

Lâminas Grandes de Grés Porcelânico: Propriedades Tecnológicas e de Processo

C. Zanelli^{a*}, M. Raimondo^a, G. Guarini^a, F. Marani^b, L. Fossa^b, M. Dondi^a

^aInstituto de Ciencia y Tecnología Cerámica – ISTECCNR, Faenza, Itália

^bSystem Group, Fiorano Modenese, Itália

*e-mail: chiara.zanelli@istec.cnr.it

Resumo: Lâminas grandes de grés porcelânico, com até 3600 × 1200 mm e 3 mm de espessura, podem ser curvadas e usadas em várias aplicações, desde edificação e construção (solos, recobrimentos de parede, fachadas ventiladas, túneis, painéis de isolamento) a móveis para o interior (como cobertura de mesas, portas e painéis). As lâminas de grande tamanho são fabricadas usando um processo cerâmico inovador, a partir de matérias-primas convencionais ou pré-moídas, com mistura a úmido em moinho de bolas, granulação do pó por atomização, conformação por prensas especiais, em uma única fase de secagem e queima rápida, com temperatura máxima de aproximadamente 1200 °C, e finalmente acabamento (retificação, polimento, funcionalização). Neste trabalho amostras industriais foram selecionadas para investigar seu comportamento tecnológico, bem como suas características composicionais e microestruturais. Foram determinadas as seguintes características: absorção de água, porosidade aberta e fechada, densidade aparente, composição de fases, propriedades mecânicas (módulo de ruptura, módulo de Young, tenacidade à fratura), resistência à abrasão profunda, resistência química e a manchas, resistência ao choque térmico e ao gelo e degelo. Além disso, também foi investigada a microestrutura (microscopia eletrônica de varredura), tanto de seções polidas como das superfícies, e a distribuição de tamanhos de poros de suportes queimados e crus, bem como seu comportamento durante a sinterização. Foram encontradas características muito diferenciadas nas lâminas de grés porcelânico, tanto nas grandes como nas menores. A absorção de água é muito baixa (< 0,1%) para a elevada velocidade de sinterização. As propriedades mecânicas cumprem os requisitos de alta qualidade das placas de grés porcelânico: módulo de ruptura (60-70 MPa), módulo de Young (68 GPa) e tenacidade à fratura (1,3 MPa m^{1/2}), implicando que este processo inovador proporciona um elevado grau de resistência mecânica, mas produtos não rígidos, que são duros e pouco sensíveis a poros relativamente grandes (com tamanho de defeito crítico ~200 µm). Os requisitos tecnológicos padrão são cumpridos, sendo resistentes à abrasão profunda (160 mm³), ao ataque químico, ao choque térmico, e aos ciclos de gelo e degelo. As placas grandes mostram uma microestrutura compacta com poros fechados (5 a 8%) que apresentam um tamanho máximo de 50 µm, em sua maior parte com formas irregulares. A composição de fases das lâminas grandes é análoga à das placas de grés porcelânico, que consistem em uma abundante fase vítrea (65 a 80%), baixo teor de feldspato e quartzo residual, e formação de fase mulita.

Palavras-chave: lâminas, grés porcelânico, inovação cerâmica, revestimentos cerâmicos.

1. Introdução

No mercado de placas cerâmicas houve na última década um grande aumento na produção de grés porcelânico, devido às propriedades tecnológicas que possui e as suas características estéticas, que foram melhoradas consideravelmente¹⁻¹⁰. As últimas tendências do mercado estão claramente orientadas para os grandes formatos e, mais recentemente, a uma redução da espessura das placas, mas estas tendências devem confrontar-se com limitações tecnológicas muito importantes (p.ex., a relação entre potência de prensa e tamanho da placa). A única forma de superar estas limitações é usar inovações tecnológicas que incluam um novo enfoque em relação aos tratamentos de conformação e térmicos, capazes de produzir grandes lâminas de grés porcelânico com dimensões até 4 × 1,5 m² e 3 mm de espessura. Estes produtos são singulares, pois combinam excelentes características tecnológicas com um grau de flexibilidade sem igual, e o resultado é um potencial assombroso quanto a novas aplicações. As lâminas, incluindo compostos multicamadas com fibra de vidro entre as lâminas, são adequadas para exteriores e interiores, para edificação e construção (solos, recobrimento de paredes, telhados, fachadas ventiladas, revestimentos de túneis e painéis isolantes, assim como revestimentos para barcos) e para móveis de interior (p.ex., portas, coberturas de mesas, painéis). Além disto, estas lâminas podem ser

utilizadas como suportes para células fotovoltaicas e sua superfície pode ser decorada e funcionalizada.

