literatura como um modificador de rede de efeitos marcantes sobre as propriedades dos vidros em razão de seu raio atômico¹⁴.

Por fim, a análise da cor de queima das amostras indica que as massas contendo os fundentes estudados apresentaram, via de regra, cores ligeiramente mais brancas, amareladas e avermelhadas. Estes resultados decorrem da utilização de temperaturas de queimas mais baixas para a obtenção das máximas densificações nos corpos, o que condiz com os efeitos apontados na literatura³ da temperatura de queima sobre as coordenadas cromáticas de massas de revestimentos cerâmicos.

O conjunto de resultados aponta para a existência de vantagens relevantes na utilização de hidroboracita como fundente em massas de porcelanatos produzidas pelo processo “via seca”. A hidroboracita praticamente não altera o comportamento da massa antes da queima e acelera de maneira expressiva a densificação do produto durante a queima, permitindo reduções importantes na temperatura de queima. Além disso, torna a massa apenas ligeiramente mais susceptível à deformação piropástica, sem afetar as demais propriedades do produto acabado.

Neste sentido, utilizou-se a metodologia de planejamento estatístico de experimentos (DOE) para gerar uma composição de massa destinada à fabricação de porcelanatos por via seca. As matérias-primas utilizadas foram: Filito, Argila plástica fundente, Argila branca refratária, Talco, Dolomita e Hidroboracita. O comportamento desta massa durante a queima foi comparado com três massas industriais de porcelanato esmaltado preparadas por via úmida. A Figura 3 e a Tabela 6 indicam os resultados obtidos através das curvas de gresificação e dos índices de piroplasticidade.

Os resultados indicam que é possível obter massas de porcelanato, processadas por via seca, de cor de queima clara e expressivamente mais fundentes em comparação com as massas atualmente utilizadas para a fabricação de porcelanatos esmaltados por via úmida. A presença de hidroboracita juntamente com argilas fundentes que geralmente são evitadas em massas de via úmida por conta de problemas reológicos, favorece a vitrificação em temperaturas mais baixas, o que poderia permitir reduções de temperaturas de queima da ordem de 30 °C a 60 °C para a fabricação de porcelanatos.

Os resultados apontam novamente para pequenas reduções no intervalo de queima e ligeiros incrementos no índice de piroplasticidade na massa contendo borato na formulação. Estes resultados eram esperados, considerando-se a elevada fusibilidade da massa desenvolvida, e supostamente podem ser contornados, tendo em vista que não se encontram muito diferentes daqueles apresentados pelas massas industriais preparadas por via úmida. Neste sentido, a dosagem de boratos em formulações de massas de porcelanato destinadas a processos “via seca” deve ser realizada levando-se

Tabela 5. Características das massas STD, B, H, U e C após queima nas respectivas temperaturas de máxima densificação.

Massas	STD	B	H	U	C	
Temp.máx. densificação (°C)	1180	1160	1140	1140	1160	
Módulo ruptura flexão (MPa)	64,7 ± 1,7	32,7 ± 3,0	72,6 ± 1,9	42,7 ± 0,7	51,2 ± 2,3	
Índice piroplasticidade (cm ⁻¹)	7,8 × 10 ⁻⁵	13,0 × 10 ⁻⁵	8,3 × 10 ⁻⁵	8,7 × 10 ⁻⁵	9,8 × 10 ⁻⁵	
α ₂₅₋₃₂₅ (°C ⁻¹)	68,4 × 10 ⁻⁷	77,8 × 10 ⁻⁷	66,8 × 10 ⁻⁷	66,2 × 10 ⁻⁷	66,9 × 10 ⁻⁷	
Coordenadas cromáticas	L*	60,7	58,7	62,6	64,1	62,3
	a*	2,1	3,8	3,6	4,2	2,6
	b*	12,2	15,8	12,7	14,1	11,9

Tabela 6. Caracterização da massa via seca desenvolvida em comparação com massas industriais processadas por via úmida.

