

## Redução de Espessura de Porcelanato Esmaltado: Desenvolvimento Laboratorial

Vitor de Souza Nandi<sup>a,b,c\*</sup>, Joel Rodrigues Madalena<sup>a,b</sup>, Adriano Michael Bernardin<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Cerâmica Ceusa Ltda, Urussanga, SC, Brasil

<sup>b</sup>Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, SC, Brasil

<sup>c</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – PGMAT,  
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, SC, Brasil

\*e-mail: vitor@unesc.net; vitor@ceusa.com.br

**Resumo:** Dentre os diversos tipos de revestimentos cerâmicos produzidos atualmente o porcelanato esmaltado tem se destacado devido as suas características técnicas como resistência mecânica, química, e à abrasão. Desta forma, este trabalho estuda a possibilidade de redução em 40% da espessura de porcelanato esmaltado, mantendo as características do produto final segundo as normas específicas (NBR 13818 e 15463). A partir de uma formulação padrão de grés porcelânico foi utilizado um aditivo caracterizado por aumentar a resistência mecânica a cru (seco) das placas e dar flexibilidade (manuseio do produto) em linha de produção, não alterando os resultados do produto após queima. As matérias-primas da formulação padrão foram caracterizadas quimicamente (FRX), sendo que o aditivo à base de polietilenoglicol foi adicionado nas suspensões da formulação padrão em teores mássicos de 0,5 a 1,5%. Após conformação das amostras por prensagem com espessuras de 5 e 8 mm, foram determinadas a densidade aparente e a resistência mecânica à flexão para o produto prensado, seco e queimado. Os resultados obtidos revelam que com apenas 1% de adição de ligante à suspensão cerâmica, podem ser produzidas placas de grés porcelânico esmaltado com 5 mm de espessura sem que sejam alteradas suas características após queima, resultando em um produto de alta tecnologia.

**Palavras-chave:** porcelanato esmaltado, redução de espessura, resistência mecânica, ligante.

### 1. Introdução

As empresas cerâmicas têm sempre procurado desenvolver seus produtos e processos de fabricação visando o mercado consumidor. Todavia, nos últimos anos, a rapidez destas mudanças é crescente. A busca pela inovação tecnológica tem sido uma ação estratégica para garantir a sobrevivência das empresas<sup>6</sup>.

Atualmente os países mais industrializados têm aprimorado a qualidade técnica de seus produtos em busca de uma maior competitividade<sup>7</sup>. Para as indústrias de revestimento cerâmico produzir com qualidade significa produzir cada vez mais, com menores custos e em menor tempo, mantendo seus produtos dentro de valores estabelecidos por normas técnicas que regem cada segmento. Para isto são necessários investimentos, que muitas vezes são altos. Avanços na automação do processo cerâmico têm permitido às empresas obter maior qualidade e produtividade<sup>3</sup>. Além disso, o custo operacional do processo de produção de revestimentos cerâmicos tem sido reduzido com várias ações relacionadas aos novos desenvolvimentos de produtos e também à eficiência energética<sup>6</sup>.

Especificamente em relação ao consumo de matéria-prima para fabricação de revestimento cerâmico, algumas variáveis têm sido investigadas como a natureza das matérias-primas, espessura dos revestimentos e tipos de defloculantes e aditivos. Os defloculantes promovem a defloculação do material que interage com a água e as matérias-primas cerâmicas. A função deste aditivo é ser adsorvido pela matéria-prima, principalmente pelos argilominerais, e ser dissolvido em água: esses fatores irão aumentar a repulsão das partículas, facilitando o processo de moagem. Argilominerais na forma de partículas suspensas em um meio líquido aglomeram-se espontaneamente, a menos que sejam adequadamente defloculados, por ação eletrostática<sup>8</sup>. Isto quer dizer que os defloculantes não permitem que as partículas da suspensão cerâmica sob atrito durante a moagem aglomerem-se. Defloculantes previnem o aparecimento de flocos (grumos), facilitando assim a moagem e melhorando a reologia da suspensão cerâmica.

