

# SINTERIZAÇÃO DE METAL E VITROSA EM UMA ÚNICA QUEIMA APLICADA AO SETOR DE PEÇAS ESPECIAIS

Alexandre Zaccaron <sup>1</sup>  
Vitor de Souza Nandi <sup>2</sup>  
Adailton Bonomi <sup>3</sup>  
Paulo Fernandes <sup>4</sup>

## Resumo

O presente estudo consistiu em verificar as características na sinterização de metal e vitrosa em uma única queima. Para isso foram coletadas 5 amostras de vitrosas de diferentes empresas de coloríficos da região Sul, que foram caracterizadas por meio de análise química, coeficiente de expansão térmica linear por dilatomia e ensaio de botão de escorrimento. Em seguida realizou-se a aplicação das vitrosas em estado de fornecimento e com moagem de 5 e 10 min, sendo os pós caracterizados por meio de determinação da distribuição de tamanhos de partículas. As camadas de vitrosas misturadas com pó de ouro aplicadas sobre placas cerâmicas foram de 0,5 e 1,0 g e a sinterização foi realizada em quatro temperaturas diferentes (800°C, 850°C, 900°C e 950°C) com o ciclo de queima de 60 min. Por fim, foram realizados os ensaios de análise visual, microscopia óptica, colorimetria e dureza Mohs. Com os resultados deste trabalho pode-se obter amostras com características próximas de cor e brilho relacionadas ao padrão comercial deste produto produzido em múltiplas queimas. Já na resistência ao risco (dureza Mohs), o resultado apresentou-se um ponto acima do padrão, indicando uma melhor qualidade e durabilidade do material.

**Palavras-chave:** Vitrosas; Sinterização; Monoqueima.

## METAL AND OVERGLAZE SINTERING IN A SINGLE FIRE APPLIED TO THE SPECIAL PARTS INDUSTRY

## Abstract

In the present study, the characteristics of sintering of metal and overglaze in a single firing was verified. For that, it was collected 5 samples of overglaze from different glazing companies in the South region of Brazil, which were characterized by chemical analysis, coefficient of linear thermal expansion by dilatometry, and draining button (glaze melt flow) test. Then, the overglazes were applied in the as-received condition and after milling for 5 and 10 minutes; the powders were characterized by particle size distribution analysis. Overglaze layers mixed with gold powder were applied to ceramic plates with mass of 0.5 and 1.0 g, and sintering was performed at four different temperatures (800°C, 850°C, 900°C and 950°C) with 60 minutes firing cycle. Finally, the following tests were performed: visual analysis, light microscopy, colorimetry, and Mohs hardness. With the results of this work, samples with brightness and color characteristics close to the standard commercial product produced in multiple firings could be obtained. In the scratch resistance (Mohs hardness), the result was one point above the standard, indicating a better quality and durability of the material.

**Keywords:** Overglaze; Sintering; Single firing.

## I INTRODUÇÃO

Nos últimos 20 anos tem aumentado a necessidade de desenvolvimento de produtos diferenciados no processo de acabamento de revestimentos cerâmicos, o que repercutiu na maior automatização do processo de fabricação de placas cerâmicas de revestimentos e na melhoria da qualidade dos

produtos. Todos os setores da indústria de placas cerâmicas de revestimento estão cada vez mais se aperfeiçoando em busca de um menor desperdício, maior qualidade e consequentemente maior economia. Isso também ocorre no setor de decoração, visto que as matérias-primas utilizadas

<sup>1</sup> Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, SC, Brasil. E-mail: alexandrezaccaron@hotmail.com.

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, SC, Brasil.

<sup>3</sup> Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, SC, Brasil.

<sup>4</sup> Centro Universitário Barriga Verde – UNIBAVE, Cocal do Sul, SC, Brasil.

neste setor são as que apresentam maior custo em todo o seguimento desta indústria.

No quesito produtividade de placas cerâmicas de revestimento, o Brasil é o segundo maior produtor mundial conforme mostra a Figura 1, onde mais de 60% de sua produção concentra-se na região sudeste.

A produção cerâmica nos últimos anos tem aumentado continuamente, apesar do abalo econômico em alguns países vizinhos, o que acarretou na diminuição da exportação. Em contrapartida, o crescimento de vendas no mercado interno aumentou consideravelmente em função dos planos de moradia e habitação do governo brasileiro resultando em maior produtividade, busca por automatização e inovações tecnológicas. O Brasil apresenta-se como o segundo maior consumidor e produtor de revestimentos cerâmicos e o quinto maior exportador [1].

Devido à alta competitividade entre as empresas do ramo cerâmico, são constantes as buscas por maiores produções, produtos de alta qualidade e diferenciados, sempre ao menor custo. Desta maneira, através do crescimento e da busca constante por diferenciações na produção de cerâmica de revestimento, um setor que vem se destacando dentro da indústria de placas cerâmicas de revestimento é o de peças especiais, pois concilia beleza através de suas aplicações de metais, pedras preciosas dentre outros materiais. Porém, para este feito, a aplicação de metal necessita de uma queima diferenciada, com temperaturas em torno de 800°C, para a formação de película de ouro ou platina, metais utilizados para os efeitos metálicos. Por vezes é necessário a realização de uma etapa a mais, pois os metais não podem ter a queima conciliada com a de vitrosa, que possui um ponto de fusão diferenciado.

