

Estabilidade das Dimensões e do Formato de Revestimentos Cerâmicos. Parte II: Formato.

**Fábio G. Melchades, Carolina Del Roveri, Jairo Sotério,
Luciano L. Silva e Anselmo O. Boschi**

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa)

Laboratório de Revestimentos Cerâmicos (LaRC)

Rodovia Washington Luiz, Km 235 - 13565-905 São Carlos - SP

e-mail: daob@power.ufscar.br

Resumo: O controle das dimensões e formato dos revestimentos cerâmicos é fundamental para se garantir a qualidade do produto. Produtos que apresentam significativas variações dimensionais e/ou desvios da forma podem prejudicar os efeitos estéticos obtidos com as peças assentadas. Os parâmetros dimensionais também influenciam a seleção, estocagem e distribuição dos produtos, aumentando os custos operacionais quando se tem de trabalhar com várias bitolas. A obtenção de produtos capazes de atender os requisitos geométricos está diretamente ligada às características do processo de fabricação e com a estabilidade da massa utilizada. O presente trabalho procura identificar algumas das principais variáveis que influenciam as características geométricas das peças assim como os controles que contribuem para reduzir os desvios indesejados. Na primeira parte, foram discutidos os aspectos relacionados com a estabilidade dimensional dos produtos, enfocando-se a composição da massa, sua sensibilidade à temperatura e os efeitos da compactação. Na segunda parte, a mesma análise é realizada para algumas das variáveis que afetam o formato das peças.

Palavras-chaves: *defeitos, normas, deformação pirolástica, curvatura*

Introdução

Conforme mencionado na primeira parte deste trabalho, as normas ISO 13006 / NBR 13818 estabelecem uma série de exigências para a certificação de revestimentos cerâmicos. Dentro do conjunto de características necessárias, estão as propriedades geométricas. As considerações referentes às dimensões do produto foram abordadas na primeira parte deste estudo.

A forma dos revestimentos cerâmicos é determinada através da ortogonalidade, da retitude lateral e da planaridade. A ortogonalidade diz respeito aos ângulos nos cantos das peças, enquanto que a retitude lateral se refere ao alinhamento dos lados das peças. Industrialmente os problemas de retitude dos lados são conhecidos como “barril” ou “luneta”.

A planaridade é avaliada através da curvatura central, da curvatura lateral e do empeno. É importante distinguir as diferentes características que definem a forma dos re-

vestimentos cerâmicos, visto que existe uma certa confusão entre as mesmas e as medidas necessárias para a correção dos problemas advindos dos desvios destas características são consideravelmente diferentes. A Figura 1 representa de maneira esquemática as diferentes características que determinam a forma dos revestimentos cerâmicos.

Os limites de tolerância admitidos para cada uma das características geométricas variam em função do tamanho das peças, da classe de absorção de água e do método de conformação. Na Tabela I são representados os limites estabelecidos por norma¹ para a variação de cada uma das características que determinam a forma de revestimentos conformados por prensagem (grupo B). Verifica-se que os limites são ligeiramente mais tolerantes para os produtos de pequenos formatos (Área inferior a 90 cm²) e mais estreitos para os produtos da classe BIII, onde se almeja uma precisão dimensional maior que nos demais produtos. Convém lembrar, no entanto, que atender as especificações das

Tabela I. Especificações para as características geométricas, relativas ao formato, de revestimentos conformados por prensagem, segundo as normas ISO 13006 / NBR 13818.

Características Geométricas	Classes BIa, BIb, BIIa e BIIb		Classe BIII	
	S < 90 cm ²	S > 90 cm ²	Sem espaçador	Com espaçador
Retitude dos lados	± 0,75%	± 0,5%	± 0,3%	± 0,3%
Ortogonalidade	± 1,0%	± 0,6%	± 0,5%	± 0,3%
Curvatura central	± 1,0%	± 0,5%	+ 0,5% / -0,3%	+ 0,8% / - 0,2%
Curvatura lateral	± 1,0%	± 0,5%	+ 0,5% / -0,3%	+ 0,8% / - 0,2%
Empeno	± 1,0%	± 0,5%	± 0,5%	S < 250 : 0,50% S > 250 : 0,75%