Os tipos mais comuns de defloculantes estão divididos em orgânicos e inorgânicos. Entre os defloculantes orgânicos estão os carbonatos, silicatos, boratos e pirofosfatos de sódio. Entre os inorgânicos os poli (acrilatos) e poli (sulfonatos) de sódio e poli (acrilatos) de amônio<sup>9</sup>.

O defloculante normalmente utilizado em uma massa cerâmica é o silicato de sódio. Este tem a função de separar as partículas de materiais plásticos, fazendo com que a massa fique mais líquida sem alterar sua densidade. Entre outras funções os defloculantes diminuem (corrigem) a viscosidade (em tempos de escoamento) das suspensões cerâmicas; reduzem o consumo de água; facilitam a moagem, descarga, transporte, armazenamento, filtração e atomização da suspensão cerâmica<sup>3</sup>.

Os aditivos são adicionados às suspensões cerâmicas para se obter uma placa com resistência mecânica antes da queima suficiente para permitir sua manipulação e armazenagem. O aditivo forma pontes orgânicas entre as partículas, o que resulta em uma adesão forte depois da evaporação da água. Os aditivos devem ser compatíveis com a massa cerâmica utilizada, devem auxiliar a estabilização, atuar como lubrificante entre as partículas, decompor-se em baixas temperaturas sem deixarem resíduos e ser efetivos a baixas concentrações (abaixo de 1% em massa). Há muitos tipos de substâncias, naturais ou sintéticas, usadas como ligantes nos produtos cerâmicos. Em geral, em suspensões cerâmicas aquosas são usados ligantes derivados da celulose, como metilcelulose (MC), hidroxietilcelulose (HEC) e carboxi-metilcelulose (CMC), ou ainda ligantes do tipo vinil, como polivinilálcool (PVA) ou polivinilacetato (PVAc)<sup>5</sup>.

Pela seleção adequada do sistema ligante/plastificante e pelo ajuste das concentrações relativas é possível variar a flexibilidade da placa cerâmica. Os plastificantes melhoram a trabalhabilidade de placas cerâmicas de pequena espessura, sendo imprescindíveis na fabricação de folhas e lâminas cerâmicas. Os plastificantes mais usados são glicóis, como polietilenoglicol (PEG), glicerina, e ftalatos, como dibutilftalato (DBP)<sup>5</sup>.

A razão ótima ligante/plastificante pode ser determinada experimentalmente para cada sistema. Normalmente, o conteúdo de plastificante é menor ou igual ao conteúdo de ligante. Por exemplo, para o caso de uma suspensão não-aquosa de alumina, a folha crua exibe flexibilidade ótima para uma razão ligante/plastificante de 1 a 1,5. A adição de plastificante aumenta a deformação de folhas, lâminas ou placas cerâmicas sob tração, o que resulta na elevada flexibilidade destes produtos antes da queima, o que possibilita a fabricação de produtos de pequena espessura – na fabricação de folhas cerâmicas podem ser obtidas espessuras tão pequenas quanto 0,25 mm.

Por sua vez, o objetivo da formação por prensagem é obter o máximo adensamento do pó granulado, de modo compatível com os problemas de desgaseificação que podem ocorrer durante a queima, onde diferentes forças de prensagem exercidas sobre o pó resultam em diferentes valores de densidade aparente na peça após a prensagem e, com isso, são obtidos valores diferenciados de contração e porosidade para as peças após a queima. É uma das etapas mais importantes do processo de fabricação de revestimentos cerâmicos, pois uma má compactação dos aglomerados pode acarretar em vários defeitos nas peças cerâmicas<sup>2</sup>.

A prensagem de placas cerâmicas é função de três condições básicas: o processo de granulação da massa cerâmica após moagem, resultando em um pó granulado com geometria bem definida e adequada à prensagem; a conformação do pó granulado na forma de peças com resistência mínima às solicitações mecânicas; e o adensamento (ou densificação), com função de limitar os espaços vazios existentes entre as partículas de massa. A boa execução destas condições resulta em um produto bem conformado e adequado ao processo cerâmico<sup>2</sup>.