No início dos anos 1980, a procura de novos efeitos decorativos levou ao desenvolvimento de vidrados na forma de atomizados, granilhas e “pellets”. As peças que apresentam este tipo de acabamento caracterizam-se pela elevada resistência à abrasão e ao risco [2].

Os vidrados são camadas finas de material (200 – 300  $\mu\text{m}$  de espessura) que recobrem a superfície de uma peça cerâmica (suporte) e, além de outras características, possuem a capacidade de impermeabilizar a peça [3]. Os vidrados podem

ser obtidos a partir de esmaltes constituídos de matérias-primas naturais ou de misturas de fritas e matérias-primas sintéticas [4].

O vidrado seco é aplicado sobre uma camada recém aplicada de vidrado base ainda úmido para que as partículas secas se fixem sobre a superfície da peça. Em algumas situações podem ser utilizadas colas ou recobrimento na forma de segunda camada de vidrado a fim de fixar melhor o material [5].

Já a vitrosa é um vidrado moído finamente e aplicado a seco nas peças com o objetivo de dar um aspecto de alto-relevo [6]. É necessária uma análise rigorosa da espessura da camada sobre a peça para que não ocorra desperdício de material e desvios de qualidade das peças produzidas. Apresenta partículas de tamanhos reduzidos (60  $\mu\text{m}$  a 200  $\mu\text{m}$ ) e é, geralmente, constituída por uma mistura de pigmentos e fritas, sendo que estes foram os primeiros produtos utilizados nesta aplicação. É de fundamental importância o controle dos tamanhos das partículas e que estas apresentem uma fluidez aceitável [7].

Geralmente, a decoração das peças do setor de peças especiais é realizada sobre a base do vidrado empregando-se a técnica de serigrafia [3]. A placa cerâmica, então, é queimada em forno a rolo para fazer a sinterização da vitrosa. Mas, em produtos mais nobres, nos quais as empresas tendem a atender à população com alto poder aquisitivo, aplicam-se metais sobre a vitrosa, o que gera mais uma queima para fazer a sinterização desses metais (ouro e platina), chamada de quarta queima devido a seu processo sofrer quatro queimas para desenvolver esse tipo de material nobre [8]. Porém, com a finalidade de reduzir custo e melhorar a qualidade do produto, o ouro e a platina são aplicados na superfície da vitrosa ficando desprotegidos e frágeis. Assim, é necessário um estudo rigoroso para que se encontre um meio de sinterizar a vitrosa e metais em uma única curva de queima, com o ponto de amolecimento que varia entre 800°C a 870°C, sem que haja mudança na qualidade e características visuais da placa cerâmica.

Tendo em vista esta contextualização, propõe-se como objetivo verificar os benefícios na sinterização de metal (ouro) e vitrosa em uma única queima aplicada ao setor de peças especiais de uma empresa de revestimentos cerâmicos. A redução de custos e a melhora na qualidade dos seus produtos, também, são fatores de relevância neste trabalho.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado nas dependências de uma empresa de cerâmica de revestimento do sul de Santa Catarina, mais precisamente no setor de peças especiais. Para facilitar o entendimento do trabalho, a Figura 2 apresenta através de um fluxograma as etapas desenvolvidas no trabalho experimental, facilitando o acompanhamento dos métodos executados.

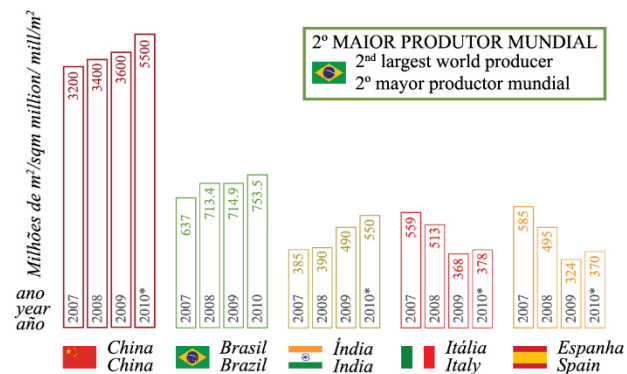
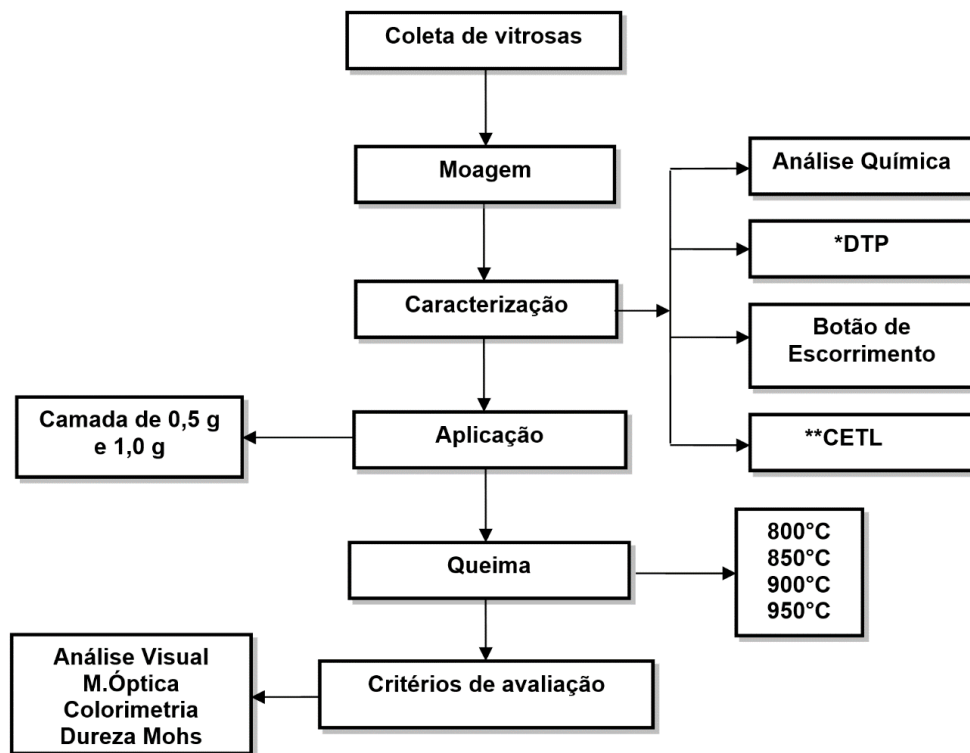