Massas	Temperatura de queima (°C)	Absorção de água (%)	Índice de piroplasticidade (cm ⁻¹)
Via úmida X	1200	0,13	$8,7 \times 10^{-5}$
Via úmida Y	1180	0,14	$7,8 \times 10^{-5}$
Via úmida Z	1170	0,08	$9,2 \times 10^{-5}$
Via seca	1140	0,11	$9,4 \times 10^{-5}$

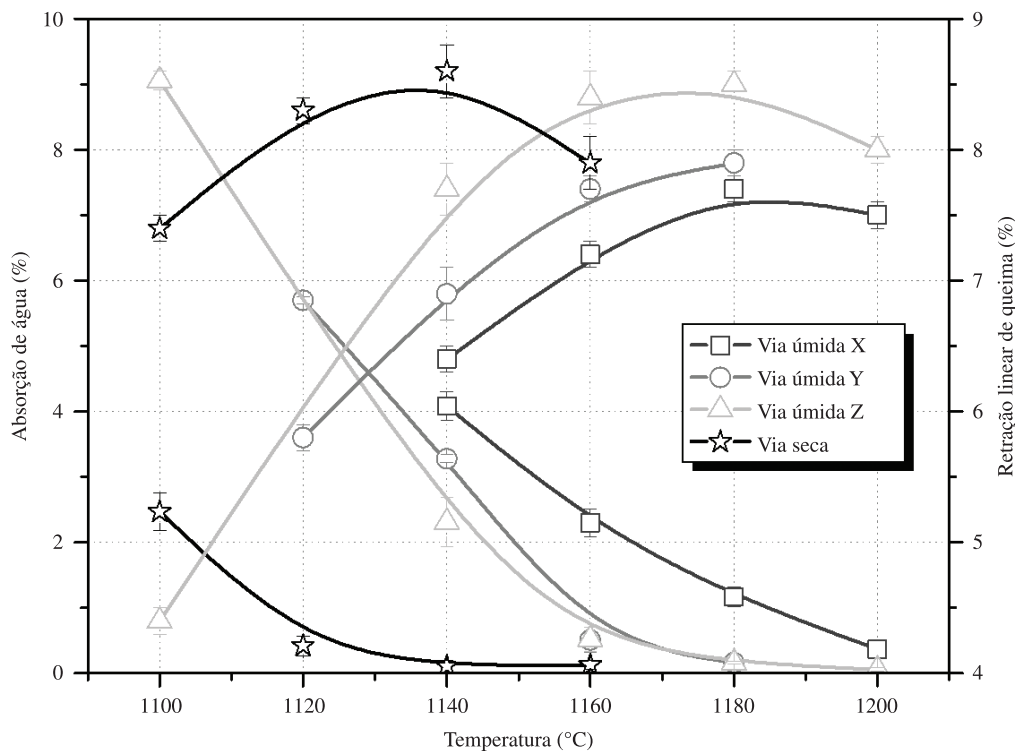


Figura 3. Curvas de gresificação de massas industriais de porcelanatos esmaltados via úmida e da massa de porcelanato via seca desenvolvida.

em conta seu efeito fundente energético, com precauções no teor de adição relacionadas à redução do intervalo de queima e aumento de deformação piropelástica que pode proporcionar às massas.

5. Conclusões Parciais

As seguintes conclusões podem ser estabelecidas com base nos resultados apresentados nesta etapa do trabalho:

- A utilização do processo via seca para a fabricação de porcelanatos esmaltados pode permitir a incorporação de uma série de matérias-primas na composição das massas que atualmente não são utilizadas ou apresentam restrições de uso nas massas preparadas por atomização;
- Os boratos podem ser empregados com sucesso em massas de porcelanato via seca, pois atuam como fundentes energéticos durante a queima e permitem reduções expressivas na temperatura de queima, mesmo quando adicionados em pequenas quantidades;
- De modo geral, a presença de boratos na massa de porcelanato esmaltado estudada pouco afetou as propriedades dos corpos verdes. Durante a queima, além da redução da temperatura de queima viabilizada, podem reduzir o intervalo de queima e incrementar a tendência à deformação piropelástica das massas;
- A utilização de barrilha não é recomendada nos teores testados neste trabalho, tendo em vista que apresenta alta solubilidade

na água utilizada para a granulação da massa e gera heterogeneidades nos corpos obtidos;

- Os melhores resultados foram obtidos com a adição de hidroboricita na massa de porcelanato estudada, em função de seu comportamento fundente e da maior homogeneidade dos corpos obtidos;
- Considerando as limitações de mistura dos processos “via seca”, deve-se atentar para a homogeneidade destes fundentes nas massas de porcelanato, pois a heterogeneidade pode comprometer o uso destas matérias-primas;
- Massas de porcelanato de cor de queima clara foram desenvolvidas e processadas por via seca, gerando produtos que podem ser queimados em temperaturas de queima cerca de 40 °C mais baixas em comparação com as massas industriais de porcelanato preparadas por via úmida.

6. Conclusões Finais

Com base no trabalho realizado, apresentado aqui em três partes, pode-se concluir que a fabricação de porcelanatos esmaltados de cor de queima clara é viável através do processo via seca. Este método de fabricação apresenta inúmeras vantagens do ponto de vista ambiental, energético e econômico em comparação com o tradicional método via úmida.