Este trabalho tem como objetivo a caracterização das principais propriedades mecânicas, tecnológicas, tribológicas e funcionais de lâminas de grés porcelânico industrial obtidas por um ciclo de fabricação inovador denominado “Lamina”, cujas características são comparáveis às das placas de grés porcelânico convencionais.

2. Desenvolvimento Experimental

Foram selecionadas lâminas de três fabricantes e foram medidas as características tecnológicas tanto em produtos queimados como em produtos crus (quer dizer, a parte anterior, média e posterior), que foram amostrados para avaliar qualquer falta de homogeneidade nas propriedades tecnológicas.

Nas lâminas cruas foi investigada a distribuição de tamanho de partículas (ASTM C958), a densidade aparente, a microestrutura (MEV) e a distribuição de tamanho de poros (porosimetria por intrusão de mercúrio).

As lâminas acabadas foram caracterizadas determinando-se: absorção de água, porosidade aberta e densidade aparente (ISO 10545-3); a porosidade fechada e total (ASTM C329); módulo

de ruptura (ISO 10545-4); módulo de Young (ENV 843-2); tenacidade à fratura (ENV 843-1); resistência à abrasão profunda (ISO 10545-6); resistência química (ISO 10545-13) e a manchas (ISO 10545-14); dilatação térmica linear (ISO 10545-8); resistência ao choque térmico (ISO 10545-9) e aos ciclos de gelo e degelo (ISO 10545-12). Foi determinada de forma quantitativa a composição de fases por meio de difração de pó por raios X usando-se o método Rietveld RIR. A microestrutura foi investigada por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), sobre seções de superfície e polidas.

3. Resultados e Discussão

3.1. Processamento de lâminas grandes

As grandes lâminas de grés porcelânico são fabricadas por um processo cerâmico inovador, que se inicia a partir de matérias-primas convencionais ou pré-moidas. Os suportes consistem em formulações de grés porcelânico típico, sendo uma mistura de argilas plásticas, areias de quartzo feldspáticas e feldspatos sódico-potássicos em diferentes proporções (Figura 1).

A distribuição de tamanho de partículas destes produtos é bastante fina, com um diâmetro médio aproximado de 3 µm, dentro da faixa de distribuição do grés porcelânico (Figura 2).

O processamento inclui a mistura úmida com moinho de bolas e a granulação do pó por meio de atomização. É utilizada uma prensa especial para obter um suporte cru por conformação sem restrição

em um molde sem matriz e com uma curva de pressão de baixa velocidade em vez do princípio de martelo usado convencionalmente na prensagem de placas.

Uma vez conformadas, as grandes lâminas são cortadas e submetidas a uma fase rápida e simples de secagem e queima utilizando-se um secador modular e um forno a rolos elétrico ou híbrido, alimentado por gás e eletricidade, com uma temperatura máxima próxima a 1200 °C e um ciclo de queima de 30-45 minutos.

As lâminas são cortadas até o tamanho desejado por meio de retífica e corte a seco, podendo ser colado um reforço de fibra de vidro no dorso da lâmina: desta forma é melhorada consideravelmente sua flexibilidade e resistência à flexão, facilitando, portanto, seu transporte, e permitindo aplicações que vão além das clássicas para o grés porcelânico. Além disso, podem ser feitos tratamentos superficiais, ou seja, polimento, decoração e funcionalização (p.ex., autolimpeza).