Figura 1. Maiores produtores mundiais 2007 – 2010 [1].



**Figura 2.** Fluxograma das atividades experimentais que foram executadas durante o desenvolvimento do trabalho; \* DTP – Distribuição do tamanho de partículas; \*\* CETL – Coeficiente de expansão térmica linear.

As vitrosas empregadas na realização deste trabalho foram gentilmente cedidas por alguns coloríficos da região sul de Santa Catarina. Inicialmente a coleta foi realizada nas próprias empresas, onde foram coletadas aproximadamente 3 kg de cada amostra em 5 pontos diferentes de cada depósito (*bags*). Por meio do processo de quarteamento a amostra foi homogeneizada e reduzida a 1 kg para ensaios laboratoriais, sendo que o material restante foi armazenado em sacos plásticos. Foram coletadas 5 amostras e identificadas como A1, A2, A3, A4 e A5. As amostras separadas foram, em uma etapa posterior, secas em estufa de laboratório (Ética, 330) a aproximadamente 110°C com ventilação forçada por 24 h para garantir a eliminação da umidade. Após a secagem, foram realizadas 2 moagens para cada amostra, sendo a primeira com 5 min e a segunda com 10 min. Esta moagem foi realizada em moinho excêntrico de alta rotação (900 rpm, Gabbrielli SRL, Mill), com jarro de porcelana (500 mL) e esfera de alumina.

Para realizar a caracterização de cada amostra, parte do material sem moagem foi analisada quimicamente por meio de um espectrômetro de fluorescência de raios-X (FRX, Philips, PW 2400). A distribuição de tamanhos de partículas foi determinada em todas as amostras, inclusive as moídas, utilizando um granulômetro a laser (Cilas, 1064L). Para verificar a viscosidade tecnológica, foi realizado o ensaio de botão de escorrimento para as amostras coletadas sem o processo de moagem. Este ensaio foi realizado em parceria com a empresa de colorífico OMEGA de Cocal do

Sul e envolveu a confecção de um botão de cada amostra, onde o preparo foi realizado através de uma suspensão cerâmica com mesma densidade. Em seguida 3 gramas de cada suspensão foram aplicados sobre uma placa cerâmica de revestimento, e posteriormente encaminhadas a um forno mufla (Jung) por um tempo determinado de 90 min com temperatura de 960°C e com uma angulação do revestimento de 45°.

Também foi avaliado o comportamento térmico das vitrosas por meio da análise do coeficiente de expansão térmica linear realizada em um dilatômetro (BP Engenharia, RB 3000-20) nas dependências do IDT - Instituto de Engenharia e Tecnologia – Unesc.

Em uma etapa posterior, foram aplicadas 0,1 g de ouro (metal) em cada uma das 20 peças de placas cerâmicas (monoporosa) utilizadas para produção de peças especiais. O ouro foi aplicado manualmente com ajuda de uma espátula e uma tela serigráfica de abertura de 120 mesh. Em seguida foram aplicadas todas as vitrosas em serigrafia plana manual a seco, em tela serigráfica de 24 mesh e em duas massas diferentes (0,5 g e 1,0 g).

Na etapa de queima, as peças aplicadas foram sinterizadas em um forno a rolos (OMIS S.p.A), tendo como combustível gás natural. Foram realizados quatro testes em temperaturas de 800°C, 850°C, 900°C e 950°C, com ciclo fixo de 60 minutos. A análise visual foi realizada conforme os critérios internos da Cerâmica Urussanga S/A, ou seja, por meio de análise de defeitos de superfície, características de

brilho e por meio de análise microestrutural (microscópio óptico, Leica, DMILM).