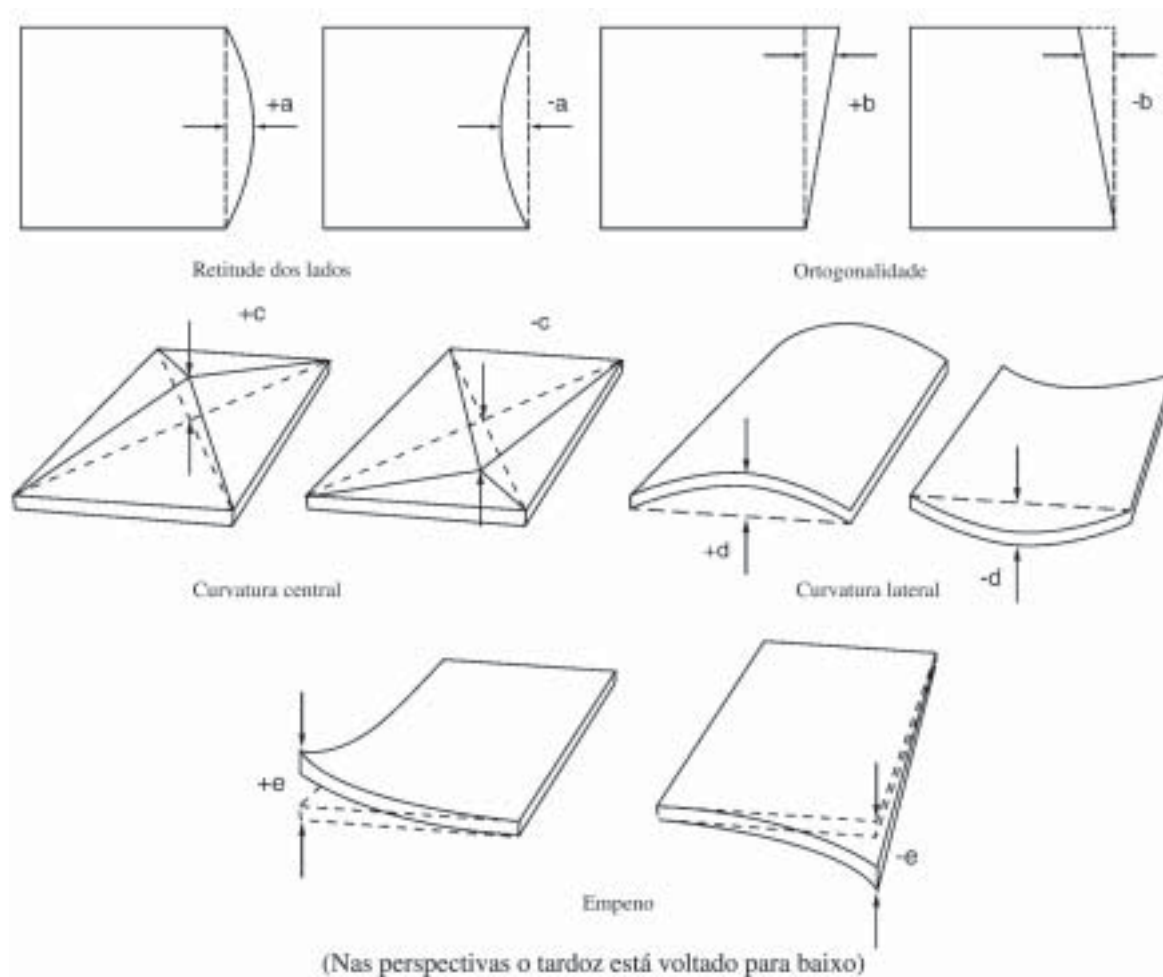


Figura 1. Representação das características geométricas que determinam a forma do produto.

normas constitui apenas um ponto de partida para a fabricação de um produto de qualidade.

O Controle do Formato

Levando em consideração que os estampas das prensas estejam perfeitamente ajustados e que não tenham sofrido desgastes, as peças recém conformadas possuem o formato mais regular possível. A partir de então, as suces-

sivas etapas do processo de fabricação não devem alterar de maneira significativa o formato das peças para que o produto acabado continue apresentando o formato desejado. De maneira análoga, se alguma das etapas do processo de fabricação altera o formato das peças de maneira marcante, é conveniente que em alguma das etapas sucessivas ocorra a reversão da alteração de formato produzida, de tal maneira que o produto acabado continue apresen-

tando a geometria desejada.