3.2. Características das lâminas cruas

A prensagem sem matriz usada para lâminas grandes pode resultar em uma densificação considerável durante o estado seco, que vai desde 1,88 a 2,03 g.cm⁻³ dependendo da pressão específica (p.ex., de 30 a 35 MPa) e das características do pó (umidade, distribuição de tamanho de partículas, distribuição granulométrica, composição mineralógica). Estes valores de densidade aparente são comparáveis ou mesmo superiores aos obtidos por meio de prensagem convencional de grés porcelânico (1,90-1,98 g.cm⁻³), destacando-se a

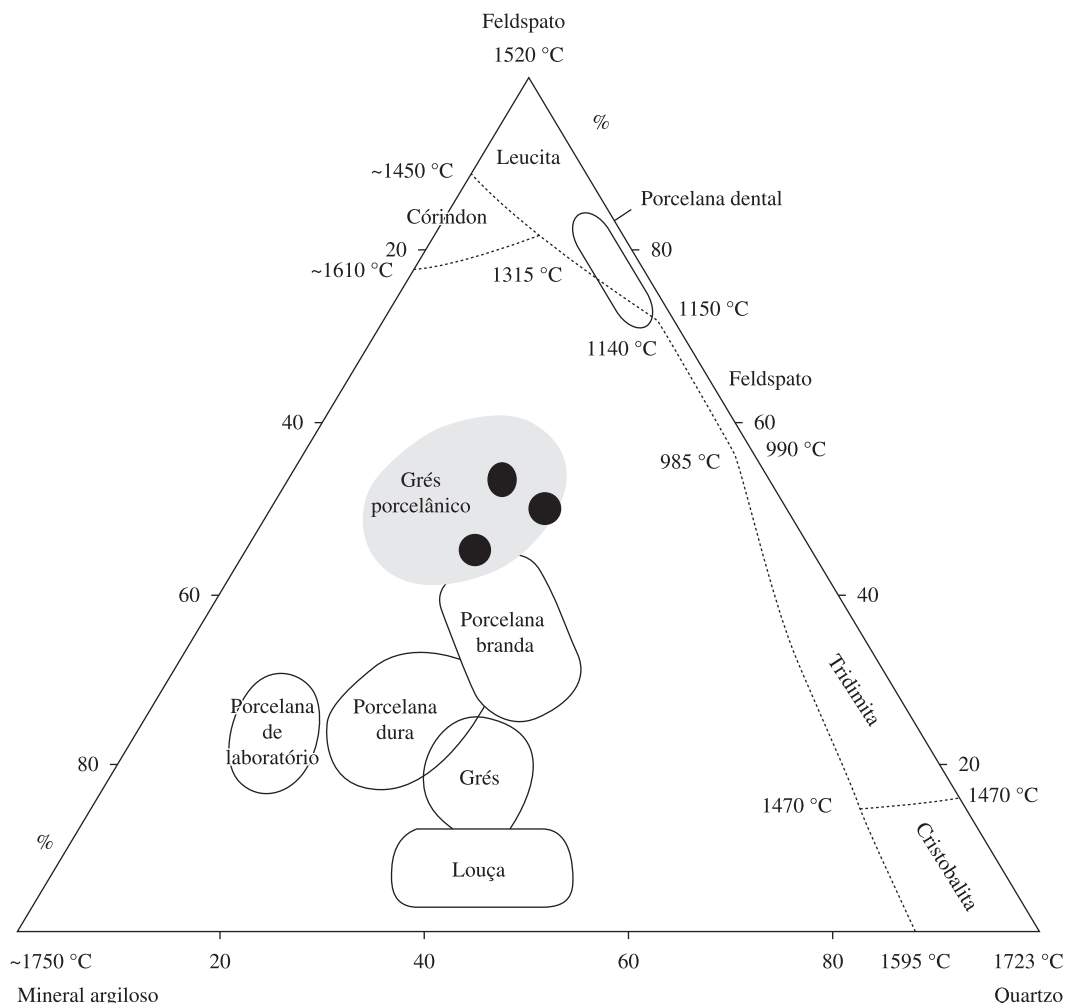


Figura 1. Formulações de suportes para lâminas grandes (círculos completos) em comparação com diferentes produtos porcelânicos.

efetividade desta técnica de prensagem. A efetividade da prensagem fica evidenciada pela modesta variação nas distintas regiões das lâminas (intervalo entre 1,88-1,92 g.cm⁻³), que correspondem a 27,6-29,3% dos valores da porosidade total (Tabela 1). Além disso, a distribuição de tamanhos de poros está entre 0,01 e 1 µm, com um valor médio de 0,1 µm, sem diferenças significativas entre as partes anterior e posterior das peças (Figura 3).