Também foi realizado o ensaio de colorimetria, em um colorímetro (Hunter Lab, Color QUEST). A escala da leitura colorimétrica utilizada foi o sistema de coordenadas cromáticas com base no espaço de cor CIELAB  $L^*a^*b^*$ , onde:  $L^*$  mede a luminosidade e tem uma variação de branco (100) a preto (0);  $a^*$  é uma indicação de cromaticidade na direção do verde, com valor negativo ( $-a^*$ ), se for 0 (zero) é cinzento, e se for na direção do vermelho é positivo ( $+a^*$ ); e  $b^*$  é uma indicação de cromaticidade na direção do azul, com valor negativo ( $-b^*$ ), se for 0 (zero) é cinzento, e se for na direção do amarelo é positivo ( $+b^*$ ). Os resultados deste ensaio das amostras sinterizadas foram comparados com uma amostra de referência, produto de produção industrial com múltiplas queimas, com valores de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  de 36,48, 10,29 e 1,55, respectivamente. A diferença de cor ( $\Delta E$ ) entre a amostra e a referência foi, então, calculada por meio da Equação 1:

$$\Delta E^* = \left[ (\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

onde,  $\Delta L^* = (L^*_{\text{Padrão}} - L^*_{\text{Amostra}})$ ,  $\Delta a^* = (a^*_{\text{Padrão}} - a^*_{\text{Amostra}})$ ,  $\Delta b^* = (b^*_{\text{Padrão}} - b^*_{\text{Amostra}})$ .

Por último, foi realizado o ensaio de Escala Mohs, que quantifica a dureza dos minerais, isto é, a resistência que um determinado mineral oferece ao risco, ou seja, a retirada de partículas da sua superfície.

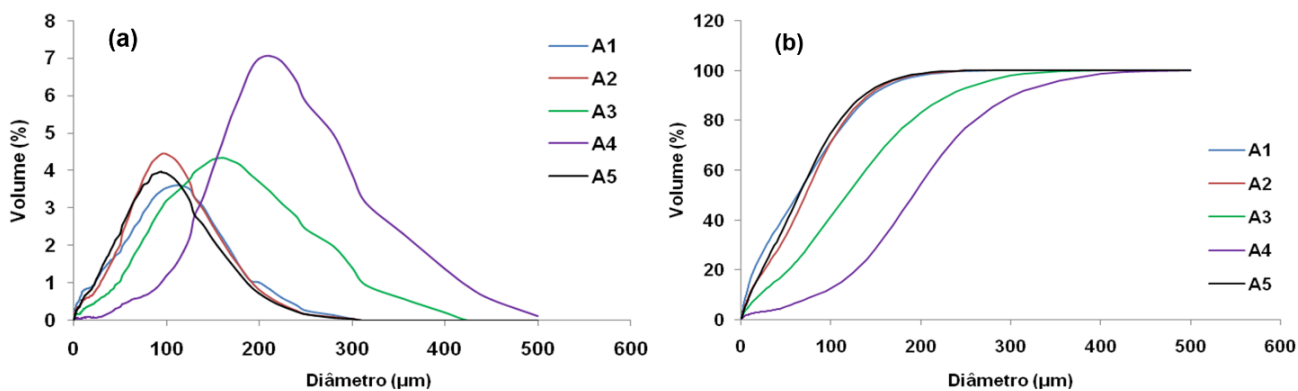
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta o resultado das composições químicas das amostras estudadas. Observa-se que a amostra A1 apresentou um alto percentual de óxido de sódio, que aumenta a capacidade de fundência, e também com alto percentual de óxido de bário, que eleva o índice de refração. A composição da amostra A2 foi muito próxima da amostra A1, diferenciando apenas na quantidade de óxido de bário, porém apresentou uma quantidade de óxido de chumbo. As amostras A3 e A4 apresentaram praticamente a metade da quantidade de sílica que as demais amostras; seus outros óxidos também apresentaram valores próximos, apenas diferenciando-os em quantidades de óxidos de sódio e bário. Por último, a composição da amostra A5 foi parecida com as das amostras A1 e A2.

As curvas de distribuição granulométrica obtidas nos ensaios de espalhamento a laser estão representadas na Figura 3. Ao analisar a Figura 3a, percebe-se que as vitrosas A1, A2 e A5 apresentaram perfis similares, com distribuição de tamanho de partícula monomodal. A amostra A1 apresentou diâmetro médio  $D_{50}$  de  $63,24 \mu\text{m}$ , 90% da sua distribuição abaixo de  $146,23 \mu\text{m}$  e 10% da distribuição abaixo de  $6,25 \mu\text{m}$ . Para a amostra A2 o diâmetro médio  $D_{50}$  foi de  $72,33 \mu\text{m}$ , 90% da sua distribuição abaixo de  $141,84 \mu\text{m}$  e 10% da distribuição abaixo de  $10,01 \mu\text{m}$ . A vitrosa A5 com diâmetro médio  $D_{50}$  de  $65,05 \mu\text{m}$ , 90% da distribuição abaixo de  $136,98 \mu\text{m}$  e 10% da distribuição abaixo de  $10,81 \mu\text{m}$ . A amostra A3 apresentou uma curvatura