Após a conformação, as etapas do processo que podem alterar a forma das peças podem ser listadas resumidamente abaixo:

- Secagem:
 - Imprecisões de forma geradas por gradientes térmicos no secador que acarretam retrações diferenciais entre regiões de uma mesma peça.
- Esmaltação:
 - Curvaturas geradas nas peças após a aplicação dos esmaltes, decorrentes da retração das camadas de engobe/esmalte que ocorre durante sua secagem, não acompanhada pelo suporte².
- Queima:
 - Deformações geradas por retrações diferenciais entre regiões de uma mesma peça, causadas por gradientes de temperatura nas distintas regiões do forno;
 - Deformações geradas por retrações diferenciais entre regiões de uma mesma peça, causadas por heterogeneidades na compactação do corpo verde;
 - Deformações pirolásticas geradas pela movimentação das peças sobre os rolos do forno em produtos vitrificados;
 - Curvaturas decorrentes do acoplamento esmalte-engobe-suporte.

Analisando as possibilidades de alteração do formato das peças ao longo do processo de fabricação de revestimentos cerâmicos, observa-se que as mesmas podem ser subdivididas em deformações e curvaturas. Deste modo, a seguir são feitas algumas considerações a respeito do desenvolvimento de algumas deformações e curvaturas capazes de comprometer o formato dos revestimentos cerâmicos. Assim como na primeira parte deste trabalho, objetiva-se a discussão de algumas possibilidades para a obtenção de produtos de características geométricas com a maior precisão possível, considerando-se um processo de fabricação bem ajustado. Por este motivo, não são discutidas as regulagens que podem ser efetuadas em equipamentos, tais como fornos³, secadores e prensas, mas sim as características que as massas e os esmaltes devem possuir para conferir melhores condições para a fabricação de um produto de características geométricas adequadas.

A Deformação Pirolástica

A deformação pirolástica pode ser definida como a descaracterização da forma do produto ocorrida durante a queima. Sua origem está relacionada com o excesso de fases líquidas que se formam no produto durante a queima, ou mesmo com a viscosidade reduzida das mesmas. Durante a condução das peças no forno, através de rolos refratários, é possível que a peça venha a curvar-se para acompanhar a rotação dos rolos, visto que a mesma encontra-se submetida ao esforço vertical aplicado pelo seu próprio peso. Em conseqüência, começam a surgir proble-

mas de empeno no produto acabado. A deformação pirolástica ocorre mais frequentemente em massas altamente vitrificadas, tais como as massas de grês e grês porcelanato.

A magnitude da deformação pirolástica é determinada pelo índice de pirolasticidade (IP), e indica a tendência à deformação de um corpo de prova de dimensões determinadas submetido à ação da força de gravidade durante a queima sob condições específicas.

O procedimento usado para determinar o índice de pirolasticidade⁴ consiste na medida da flecha de curvatura de um corpo de prova queimado sobre dois suportes refratários, separados por uma distância determinada, conforme mostra a Figura 2. A equação 1 é utilizada para a determinação do IP, onde IP é o índice de pirolasticidade (cm⁻¹), h é a espessura do corpo (cm), S é a flecha de deformação medida pela deflexão do corpo de prova (cm) e L é a distância entre os apoios refratários (cm).

$$IP = \frac{4 \cdot h^2 \cdot S}{3 \cdot L^4} \quad (1)$$

A deformação pirolástica se desenvolve em função da vitrificação do corpo cerâmico durante a queima. Conforme se aumenta a temperatura das peças no interior do forno, há um aumento gradual da quantidade de fases líquidas formadas. Estas fases, se desenvolvem em razão da fusão parcial dos componentes mais fundentes da massa. À medida que a temperatura aumenta, os componentes mais refratários vão sendo progressivamente dissolvidos pelas fases líquidas, fazendo com que o volume das mesmas aumente consideravelmente. A Figura 3 ilustra o efeito da temperatura de queima sobre o índice de pirolasticidade de uma massa industrial utilizada para a fabricação de revestimentos semi-gresificados. Observa-se que ocorre o aumento da deformação pirolástica em função da temperatura de queima em todo o intervalo de temperaturas uti-

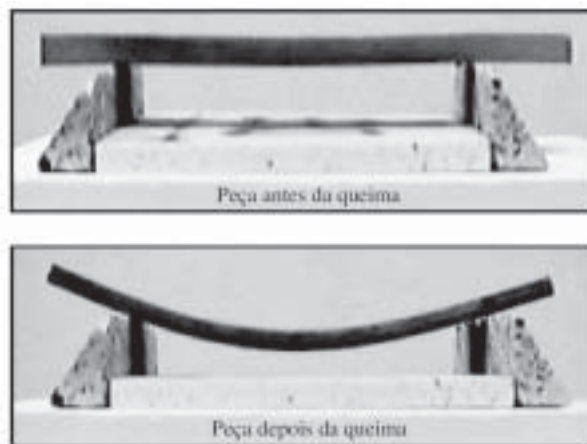


Figura 2. Procedimento utilizado para medir o índice de pirolasticidade de uma massa.