3.3. Características das lâminas acabadas

O comportamento na sinterização é fortemente afetado pelas características dos produtos crus. Nas lâminas queimadas, a uniformidade do comportamento tecnológico é confirmada pelas limitadas variações de absorção de água, densidade aparente e porosidade fechada, que na verdade correspondem à incerteza experimental (Tabela 1).

Tabela 1. Propriedades tecnológicas de lâminas grandes cruas e queimadas. Exemplos das variações que ocorrem em diferentes partes das lâminas (anterior, meio e posterior).

Produtos	Propriedades	Intervalo de valores para diferentes lâminas	Anterior	Meio	Posterior
Lâminas cruas	Densidade aparente (g.cm ⁻³)	1,88 - 2,03	1,921 ± 0,002	1,915 ± 0,003	1,884 ± 0,001
	Porosidade total (% vol)	23 - 29	27,6 ± 0,2	28,2 ± 0,3	29,3 ± 0,1
Lâminas queimadas	Absorção de água (% massa)	0,06 - 0,11	0,05 ± 0,01	0,06 ± 0,01	0,07 ± 0,01
	Porosidade aberta (% vol)	0,14 - 0,25	0,13 ± 0,04	0,14 ± 0,04	0,16 ± 0,01
	Porosidade fechada (% vol)	5,0 - 6,5	4,5 ± 0,2	5,4 ± 0,3	5,0 ± 0,3
	Porosidade total (% vol)	5,2 - 6,7	4,7 ± 0,2	5,6 ± 0,2	5,2 ± 0,2
	Densidade aparente (g.cm ⁻³)	2,34 - 2,42	2,43 ± 0,01	2,40 ± 0,01	2,42 ± 0,02

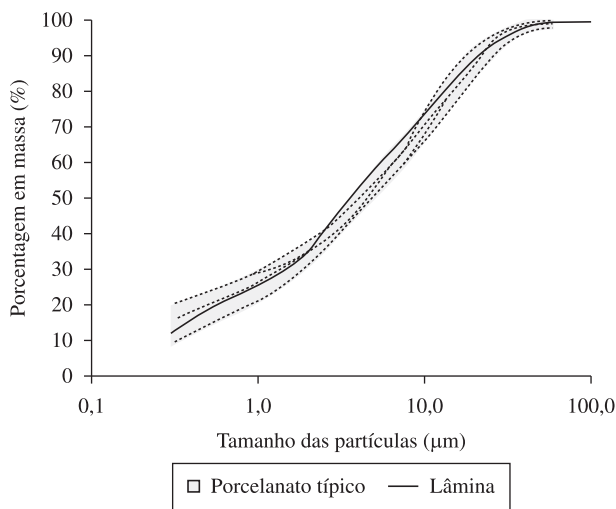


Figura 2. Distribuição de tamanho de partículas para suportes de lâminas grandes e placas de grés porcelânico.

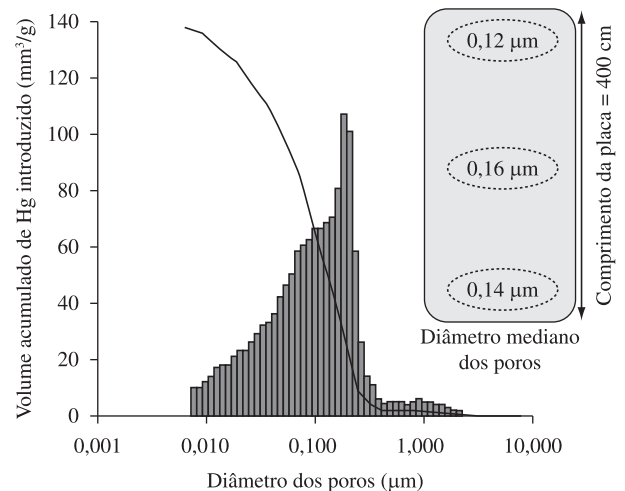


Figura 3. Distribuição de tamanho de poros de uma lâmina crua.