**Tabela 1.** Composição química das amostras estudadas (% em massa)

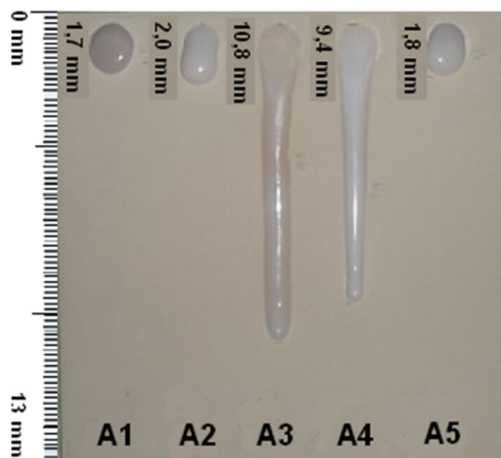
Amostras	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	MgO	Na <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	SrO	BaO	PbO	ZnO	ZrO <sub>2</sub>
A 1	69,80	7,40	0,10	2,30	0,20	-	5,80	0,10	-	-	-	8,7	-	0,2	0,3
A 2	66,20	5,70	0,10	1,90	1,80	-	5,60	0,10	0,10	0,20	0,10	2,70	1,40	0,90	0,10
A 3	36,00	12,70	0,10	10,40	0,40	-	4,10	0,10	0,10	-	-	3,70	0,30	0,60	0,10
A 4	38,88	12,98	0,03	11,93	0,10	0,28	0,62	-	-	0,02	-	7,60	0,10	0,02	0,12
A 5	68,80	6,70	0,10	1,60	2,00	-	5,70	0,10	-	0,20	-	2,20	0,60	1,00	0,10



**Figura 3.** Distribuição do tamanho de partículas das vitrosas estudadas: (a) diferencial e (b) acumulativa.

mais larga perante as amostras A1, A2 e A5, seu diâmetro médio  $D_{50}$  foi  $117,92 \mu\text{m}$ , 90% da sua distribuição abaixo de  $231,92 \mu\text{m}$  e 10% da distribuição abaixo de  $22,21 \mu\text{m}$ . Finalmente, a vítrosa A4 também possui uma distribuição de tamanho de partícula monomodal, com diâmetro médio  $D_{50}$  de  $192,28 \mu\text{m}$ , maior que as outras amostras, com 90% da distribuição abaixo de  $303,95 \mu\text{m}$  e 10% da distribuição abaixo de  $86,4 \mu\text{m}$ , sendo também uma distribuição de tamanhos mais larga. Assim, a vítrosa que apresentou o menor tamanho de partícula foi a amostra A1, e a que teve o maior tamanho de partícula foi a amostra A4. Esta afirmação pode ser melhor observada na Figura 3b, onde apresenta os valores acumulativos de cada vítrosa.

A Tabela 2 mostra o resultado das amostras após o processo de moagem de 5 e 10 min. Foi possível verificar que quanto maior o tempo mais fina foram ficando as partículas para as amostras A1, A2, A3 e A4. Já a amostra



**Figura 4.** Fotografia da placa cerâmica de revestimento onde foi realizado o ensaio do botão de escorrimento das vítrosas.

A5 com o maior tempo de moagem maior foi o tamanho de partícula; isso ocorreu em função da aglomeração das partículas. As amostras A3 e A4, principalmente, apresentaram maior tamanho de partícula após moagem, devido às suas partículas iniciais serem maiores. Com a moagem, teve-se como resultado uma maior reatividade em todas as amostras, pois quanto menor o tamanho de partícula maior é sua reatividade na etapa de sinterização, porém uma maior dificuldade de aplicação devido à maior aglomeração entre as partículas a seco. Também foi possível observar que em algumas amostras com moagem de 5 min e praticamente todas as amostras com moagem de 10 min apresentaram uma maior opacificação (brancura) após a sinterização; este fato deve estar relacionado à geração de possíveis bolhas de ar acumuladas no interior da camada de vítrosa.

Na Figura 4 verifica-se que as amostras de vítrosas desenvolveram características muito diferentes no ensaio de botão de escorrimento. Esta característica pode ser explicada por suas composições químicas, o que acarreta variações apreciáveis em sua viscosidade. Com a representação dos efeitos de diferentes óxidos na viscosidade de vidros de sílica da Figura 5, é possível explicar de uma maneira mais prática.

As amostras A1, A2 e A5 foram ricas em  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , o que caracterizou as formulações mais viscosas. Com relação às amostras A3 e A4, através da Tabela 1 é possível verificar a existência de óxidos de cálcio, bário e sódio, que diminuem a viscosidade da vítrosa, como pode ser observado na Figura 4. A amostra A3 teve a menor viscosidade, em função da maior quantidade de óxido de sódio, pois este óxido apresenta a maior capacidade de redução da viscosidade entre todos os óxidos identificados na análise de composição química das amostras.