Através de testes semi-industriais ficou comprovado que é possível obter porcelanatos por via seca de propriedades técnicas

iguais ou superiores em relação aos porcelanatos fabricados por via úmida. Do ponto de vista estético, os produtos desenvolvidos apresentam as mesmas características dos produtos fabricados por via úmida, de modo que, após a fabricação, o consumidor final não deve ser capaz de distinguir o método de fabricação utilizado.

Para viabilizar a fabricação deste produto é necessário alterar de modo marcante as condições de moagem e granulação da massa, em relação aos padrões de trabalho tipicamente utilizados pelas empresas que produzem revestimentos cerâmicos por via seca no Brasil. As conclusões parciais apresentadas nesta série de três artigos indicaram a necessidade da obtenção de resíduos de moagem bastante finos e da granulação da massa através de granuladores capazes de gerar massas de elevada fluidez para o carregamento das prensas. Com relação à composição da massa, novas alternativas se configuram no que diz respeito à natureza e proporção de matérias-primas que podem ser utilizadas, possibilitando a utilização de formulações bastante distintas daquelas utilizadas atualmente nos porcelanatos fabricados por via úmida no país.

Referências

1. MELCHIADES, F. G. et al. Viabilidade da fabricação de porcelanatos por via seca a partir de massas de cor de queima clara. Parte I: Condições de moagem e homogeneização da massa. *Cerâmica Industrial*, v. 17, n. 4 p.13-21, 2012.
2. MELCHIADES, F. G. et al. Viabilidade da fabricação de porcelanatos por via seca a partir de massas de cor de queima clara. Parte I: Condições de granulação da massa. *Cerâmica Industrial*, v. 17, n. 4, p. 13-21, 2012.
3. BARBA, J. et al. **Materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerâmicas**. Castellón: Instituto de Tecnologia Cerâmica – AICE, 1997. 291 p.
4. BOHLMANN, C.; LUCK, C.; KUIRMBACH, P. Mecanismos de ação de produtos desfloculantes e dispersantes em pastas cerâmicas. *Kerâmica*, v. 241, p. 78-92, 2000.
5. PRADO, A. C. A. et al. Propriedades reológicas de matérias-primas do Pólo Cerâmico de Santa Gertrudes provenientes da Formação Corumbataí (região de Rio Claro, SP). **Rem**: Revista Escola de Minas, v. 60, n. 4, p. 613-620, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672007000400006>
6. SMILES, D. E. Effects of solutes on clay-water interactions: some comments. *Applied Clay Science*, v. 42, n. 1-2, p. 155-162, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2008.01.006>
7. DONDI, M.; RAIMONDO, M.; ZANELLI, C. Sintering mechanisms of porcelain stoneware tiles. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE SCIENCE, TECHNOLOGY AND APPLICATIONS OF SINTERING, 2003. **Proceedings...** Penn State University, 2003. 7 p.
8. BERNARDIN, A. M.; MEDEIROS, D. S.; RIELLA, H. G. Pyroplasticity in porcelain tiles. *Materials Science and Engineering*, v. A 427, p. 316-319, 2006.
9. BIFFI, G. **Il gres porcellanato**: manuale de fabbricazione e tecniche di impiego. Faenza: Faenza Editrice, 1997. 221 p.
10. ANGELERI, F. B. et al. Características físico-químicas e tecnológicos de materiais cerâmicos designados usualmente por filitos. *Cerâmica*, v. 6, n. 22, p. 2-15, 1960.
11. MORENO, A. et al. El boro como fundente auxiliar en las composiciones de gres porcelánico. In: CONGRESO MUNDIAL DE LA CALIDAD DEL AZULEJO Y DEL PAVIMENTO CERÂMICO – QUALICER, 6., 2000, Castellón. **Anais...** Castellón, 2000. p. 77-92.
12. ZAUBERAS, R.T.; BOSCHI, A. O. Avaliação de uma metodologia para a formulação de massas para produtos cerâmicos. *Cerâmica Industrial*, v. 6, n. 5-6, p. 25-28, 2004.
13. QUEREDA, F. et al. Uso del carbonato sódico como ligante en composiciones de baldosas cerâmicas. In: CONGRESO MUNDIAL DE LA CALIDAD DEL AZULEJO Y DEL PAVIMENTO CERÂMICO – QUALICER, 10., 2010, Castellón. **Anais...** Castellón, 2010. p. 1-15.
14. NAVARRO, J. M. F. **El vidrio**. 3. ed. Madrid: Argraf S.A., 2003. 684 p.