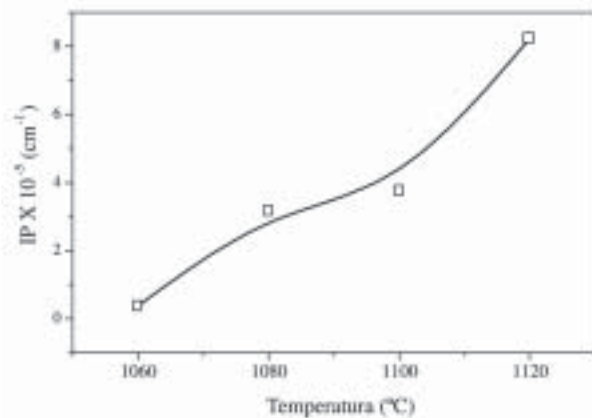


Figura 3. Efeitos da temperatura de queima sobre a deformação pirolástica.

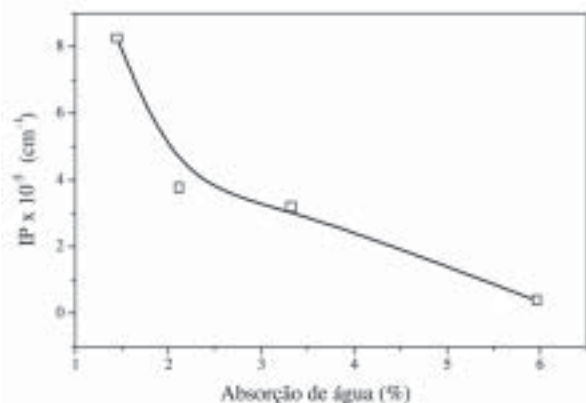


Figura 4. Relação entre a absorção de água do produto e a deformação pirolástica.

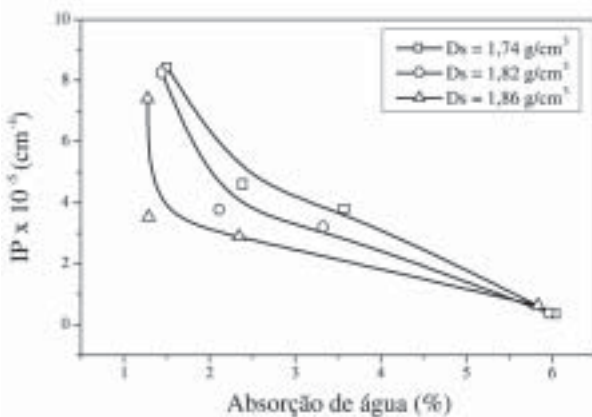


Figura 5. Efeitos da densidade aparente antes da queima sobre a deformação pirolástica.

lizado. Além da temperatura na zona de queima, a velocidade de aquecimento e o tempo de permanência das peças na temperatura máxima são variáveis que também podem exercer influência sobre a deformação pirolástica, pois esta depende do trabalho térmico a que a peça é submetida⁵.

Considerando o processo de vitrificação que ocorre durante a queima, observa-se que a deformação pirolástica só começa a se manifestar de maneira pronunciada quando se atinge elevados graus de vitrificação. A Figura 4 exemplifica este efeito, através da avaliação da deformação pirolástica em função da absorção de água de uma massa de semi-grês. Enquanto a absorção de água do produto é superior a 2,0%, ocorre um aumento lento e gradual da deformação pirolástica à medida que se reduz a absorção de água do produto. No entanto, quando o grau de vitrificação torna-se elevado (absorção de água inferior a 2,0%) ocorre um aumento drástico da deformação pirolástica. Produtos que apresentam este grau de vitrificação requerem um cuidado especial na fabricação para se evitar a distorção do formato das peças. Em produtos de absorção de água mais elevada, a preocupação é menor, visto que a deformação pirolástica se manifesta de maneira mais branda, entretanto também pode ocorrer.