O que pode contribuir para um bom empacotamento é a forma, o arranjo e a distribuição dos tamanhos das partículas após moagem. Uma completa caracterização da suspensão cerâmica na via úmida ou do pó recém moído na via seca é um importante fator para o processo de produção do pó granulado. Com relação à suspensão cerâmica, esta deve ser composta por partículas sólidas em suspensão aquosa suficientemente defloculada (dispersa) e seu controle inclui a verificação de sua densidade e viscosidade, além da distribuição de tamanhos de partículas<sup>1</sup>.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de placas cerâmicas prensadas com espessura reduzida. O trabalho foi desenvolvido na empresa cerâmica Novagres (Grupo Ceusa) para a tipologia porcelanato esmaltado utilizando um aditivo fornecido por uma empresa terceirizada como ligante.

## 2. Materiais e Métodos

Para realizar este trabalho foi utilizada uma suspensão cerâmica industrial de porcelanato (código interno F12), empregada na preparação de massa da Cerâmica Novagres (Grupo Ceusa), que é composta pelas seguintes matérias-primas: argila 1, argila 2, argila 3, caulim, talco e silicato de sódio. A análise química das matérias-primas foi determinada por espectrometria de fluorescência de raio-X (Philips PW 2400, amostra preparada por fusão com  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ).

A primeira etapa (laboratorial) iniciou-se com a coleta de 10 kg de suspensão cerâmica do tanque de barbotina. Em seguida, foi coletada a amostra, dividida em quatro partes iguais de 1,8 kg/massa seca. Foi separada uma alíquota (1,8 kg) para compor o padrão (STD) e às três outras alíquotas foi acrescentada em massa 0,5% (12,5 g), 1,0% (25 g) e 1,5% (37,5 g) do aditivo NC em cada amostra.

As amostras com 0,5, 1,0 e 1,5% de ligante foram agitadas para garantir sua homogeneização (agitador Servitech, a 2500 rpm) por 20 minutos, e a seguir as amostras foram caracterizadas. A densidade das amostras foi determinada por picnometria (Servitech, Densímetro 100 mL). A viscosidade foi determinada em relação ao tempo de escoamento das suspensões (Servitech, copo Ford nº 4). O resíduo foi determinado por peneiramento em malha 200 mesh ABNT.

Após caracterização das suspensões todas as amostras foram encaminhadas para secagem ao ar livre por 24 horas, e em seguida colocadas em uma estufa de laboratório a uma temperatura de 120 °C por mais 24 horas para retirada completa da umidade. Após secagem as amostras foram desagregadas em moinho de bolas gira-jarro por 5 minutos. Ao término da desagregação foram acrescentados 6% em massa de umidade ( $\text{H}_2\text{O}$ ) com ajuda de borrifador de água, com mistura manual e peneiramento em malha 55 mesh ABNT para eliminar grumos; as amostras permaneceram em repouso por 12 horas para homogeneização do granulado de cada amostra.

A conformação das amostras por prensagem foi realizada em uma prensa hidráulica laboratorial (semi-automática Gabbrielli Sesto Fiorentino) com uma pressão específica de compactação de 450  $\text{kgf.cm}^{-2}$ . Na etapa de prensagem foram efetuadas duas prensagens para cada teste com 3 cavidades cada, alterando a espessura dos compactos, ou seja, foram obtidos compactos com espessura entre 8 e 9 mm e compactos com espessura entre 5 e 6 mm, onde a prensa laboratorial permite realizar várias regulagens e obter a espessura desejada. Foram prensados 6 corpos-de-prova com espessura entre 8 e 9 mm para o padrão e adição de 0,5, 1,0 e 1,5% de aditivo, e outros 6 corpos-de-prova com espessura entre 5 e 6 mm para o padrão e adição de 0,5 a 1,5% de aditivo, num total de 48 corpos-de-prova. Após prensagem foram realizados ensaios de determinação da resistência mecânica por flexão em três pontos segundo ABNT 13818<sup>1</sup> e de densidade aparente (pela técnica de imersão em mercúrio).