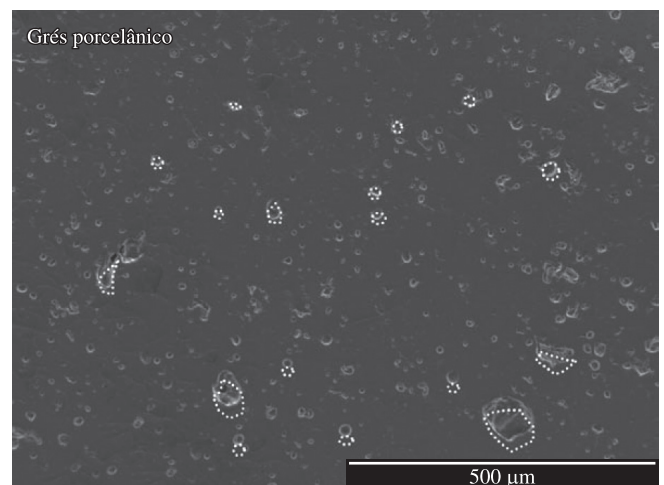
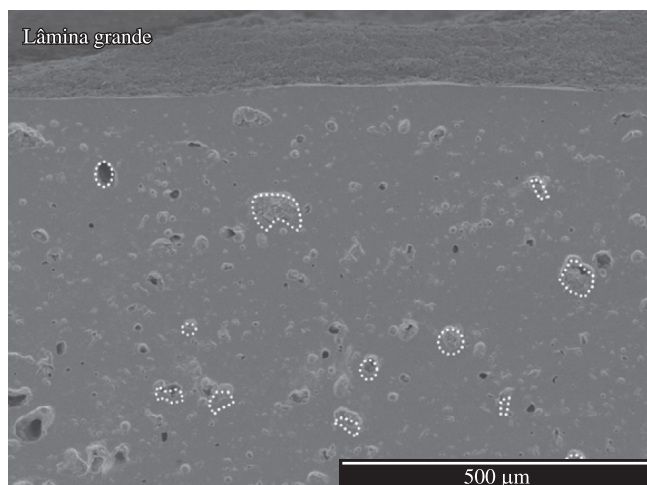


Figura 4. Microestrutura de uma lâmina grande em comparação com grés porcelânico típico (MEV).

As lâminas caracterizam-se por uma microestrutura compacta com poros pequenos e de forma irregular, com um tamanho máximo de 50 μm (Figura 4). As lâminas grandes apresentam as seguintes características (Figura 5):

- Valores muito baixos de absorção de água, que geralmente estão abaixo de 0,1%, segundo a velocidade de sinterização rápida;
- Porosidade fechada entre 5-8%, que se ajusta bem aos valores típicos de grés porcelânico;
- Densidade aparente entre 2,34-2,40 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ de acordo com o valor das placas de grés porcelânico.

Do ponto de vista mecânico as lâminas apresentam módulo de ruptura entre 65-70 MPa, muito acima do requisito da norma de 35 MPa (ISO 13006) e entre os produtos de grés porcelânico mais resistentes¹¹.

A tenacidade à fratura é de 1,26 $\text{MPa m}^{1/2}$ e o módulo de Young é 67,6 GPa, portanto dentro das margens de alta qualidade para produtos de grés porcelânico (Tabela 2).