Através destes dados foi possível verificar que as amostras que tiveram os maiores graus de escorrimento (A3 e A4) devem ser tratadas com mais atenção na produção,



**Figura 5.** Efeito da adição de óxidos na viscosidade ( $\eta$ ) de vidros de sílica [9].

**Tabela 2.** Diâmetros do ensaio de distribuição do tamanho de partículas das vítrosas após moagem nos tempos indicados

Amostra	Diâmetro a 10% ( $\mu\text{m}$ )	Diâmetro a 50% ( $\mu\text{m}$ )	Diâmetro a 90% ( $\mu\text{m}$ )	Diâmetro médio ( $\mu\text{m}$ )
A1 (5min)	5,64	42,75	121,18	54,45
A1 (10min)	4,88	39,78	109,60	49,86
A2 (5min)	5,31	42,31	109,38	50,92
A2 (10min)	4,16	38,85	102,56	47,25
A3 (5min)	7,83	60,97	148,86	71,06
A3 (10min)	7,27	55,77	131,62	63,93
A4 (5min)	21,78	127,79	239,44	130,80
A4 (10min)	3,28	25,15	73,22	32,53
A5 (5min)	2,85	12,58	34,54	15,97
A5 (10min)	3,47	23,10	70,91	31,00

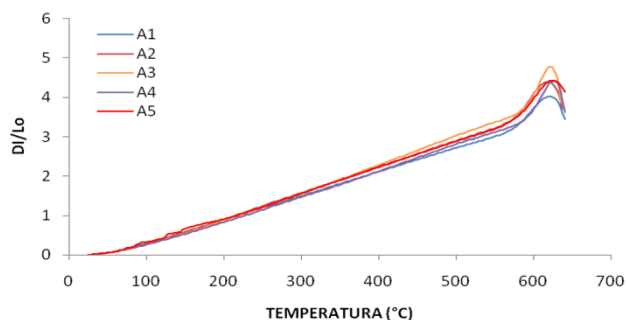


pois sua utilização em demasia em uma formulação pode acarretar um escorrimento ao longo das superfícies inclinadas ou verticais, podendo prejudicar a qualidade ou efeito de algum material, como por exemplo, um revestimento cerâmico.

A Tabela 3 resume os valores dos coeficientes de expansão térmica linear ( $\alpha$ ), medidos no intervalo de 25°C a 325°C, e também as temperaturas de transição vítrea ( $T_g$ ), de acoplamento ( $T_a$ ) e de amolecimento ( $T_r$ ) das amostras de vitrosa estudadas.

**Tabela 3.** Coeficiente de expansão térmica linear e temperaturas de transição vítrea ( $T_g$ ), de acoplamento ( $T_a$ ) e de amolecimento ( $T_r$ ) das amostras, determinados por dilatométrie

Amostras (Vitrosas)	Coef. de Exp. Térmica ( $\alpha$ )	$T_g$ (°C)	$T_a$ (°C)	$T_r$ (°C)
A1	57,9	575	599	622
A2	58,2	576	600	622
A3	58,7	580	599	619
A4	54,9	575	597	617
A5	58,7	572	598	620



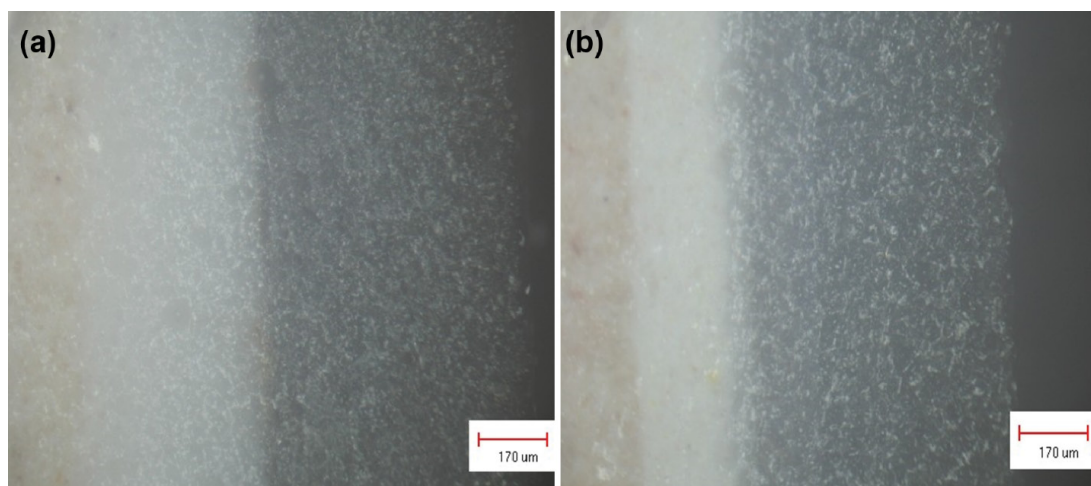
**Figura 6.** Termogramas dos ensaios dilatométricos das amostras de vitrosas.