Em seguida os corpos-de-prova de todas as amostras foram secos em estufa de laboratório por 5 horas a 110 °C e novamente foram ensaiados com relação à resistência mecânica (flexão em três pontos, ABNT 13818<sup>1</sup>) e à densidade aparente (imersão em mercúrio). Após secagem as amostras de cada teste foram submetidas juntamente com o padrão a um tratamento térmico de queima em forno laboratorial contínuo a rolo (Nasseti) a uma temperatura máxima de 1195 °C em um ciclo de 60 minutos, e os corpos-de-prova queimados foram novamente caracterizados quanto a sua resistência mecânica e densidade aparente.

## 3. Resultados e Discussões

A Tabela 1 apresenta os resultados da análise química das matérias-primas que compõem a formulação F12, além do percentual em massa da própria formulação. Pela análise química pode-se perceber que a argila 1 apresenta pouca contaminação com  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$ , apresentando cor clara durante queima; também apresenta grande quantidade de  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{CaO}$ , o que reduz a temperatura de queima da formulação e justifica a elevada fração em massa (~31%) em que é utilizada.

A argila 2 apresenta maior contaminação com  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e elevado teor de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , o que resulta em maior coloração da massa e maior temperatura de queima, respectivamente; além disso, o elevado teor de  $\text{CaO}$  e a grande perda ao fogo (PF) indica provável presença de carbonato nesta matéria-prima, o que deveria ser comprovado pela análise por difração de raio-X.

A argila 3 apresenta basicamente sílica e alumina, sendo complementar na formulação da massa cerâmica. Por sua vez, o talco está contaminado com alumina (2,5%) e óxido de ferro (1,2%), sendo complementar (8% de adição à formulação) para redução da viscosidade da fase líquida que se forma durante a sinterização da massa. Finalmente, o caulim utilizado apresenta, além de sílica e alumina,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{Na}_2\text{O}$  em sua composição, o que diminui a típica refratariedade dos caulins. O silicato de sódio não foi analisado.

Com a adição do aditivo percebe-se que a viscosidade da suspensão cerâmica, medida por tempo de escoamento, é muito elevada, mesmo para um pequeno percentual de aditivo adicionado. Desta forma, para que todas as suspensões apresentassem o mesmo comportamento reológico, a viscosidade (tempo de escoamento) foi corrigida para 67 segundos em todos os testes. Com isto, a densidade das suspensões para os testes com 0,5, 1,0, 1,5% de aditivo, em comparação com o padrão, sofreu grande alteração, Figura 1.

**Tabela 1.** Análise química (FRX) das matérias-primas que compõem a formulação F12.

Matéria-prima	% Formulação	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	P.F.
Argila 1	30,8	13,9	1,9	0,2	0,7	0,9	7,3	72,8	0,1	2,1
Argila 2	26,0	27,0	7,9	1,0	0,9	0,7	2,5	49,7	0,1	10,1
Argila 3	4,0	10,8	0,2	0,3	0,4	0,1	<0,1	83,8	0,2	4,2
Talco	8,0	2,5	0,2	1,2	0,1	18,4	-	73,0	0,2	4,4
Caulim	30,4	20,1	0,1	0,8	3,9	0,1	1,2	68,7	0,1	5,0
Silicato Sódio	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Formulação	100,0	18,8	2,9	0,6	1,7	1,3	3,2	66,2	0,1	5,2

Pelos resultados de densidade das suspensões percebe-se que o padrão apresenta a maior densidade, pois não contém ligante. Conforme é aumentado o teor de aditivo a densidade das suspensões diminui gradativamente, de 1,65 g.cm<sup>-3</sup> para a suspensão padrão, para ~1,4 g.cm<sup>-3</sup> para a suspensão com adição de 1,5% de aditivo. Um baixo valor de densidade para uma suspensão cerâmica significa que maior teor de água foi utilizado, o que aumenta em muito os custos do processo de atomização.

O uso do aditivo eleva muito a viscosidade da barbotina, por isso se fez necessário corrigir a viscosidade de todas as suspensões estudadas com a adição de um defloculante (tripolifosfato de sódio) diluído em 60% de água. A Tabela 2 apresenta a viscosidade e a densidade das suspensões com uso de aditivo em relação à suspensão – barbotina – padrão.