Na fabricação de produtos de baixa porosidade (grês porcelanato, semi-grês), o aumento da compactação da massa é uma alternativa interessante para a minimização da deformação pirolástica. Conforme se verifica através da Figura 5, as peças que apresentam densidade mais elevada antes da queima favorecem a obtenção de um produto de mesma absorção de água, porém com uma deformação pirolástica inferior. As peças de maior densidade aparente possuem um menor volume de poros antes da queima e, portanto, necessitam de uma quantidade menor de fases líquidas para atingir a absorção de água desejada. Neste sentido, em produtos gresificados, deve-se objetivar a obtenção da densidade aparente mais elevada possível durante a conformação e estabelecer um controle rigoroso do processo para se evitar variações da compactação da massa, visto que o formato do produto pode ser altamente comprometido.

De maneira análoga, a distribuição de tamanho de partículas^{5,6} da massa também influencia o desenvolvimento da deformação pirolástica. Seus efeitos afetam a velocidade de vitrificação do produto e podem influenciar também a viscosidade das fases líquidas formadas. Assim, as conseqüências da variação da granulometria da massa sobre a deformação pirolástica estão diretamente ligadas às particularidades de cada composição. De qualquer forma, o controle do teor de resíduo da massa assume particular relevância na fabricação de produtos gresificados para impedir a descaracterização de seu formato.

Deformações Causadas por Retrações Diferenciais

Durante a etapa de queima, as peças estão constantemente submetidas a variações de tamanho, que ocorrem em conseqüência das reações que se processam em seu interior. Se uma mesma peça apresenta retrações de diferentes magnitudes ao longo de sua extensão, o produto acabado pode apresentar desvios de seu formato original, gerando proble-

mas de ortogonalidade e retitude dos lados.

Existem duas causas relevantes que podem fazer com que uma peça apresente retrações diferenciais entre as regiões que a constituem:

- Gradientes de temperatura no interior do forno / secador;
- Heterogeneidades no corpo prensado (variações de densidade nas diferentes regiões de uma mesma peça).

No primeiro caso, o problema pode ser minimizado ou eliminado pela regulação do forno³. De uma maneira geral, pode-se dizer que é possível minimizar as variações de formato através da minimização dos gradientes de temperatura no interior do forno.

O mesmo tipo de problema pode se manifestar em um forno perfeitamente regulado, quando ocorrem heterogeneidades na compactação das peças durante a prensagem. Deve-se almejar a obtenção de peças que apresentam o mesmo grau de compactação em todas as suas regiões. No entanto, em virtude dos ajustes mecânicos da prensa ou em decorrência das características dos grânulos da massa, gradientes de densidade nas peças prensadas podem ocorrer. A identificação deste problema pode ser feita através da instalação de um controle periódico no processo de fabricação, fazendo-se uso de um penetrômetro, ou se possível, determinando-se a densidade aparente de partes das peças através do uso de um sistema apropriado (imersão em mercúrio)⁷.

Com relação às características das prensas, é fundamental que a pressão aplicada seja a mesma ao longo de toda a superfície da peça. Além disso, a sincronia entre o carregamento, a movimentação da grelha e a aplicação da pressão de compactação, afetam a uniformidade do preenchimento dos estampos e podem determinar a homogeneidade da peça conformada. Com relação à massa, é necessário que em sua preparação, a granulação seja suficientemente efetiva para gerar grânulos que apresentem a maior fluidez possível.

A fluidez dos grânulos pode ser medida diretamente através do método do funil, ou indiretamente através do Índice de Hausner⁸. Para maximizar a fluidez dos grânulos, deve-se reduzir ao máximo o atrito entre os mesmos. Este resultado se obtém através do uso de grânulos de formato regular (o mais esférico possível) e com uma alta participação de grânulos grossos.

Na Tabela II são apresentados os resultados do Índice de Hausner de massas granuladas por meio de dois proce-

Tabela II. Índice de Hausner de massas preparadas por métodos diferentes.

Massas	Índice de Hausner
Atomizada	1,14 ± 0,01
Granulada (via seca)	1,47 ± 0,02

dimentos diferentes. A fluidez dos grânulos aumenta à medida em que o Índice de Hausner se aproxima de 1,0. Comparando a fluidez de uma massa atomizada com outra granulada por via seca, nota-se uma grande diferença entre a fluidez dos pós obtidos. A maior fluidez dos grânulos atomizados permite um preenchimento mais uniforme dos estampos e a prensagem de peças mais uniformes. Em decorrência das limitações dos granuladores utilizados no processo via seca, a fabricação de produtos de grandes formatos torna-se mais difícil.