Comparando-se as medidas de  $\alpha$  (25 - 325 °C) das amostras, observa-se que a vitrosa A4 apresentou o menor coeficiente de expansão térmica (dilatométrie) e ponto de amolecimento, caracterizando-a com menor temperatura de sinterização. Deste modo, torna-se mais fácil o controle de textura e brilho desta vitrosa pela adequação da curva de queima. Os termogramas obtidos nos ensaios dilatométricos são apresentados na Figura 6. Os resultados indicaram que as temperaturas de transição vítrea ( $T_g$ ), temperatura de acoplamento ( $T_a$ ) e temperatura de amolecimento ( $T_r$ ) de todas as amostras estão compreendidas entre 617°C e 622°C, sendo a principal diferença no coeficiente de expansão térmica linear. De um modo geral, todas as amostras apresentaram valores próximos.

A Figura 7 mostra as micrografias comparativas de uma amostra com aplicação de ouro acima da vitrosa, Figura 7a, e outra com ouro abaixo da vitrosa, Figura 7b. A aplicação com ouro acima da vitrosa apresenta uma porosidade mais fechada, que se deve à temperatura de sinterização; esta amostra, preparada de forma convencional, foi sinterizada a aproximadamente 1.050°C, porém o ouro foi sinterizado em uma queima posterior a uma temperatura de 830°C. Já a peça com aplicação de ouro abaixo da vitrosa apresentou uma porosidade mais aberta, devido à sinterização ter sido realizada em apenas uma queima à temperatura de aproximadamente 860°C. O escurecimento da vitrosa em ambas as aplicações foi decorrente da reação causada pelo efeito de recobrimento do ouro.

A Figura 8 mostra todas as aplicações que foram realizadas em função da temperatura de sinterização e da massa de camada para cada amostra. Nesta etapa, através da análise visual foi possível verificar a qualidade da aplicação, sendo que as amostras A3 e A4 com camada de 0,5 e 1,0 g sinterizadas nas temperaturas de 850°C e 900°C apresentaram as melhores características de textura, brilho e cor.

O  $\Delta E$ , que é a variação total de cor, ou desvio de tonalidade em relação ao padrão representado na Figura 9,



**Figura 7.** Fotomicrografia das placas cerâmicas de revestimentos com aplicação de ouro: (a) aplicação de ouro na parte superior da vitrosa (aplicação padrão); (b) aplicação de ouro na parte inferior da vitrosa (teste realizado).

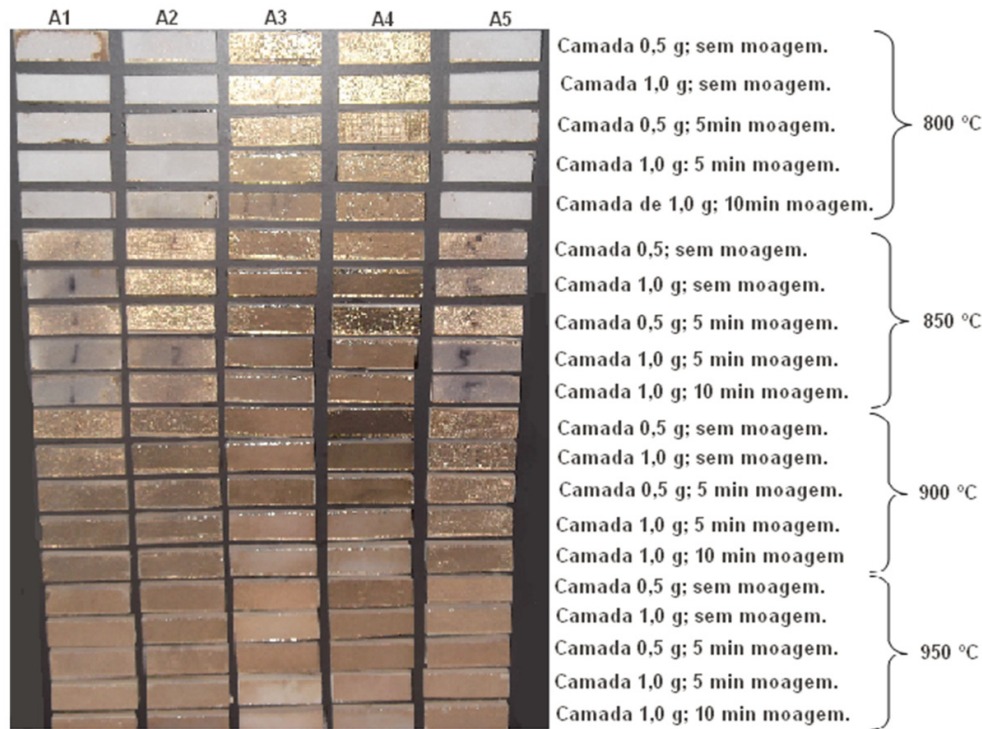


Figura 8. Fotografia das placas cerâmicas após sinterização onde foram aplicados ouro e vítrosa.