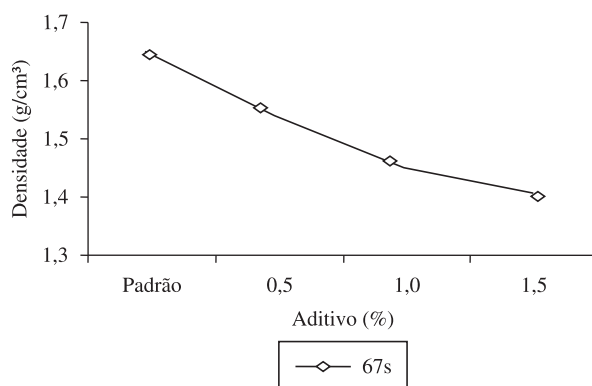
Conforme dados da Tabela 2, a viscosidade inicial (medida pelo tempo de escoamento) das suspensões aumenta muito com a adição do aditivo em relação à viscosidade inicial da barbotina padrão. Com 0,5% de adição de aditivo, a viscosidade (em tempo de escoamento) aumenta de 67 para 116 segundos; com adição de 1,5%, altera para 166 segundos, mostrando o forte efeito do aditivo sobre a viscosidade das suspensões cerâmicas.

Para que a viscosidade das suspensões com adição de aditivo correspondesse à viscosidade padrão – 67 segundos – foi necessária a adição de um agente defloculante, tripolifosfato de sódio, Tabela 2. Após a adição do TPF, as viscosidades de todas as suspensões – 0,5, 1,0 e 1,5% de aditivo – apresentaram valores próximos à do padrão.

O aumento da viscosidade com o aumento do teor de determinado aditivo é um efeito esperado devido à própria natureza dos elementos ligantes, que formam pontes orgânicas entre as partículas, o que resulta em uma forte adesão após a evaporação da água, mas com o inconveniente do aumento da viscosidade das suspensões. Industrialmente este problema pode ser corrigido com o uso de um defloculante adequado para este sistema, não sendo objetivo do trabalho atual em escala laboratorial.

A Tabela 3 apresenta os resultados de densidade aparente e módulo de resistência flexão a verde após prensagem para as amostras cruas (verdes) com espessura de 8 a 9 mm. Em relação ao padrão (STD), percebe-se que a densidade aparente das amostras aumenta com o teor de aditivo para a espessura de 8 a 9 mm, Tabela 3. Este fato está diretamente relacionado ao maior rearranjo dos grânulos durante a prensagem quando a altura de prensagem (espessura da camada a ser prensada) é maior. O mesmo raciocínio pode ser feito com relação à resistência à flexão: esta aumenta gradualmente com o aumento do teor de aditivo para a maior espessura, mas permanece praticamente constante para a espessura de 5 a 6 mm, Tabela 4.

A Tabela 5 apresenta os resultados de densidade aparente e módulo de resistência à flexão após prensagem para as amostras secas. Para a espessura de 8 a 9 mm, em relação ao padrão (STD), percebe-se que a resistência à flexão aumenta com a adição de teor de aditivo até um máximo de ~30 kgf.cm<sup>-2</sup> para 1,0% de aditivo, diminuindo novamente com a adição de 1,5% de aditivo; pode estar ocorrendo saturação do teor de aditivo a 1,5% de adição, ou seja, o excesso de aditivo formaria um filme mais espesso sobre as partículas da formulação, diminuindo assim a resistência mecânica após secagem.

**Figura 1.** Densidade das suspensões em função do teor de ligante e em relação à padronização da viscosidade em 67 s de tempo de escoamento.**Tabela 2.** Viscosidade e densidade das suspensões cerâmicas em função do teor de aditivo e do teor de defloculante.

Amostra	Padrão	0,5% aditivo	1,0% aditivo	1,5% aditivo
Densidade (g.cm <sup>-3</sup> )	1,64	1,64	1,64	1,64
Viscosidade inicial (s)	67	116	120	166
% TPF	-	0,15	0,30	0,50
Viscosidade final (s)	67	70	72	74

**Tabela 3.** Espessura medida, densidade aparente e módulo de resistência à flexão para as amostras cruas em função do teor de aditivo (espessura de 8 a 9 mm).