Além disso, o tamanho de defeito crítico, calculado com base no módulo de ruptura e na tenacidade à fratura é de mais ou menos 200 μm , sugerindo uma sensibilidade limitada a poros relativamente grandes. As lâminas de grande tamanho são duras e têm uma grande resistência, mas não são produtos rígidos, com um rendimento mecânico igual ou melhor que o de uma placa de grés porcelânico típica.

A composição de fases das lâminas consiste em uma abundante fase vítrea, quartzo residual, feldspatos e uma pequena quantidade de mulita de nova formação (Tabela 3). Pode ser comparada a um grés porcelânico habitual, mesmo que haja baixa quantidade de quartzo e maior quantidade de fase vítrea nas formulações de suporte pré-moidas.

As principais formulações de tipo funcional das grandes lâminas cumprem os requisitos normativos das placas do grupo BIa (Tabela 4). Em particular, a resistência ao choque térmico, a expansão por umidade, a resistência ao gelo, a resistência química e a resistência às manchas, todas estão muito acima dos limiares estipulados por norma,

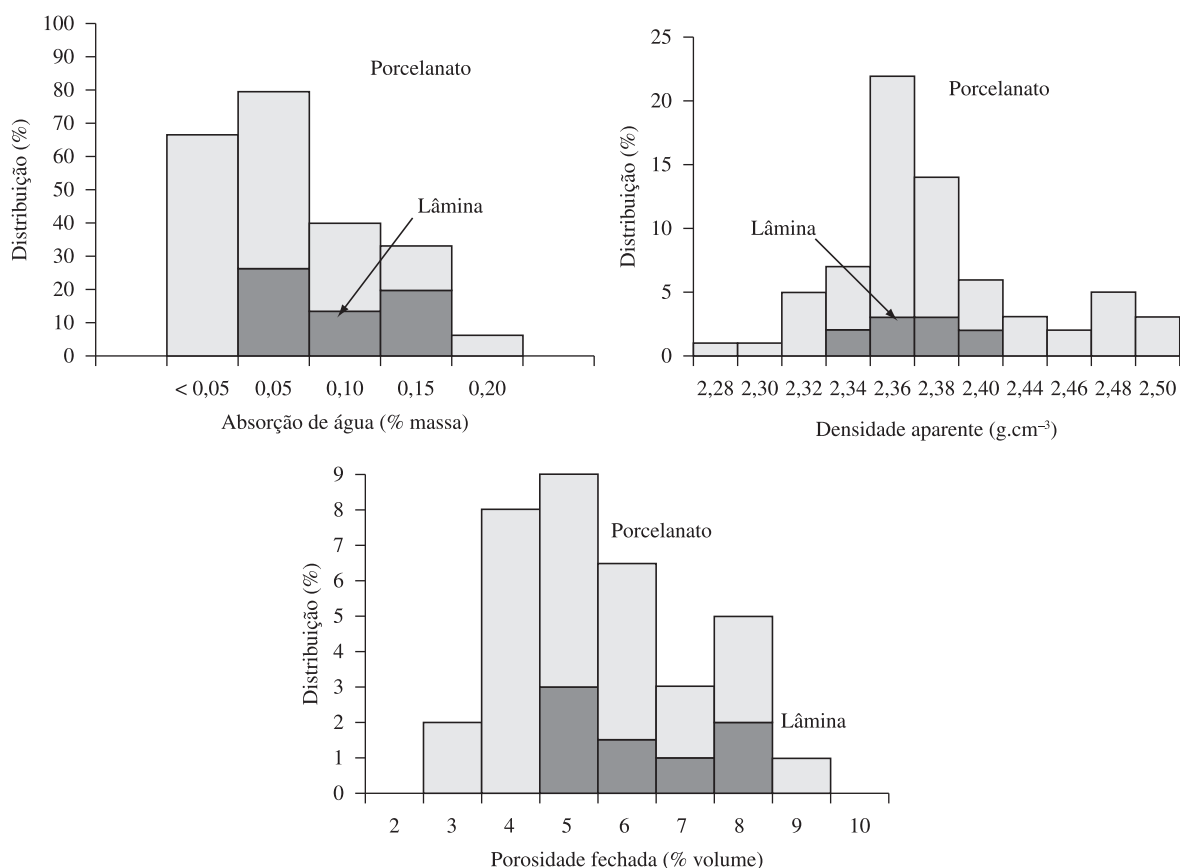


Figura 5. Principais propriedades tecnológicas das lâminas em comparação com placas de grés porcelânico convencionais.