A intensidade das deformações provocadas por variações da densidade aparente resultantes do preenchimento não uniforme dos estampos dependem do grau de gresificação das peças durante a queima. Visando ilustrar os efeitos dos gradientes de compactação sobre o formato do produto, realizou-se um experimento em que foram produzidos intencionalmente gradientes severos de densidade durante a prensagem de peças no formato de (17 x 15) cm. O estudo foi realizado com uma massa de grês e outra utilizada para a fabricação de revestimentos semi-porosos. A queima foi realizada em forno de laboratório nas condições específicas de cada produto.

Na figura 6 são apresentadas as densidades em diferentes regiões das peças e fotos das mesmas após a queima. Nota-se uma grande descaracterização do formato das peças, especialmente na massa de grês.

Os resultados podem ser melhor analisados através da Tabela III, onde se representam as características relativas ao formato das peças produzidas nas condições acima descritas. A análise foi realizada em um dataplucômetro, por comparação com um padrão metálico apropriado. Observa-se que as peças apresentaram desvios consideráveis em relação aos limites estabelecidos pela norma, sendo que na massa de grês a imprecisão de formato foi muito maior do que na massa de revestimento semi-poroso. Os maiores

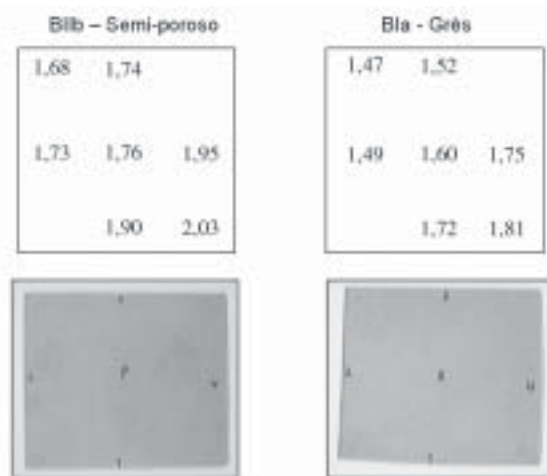


Figura 6. Relação entre o gradiente de compactação e o formato do produto queimado para duas massas distintas.

desvios aconteceram na ortogonalidade e na retitude dos lados. As características que determinam a planaridade do produto (curvatura central, curvatura lateral e empeno) apresentaram desvios de menor magnitude.

Com base nestes resultados, é possível dizer que o controle da uniformidade da compactação das peças é fundamental para assegurar a fabricação de um produto de formato definido. A falta de controle sobre a homogeneidade das peças prensadas pode causar defeitos no produto acabado, sobretudo aqueles denominados “barril”, “luneta” e “esquadro”. Os produtos altamente vitrificados (de baixa absorção de água) são mais sensíveis à manifestação destes defeitos em virtude da maior retração linear que apresentam na queima e, principalmente, do efeito mais pronunciado que a densidade a verde exerce sobre esta propriedade.

Curvaturas Geradas no Acoplamento Massa-Esmalte

A planaridade dos revestimentos cerâmicos é especificada pelas normas ISO 13006/NBR 13818 através do empeno e das curvaturas central e lateral. O empeno, conforme mencionado anteriormente, pode se tornar mais pronunciado quando surgem problemas de deformação pirolástica.

Para ajustar as curvaturas central e lateral, além dos recursos disponíveis no forno, o ajuste do acoplamento das camadas de esmalte e engobe com o suporte cerâmico pode ser uma alternativa interessante. Este assunto já foi abordado com maior riqueza de detalhes em outras ocasiões⁹ e será tratado apenas superficialmente neste trabalho.

Na própria aplicação das camadas de engobe e esmalte já são geradas tensões na interface com o suporte cerâmico, causadas pela perda de água das camadas aplicadas a úmido². No entanto, é durante a queima que se manifestam as curvaturas de maior relevância para o formato do produto final. A maior parte dos trabalhos publicados¹⁰ envolve apenas o acoplamento massa-esmalte, cuja teoria é bastante conhecida.

Durante o aquecimento da peça no forno, o suporte e o vidro podem sofrer dilatações incompatíveis, pois nessa etapa o vidro amolece sobre o suporte e passa a comportar-se como um líquido que acompanha as variações dimensionais que o suporte apresenta. Este estado permanece até uma determinada etapa do resfriamento do forno, onde o vidro volta a comportar-se como um sólido e apresenta a sua própria retração. A partir deste instante, se o suporte e o vidro apresentarem retrações incompatíveis, serão geradas tensões na interface das camadas. A curvatura se desenvolve a partir de então, visando aliviar as tensões desenvolvidas.