Amostra	STD	0,5% ligante	1,0% ligante	1,5% ligante
Espessura	8,63	8,10	8,24	8,42
d <sub>ap</sub> (g.cm <sup>-3</sup> )	2,05	2,10	2,16	2,22
MRFV (kgf.cm <sup>-2</sup> )	1,45	1,28	1,47	2,02

Para a espessura de 5 a 6 mm a resistência mecânica após secagem permanece praticamente constante, mostrando que esta espessura é a mais adequada para ser utilizada com este ligante, Tabela 6.

A Tabela 7 apresenta os resultados de densidade aparente e módulo de resistência à flexão após queima. Para a espessura de 5 a 6 mm, em relação ao padrão (STD), percebe-se que a resistência à flexão após queima aumenta consideravelmente com a adição de teor de aditivo para todos percentuais – 0,5, 1,0 e 1,5% – de aditivo adicionado: com 0,5% de adição do aditivo o módulo de resistência à flexão após queima (MRFQ) é de ~538 kgf.cm<sup>-2</sup>, 59% maior que o módulo para o padrão (STD), ~338 kgf.cm<sup>-2</sup>. Para 1,0% do aditivo não há um aumento significativo na resistência à flexão, que diminui com 1,5%, o que mostra que a saturação da adição de aditivo ocorre para 1,0%.

**Tabela 4.** Espessura medida, densidade aparente e módulo de resistência à flexão para as amostras cruas em função do teor de aditivo, (espessura de 5 a 6 mm).

Amostra	STD	0,5% ligante	1,0% ligante	1,5% ligante
Espessura	5,33	5,45	5,44	5,62
$d_{ap}$ (g.cm <sup>-3</sup> )	2,14	2,21	2,20	2,20
MRFV (kgf.cm <sup>-2</sup> )	0,70	0,68	0,69	0,77

**Tabela 5.** Espessura medida, densidade aparente e módulo de resistência à flexão para as amostras secas em função do teor de aditivo (espessura de 8 a 9 mm).

Amostra	STD	0,5% ligante	1,0% ligante	1,5% ligante
Espessura	8,85	8,67	8,43	8,12
$d_{ap}$ (g.cm <sup>-3</sup> )	1,98	2,08	2,13	2,20
MRFS (kgf.cm <sup>-2</sup> )	14,04	23,94	29,55	25,78

**Tabela 6.** Espessura medida, densidade aparente e módulo de resistência à flexão para as amostras cruas em função do teor de aditivo (espessura de 5 a 6 mm).

Amostra	STD	0,5% ligante	1,0% ligante	1,5% ligante
Espessura	5,80	5,68	5,37	5,21
$d_{ap}$ (g.cm <sup>-3</sup> )	2,01	2,15	2,17	2,18
MRFS (kgf.cm <sup>-2</sup> )	8,91	20,24	20,01	20,26

Porém, para a espessura de 8 a 9 mm, para todas as adições do aditivo – 0,5 a 1,5% – a resistência mecânica à flexão após queima apresenta um pequeno incremento no módulo de resistência à flexão: para 1,0% do aditivo o MRFQ sofre um aumento de apenas 13% em relação ao padrão (STD), ou seja, o MRFQ do STD aumenta de ~256 kgf.cm<sup>-2</sup> para ~291 kgf.cm<sup>-2</sup> para a adição de 1,0% de ligante, mostrando como a redução de espessura das placas é efetiva no aumento do módulo de resistência à flexão das peças devido ao maior rearranjo das partículas durante a prensagem propiciado pela ação do aditivo combinada com a menor espessura de prensagem e queima.