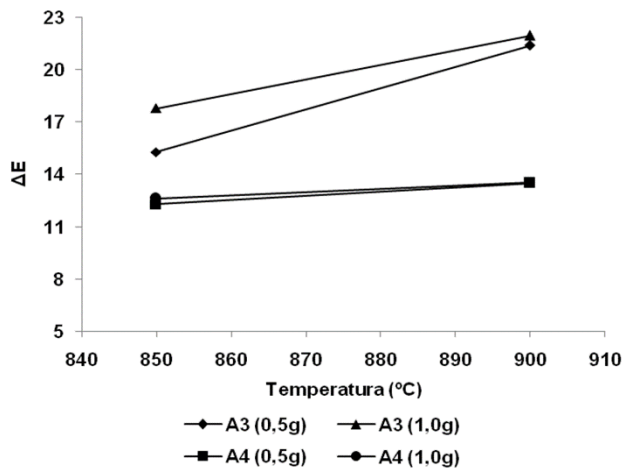


Figura 9. Gráfico mostrando resultado da análise colorimétrica em valores de  $\Delta E$  (diferença de cor em relação à amostra de referência) nas amostras A3 e A4 com camadas de 0,5 e 1,0 g nas temperaturas de sinterização de 850°C e 900°C.

foi realizado nas amostras aplicadas apenas das melhores condições avaliadas na análise visual comparadas com um padrão produtivo. Nesta avaliação foi possível observar que as menores diferenças foram observadas nas amostras A3 e A4 com camadas de 0,5 e 1,0 g (com pó sem qualquer tipo de moagem). A amostra A4 com 0,5 g e sinterização a 850°C apresentou a melhor condição com valor  $\Delta E$  de 13,49, ou seja, a mais próxima do padrão atual.

Por fim, foi realizada a dureza superficial (capacidade de um material riscar o outro) das amostras classificando-as segundo a escala Mohs conforme a NBR 13818 [10]. O ensaio de dureza Mohs foi realizado apenas nas amostras A3 e A4, ou seja, as melhores condições avaliadas na análise visual comparadas com um padrão. Foi possível verificar um resultado expressivo em relação ao padrão que foi riscado com o mineral calcita (Mohs 3), já as amostras A3 e A4 foram riscadas com mineral fluorita (Mohs 4), ou seja, houve um aumento de um ponto na escala de Mohs.

#### 4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados apresentados neste trabalho, pode-se concluir que há possibilidade de se reduzir uma etapa de queima no setor de peças especiais, com base nos resultados satisfatórios com as amostras A3 e A4, vítrosas (pós de vidros) com baixos teores de óxido de silício e altos teores de óxidos fundentes de cálcio, bário e sódio. Uma destas amostras (A4) apresentou menor coeficiente de expansão térmica (dilatometria) e ponto de amolecimento, caracterizando-a com menor temperatura de sinterização, sem o processo de moagem. Também apresentou resultados melhores na análise colorimétrica na aplicação de 0,5 g e na temperatura de sinterização de 850°C, com o valor de diferença de cor ( $\Delta E$ ) de 13,49, ou seja, com tonalidade a mais próxima do padrão atual produzido com múltiplas queimas. Outro ganho avaliado perante os resultados está relacionado ao aumento da dureza Mohs, que pode

resultar em uma qualidade maior ao produto. Os resultados avaliados de amostras submetidas a apenas uma queima indicam que pode haver contribuição para uma redução de custo e também pode ser considerado um benefício ao meio ambiente em função da redução de emissão de gases.

## Agradecimentos

O grupo agradece ao CNPq, a CAPES e as empresas do sul de Santa Catarina que apoiaram a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- 1 Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento. Revestimentos cerâmicos do Brasil. [página da internet]. São Paulo: ANFACER; 2012 [acesso em 14 set. 2012]. Disponível em: <http://www.anfacer.org.br/>.
- 2 Sarabando ARM, Oliveira HJC, Labrincha JA. Uso de granilhas em suspensão para porcelanato. *Cerâmica Industrial*. 2011;16(3):11-16.
- 3 Sánches E. Matérias-primas para a fabricação de fritas e esmaltes cerâmicos. *Cerâmica Industrial*. 1997;2(3-4):32-40.
- 4 Gonzalbo A, Orts MJ, Mestre S, Gómez P, Agut P, Lucas F, et al. Vidrados cerâmicos com efeito aventurina. *Cerâmica Industrial*. 2007;12(5):7-13.
- 5 Allegretti CAL. Qualidade, produtividade e meio ambiente: uma proposta para o desenvolvimento de um revestimento cerâmico livre de chumbo [dissertação de mestrado]. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria; 2004.
- 6 Escardino A. Vidrados cerâmicos de natureza vitrocrystalina: parte I. *Cerâmica Industrial*. 2001;6(2):17-27.
- 7 Navarro JMF. *El vidrio*. 3. ed. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas; 2003.
- 8 Arcaro S, Bernardin AM. Estudo da variação de espessura de camada de vitrosa em função da gramatura de aplicação e do tamanho da partícula. *Cerâmica Industrial*. 2010;15(5-6):37-41.
- 9 Duran A, Hevia R, Centritto N, Oliveira APN, Bernardin AM. *Introducción a los esmaltes cerâmicos*. Madrid: Faenza Editrice Ibérica; 2002.
- 10 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13818: placas cerâmicas para revestimento - especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT; 1997.

Recebido em: 9 Dez. 2014

Aceito em: 11 Maio 2015