A temperatura em que o vidro volta a comportar-se como um sólido é denominada temperatura de acoplamento efetivo. Tal temperatura pode ser determinada como a

média entre a temperatura de transformação vítrea (T_g) e a temperatura de amolecimento do vidro (T_r).

A Figura 7 representa o acoplamento de um vidro a um suporte, onde se acompanham as variações dimensionais sofridas pelos dois elementos abaixo da temperatura de acoplamento efetivo. Se o vidro retrai mais que o suporte a partir desta temperatura, surge uma tensão de compressão sobre o suporte e de tração sobre o vidro. Conseqüentemente a peça adquire uma curvatura convexa. Para a situação oposta, quando o suporte retrai mais do que o vidro, o primeiro permanece sob tração e o segundo sob compressão, gerando curvatura côncava nas peças.

Deste modo, o acordo esmalte-suporte pode ser avaliado experimentalmente através da comparação das curvas dilatométricas do suporte e do vidro. Nesse ponto considera-se que a expansão sofrida por um material no aquecimento é numericamente igual à retração sofrida pelo mesmo no resfriamento para uma dada faixa de temperatura. Neste sentido, o controle da expansão térmica do suporte e do vidro assume particular importância para o controle da curvatura e para evitar o gretamento da camada de vidro.

No entanto, na maior parte dos revestimentos cerâmicos, utiliza-se uma camada de engobe intermediária entre a massa e o esmalte. Os estudos⁹ realizados até o momento demonstraram que há uma relação direta entre as características da camada de engobe e a curvatura desenvolvida, pois peças produzidas com a mesma massa e o mesmo es-

Tabela III. Caracterização do formato dos revestimentos semi-porosos e gresificados testados.

Características	Especificações	Semi-poroso	Grês
Retitude dos lados	$\pm 0,5\%$	0,4 %	0,9%
Ortogonalidade	$\pm 0,6\%$	0,9%	3,5%
Curvatura central	$\pm 0,5\%$	0,2%	0,6%
Curvatura lateral	$\pm 0,5\%$	0,6%	-0,4 %
Empeno	$\pm 0,5\%$	0,2%	0,4%

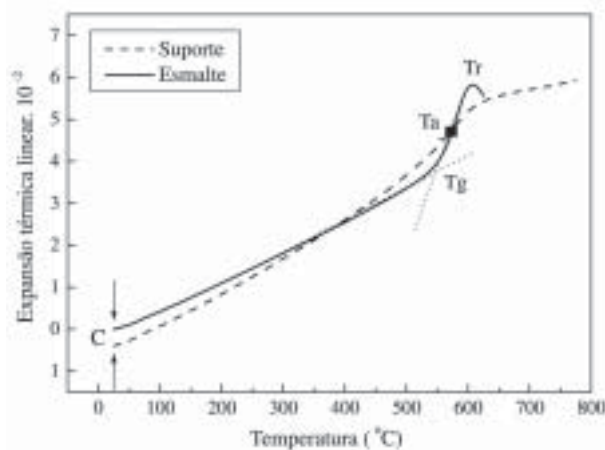


Figura 7. Acoplamento esmalte-suporte.

Tabela IV. Medidas de curvaturas centrais em produtos fabricados com diferentes engobes.

Produtos	Curvatura central (%)
Engobe I	0,11 / 0,05
Engobe II	0,18 / 0,11
Engobe III	0,28 / 0,22

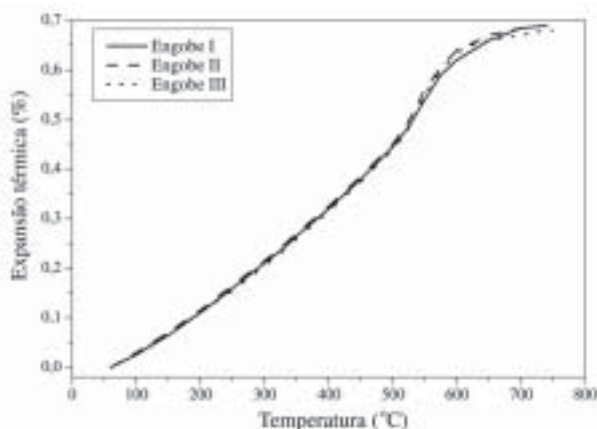


Figura 8. Análise dilatométrica dos engobes utilizados.

malte podem apresentar curvaturas radicalmente diferentes quando se alteram as características do engobe utilizado.