Para a espessura de 8 a 9 mm a densidade aparente permanece praticamente constante em relação ao padrão para todas as adições do aditivo: em relação ao padrão (STD), com densidade aparente de 2,19 g.cm<sup>-3</sup>, a adição de 0,5% de aditivo causa um aumento de apenas 4% na densidade aparente, sendo que esta diminui com maior adição do aditivo. Para a espessura de 5 mm há uma pequena redução de 2% na densidade aparente em relação ao padrão com a adição de 0,5% de aditivo, dentro do erro experimental da técnica de medição de densidade. Apesar de a densidade aparente permanecer praticamente constante para as amostras de 8 e 5 mm com adição de aditivo – 0,5, 1,0 e 1,5% – a resistência à flexão após queima aumenta consideravelmente em relação ao STD, Tabelas 7 e 8.

#### 4. Considerações Finais

A partir da análise conjunta dos resultados dos ensaios realizados pode-se afirmar que a adição do aditivo em uma suspensão cerâmica resulta na obtenção de placas cerâmicas para revestimento com espessura reduzida de 5 mm, seguindo todas as exigências técnicas da normas técnicas NBR 13818:1997<sup>1</sup>

A viscosidade das suspensões aumenta muito com a adição do aditivo em relação à viscosidade inicial da barbotina padrão,

**Tabela 7.** Espessura, densidade aparente e módulo de resistência à flexão para as amostras queimadas em função do teor de aditivo (espessura de 8 a 9 mm).

Amostra	STD	0,5% ligante	1,0% ligante	1,5% ligante
Espessura	8,36	8,54	7,90	8,21
$d_{ap}$ (g.cm <sup>-3</sup> )	2,19	2,28	2,15	2,22
MRFQ (kgf.cm <sup>-2</sup> )	255,5	279,0	290,6	244,1

**Tabela 8.** Espessura, densidade aparente e módulo de resistência à flexão para as amostras queimadas em função do teor de aditivo (espessura de 5 a 6 mm).

Amostra	STD	0,5% ligante	1,0% ligante	1,5% ligante
Espessura	5,21	5,25	5,53	5,70
$d_{ap}$ (g.cm <sup>-3</sup> )	2,53	2,48	2,19	2,17
MRFQ (kgf.cm <sup>-2</sup> )	338,4	537,8	541,5	512,5

mostrando o forte efeito do aditivo sobre a viscosidade das suspensões cerâmicas. Há um aumento da densidade aparente a verde em relação ao padrão com o uso do aditivo, o que possibilita a redução da espessura das placas.

O aumento da resistência à flexão após secagem mostra o efeito do aditivo na suspensão cerâmica, proporcionando resistência ideal para aplicação de esmaltes, decoração, transporte e manuseio das peças em linha de produção.

Finalmente, percebe-se um grande aumento na resistência mecânica à flexão após queima com a adição do aditivo em relação ao padrão (STD), sendo que o teor de 0,5% de adição é o mais adequado para o desenvolvimento das placas com espessura reduzida de 5 mm.

#### Agradecimentos

O grupo agradece ao CNPq, à CAPES e a empresa Novagres (Grupo Ceusa) pelo apoio ao trabalho.

#### Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR13818:** Placas Cerâmicas para Revestimento - Especificação e Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- BARBA, A. et al. **Matérias-Primas para a fabricação de soportes de baldos cerâmicos**. 2. ed. Espanha: ITC, 2002. 292 p. Tecnología Cerámica.
- CAVALCANTE, W. F. V.; FERREIRA, R. A. S.; YADAVA, Y. P. Estudo do potencial de produção de massas para revestimento cerâmico utilizando resíduos do processo de fabricação de louças sanitárias. **Cerâmica Industrial**, v. 13, n. 5, p. 29-33, 2008.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmica branca e de revestimento**. São Paulo: CETESB, 2006. 84 p. (Série P+L).
- HOTZA, D. Colagem de folhas cerâmicas. **Cerâmica**, v. 43, p. 283-284, 1997.
- NANDI, V. S.; MONTEDO, O. R. K. Otimização do processo de moagem de engobes cerâmicos para produção de revestimento. **Cerâmica Industrial**, v. 14, n. 4, p. 24-38, 2009.
- RENOLFI, G. Redução dos custos de gestão através do correto aproveitamento e recuperação de energia. **Cerâmica Informação**, n. 622, p. 28-30, 2009.
- 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.
- REED, James s. **Principles of Ceramics Processing**. 2. ed. New York, 1995. 658 p.