Na Tabela IV apresentam-se alguns resultados de testes efetuados em um produto obtido a partir da mesma massa e do mesmo esmalte, porém com engobes diferentes. As curvas dilatométricas dos três engobes utilizados encontram-se representadas na Figura 8, onde se verifica que não existiam diferenças consideráveis entre os mesmos. Observa-se que os produtos apresentaram curvaturas centrais consideravelmente diferentes, mesmo fazendo-se uso de engobes com a mesma dilatação térmica. Este resultado comprova a importância do engobe para o controle da curvatura dos revestimentos cerâmicos e ainda evidencia que o controle de sua dilatação térmica não é suficiente para garantir a planaridade das peças. Os estudos mais recentes têm indicado que a fusibilidade dos engobes também pode afetar de maneira significativa o desenvolvimento de curvaturas nos revestimentos cerâmicos.

Comentários Finais

Como demonstrado nesta série de artigos há vários fatores que influenciam as dimensões e o formato dos revestimentos cerâmicos. Assim sendo, para se manter essas características dentro dos limites desejados em primeiro lugar é preciso conhecer todas as causas possíveis. A partir desse conhecimento e das peculiaridades da ocorrência pode-se então procurar identificar quais as causas mais prováveis. Identificadas as prováveis causas dos desvios observados é preciso que se compreenda como a distorção

ocorre para que se possa identificar as possíveis soluções. Nesse sentido esta série de trabalhos procurou resumidamente esclarecer como algumas das principais causas das variações dimensionais e de formato levam a essas distorções. Espera-se que através de um melhor entendimento desses fenômenos os técnicos responsáveis possam mais facilmente identificar as maneiras mais eficazes de controlar essas características.

Para finalizar cabe ainda salientar que os limites estabelecidos por norma são relativamente brandos e que as empresas que realmente se preocupam com a qualidade dos seus produtos adotam internamente limites consideravelmente mais rígidos.

Referências Bibliográficas

1. DRAFT 13006 – “Ceramic Tiles. The International Standards” – Ed. Int. CERLabs, 1992.
2. Rodrigo, J.L.; Sanmiguel, F.; et al. – “Estudio del origen y variables de las que depende el retirado em baldosas ceramicas de monocccion para pavimento y monocccion porosa” – Anais do 38º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Blumenau, SC, 1994.
3. Técnicos do Centro Experimental SACMI-IMOLA – “Defeitos de revestimentos cerâmicos como uma consequência da regulagem errada do forno” – Cerâmica Industrial, vol.02, nº1/2, 17-22, 1997.
4. Navarro, J.E.; Negre, F.; Blasco, A.; Beltrán, V. – “Controles de fabricación de pavimentos y revestimentos ceramicos” – Ed. AICE-ITC, Castellón, España, 1996.
5. Del Roveri, C.; Silva, L.L.; Melchiades, F.G.; Boschi, A.O. – “Estudo da deformação pirolástica em revestimentos cerâmicos gresificados” – Anais do 44º Congresso Brasileiro de Cerâmica, publicação eletrônica, São Pedro, 2000.
6. Escardino, A.; Amorós, J.L.; Negre, F.; Feliú, C. – “Influence of process parameters on the planarity of floor tiles” – Interbrick, 5, nº5, 26-31, 1989.
7. Amorós, J.L.; Beltrán, V.; Blasco, A.; Feliú, C.; Sancho-Tello, M. – “Técnica experimentales del control de la compactación de pavimentos y revestimentos cerámicos” – Técnica Cerâmica, nº116, 1234-1246.
8. Quinteiro, E. - “Efeito das características de pós atomizados sobre as características e qualidade de revestimentos cerâmicos” - Dissertação de mestrado, UFSCar, São Carlos (1996).
9. Melchiades, F.G.; Barbosa, A.R.D.; Boschi, A.O. – “Relação entre a curvatura de revestimentos cerâmicos e as características da camada de engobe” – Cerâmica Industrial, vol.5, nº2, 29-33, 2000.
10. Amorós, J.L.; Negre, F.; Belda, A.; Sánchez, E. - “Acordo esmalte suporte I, A falta de acordo como causa do empenamento” – Cerâmica Industrial, vol.1, nº4/5, 06-13, 1996.