Tabela 2. Propriedades mecânicas das lâminas em comparação com placas típicas de grés porcelânico.

Amostra	Módulo de ruptura (MPa)	Tenacidade à fratura ($\text{MPa m}^{1/2}$)	Módulo de Young (GPa)	Tamanho de defeito crítico (μm)
Lâmina	65 - 70	1,2 - 1,3	67 - 68	225 - 235
Grés porcelânico típico	35 - 85	1,0 - 1,7	50 - 80	100 - 800

Tabela 3. Composição de fases das lâminas em comparação com grés porcelânico típico.

Composição de fases (% massa)	Quartzo	Mulita	Plagioclásio	Fase vítrea
Lâminas	11 - 17	7 - 9	2 - 10	65 - 80
Grés porcelânico típico	15 - 25	5 - 15	0 - 5	55 - 70

Tabela 4. Comportamento tecnológico das lâminas.

Comportamento	Valores normalizados para grés porcelânico	Valores de mercado para grés porcelânico	Lâminas
Resistência à abrasão profunda	Volume eliminado < 175 mm ³	Volume eliminado < 150 m ³	Volume retirado 167 m ³
Dilatação térmica linear	Sem limite	= 7,0 10 ⁻⁶ °C ⁻¹	= 5,5 10 ⁻⁶ °C ⁻¹
Resistência ao choque térmico	Sem limite	Sem alteração	Sem alteração
Expansão por umidade	Sem limite	< 0,5 mm/m	= 0,03 mm/m
Resistência ao gelo	Requerida	Sem defeitos visíveis	Sem defeitos visíveis
Resistência química	Classe mínima GB-UB	Classe mínima GB-UB	Classe GA-GLA
Resistência a manchas	Classe mínima 3	Classe 3 - 5	Classe 5

estando dentro do campo de qualidade máxima de placas cerâmicas. Os valores de resistência à abrasão profunda e de dilatação térmica linear são completamente satisfatórios, embora não estejam muito distantes dos requisitos normativos.

4. Conclusões

As lâminas grandes fabricadas pelo processo inovador “Lamina” são únicas por suas dimensões, espessura e flexibilidade, além de um excelente comportamento técnico que as faz adequadas para uma ampla gama de usos finais. As lâminas representam uma nova tipologia de produto cerâmico com aplicações inovadoras, caracterizando-se por uma versatilidade incomparável entre os materiais cerâmicos para construção e por apresentar características extraordinárias para materiais cerâmicos: são flexíveis, leves e apresentam decoração estética.

Referências

1. MANFREDINI, T.; PELLACANI, G. C.; ROMAGNOLI, M. Porcelainized stoneware tiles. *American Ceramic Society Bulletin*, v. 74, p. 76-79, 1995.
2. TENORIO CAVALCANTE, P. M.; DONDI, M.; ERCOLANI, G. et al. The influence of microstructure on the performance of white porcelain stoneware. *Cerâmica Internacional*, v. 30, p. 953-963, 2004.
3. DONDI, M.; ERCOLANI, G.; GUARINI, G. et al. Resistance to deep abrasion of porcelain stoneware tiles: key factors. *Cerâmica Industrial*, v. 25, p. 71-78, 2005.
4. DONDI, M.; GUARINI, G.; RAIMONDO, M. et al. The role of surface microstructure on the resistance to stains of porcelain stoneware tiles. *Journal of the European Ceramic Society*, v. 25, p. 357-365, 2005.
5. DONDI, M.; ERCOLANI, G.; MARSIGLI, M. et al. The chemical composition of porcelain stoneware tiles and its influence on microstructure and mechanical properties. *InterCeram*, v. 48, p. 75-83, 1999.
6. ZANELLI, C.; DONDI, M.; GUARINI, G. et al. Influence of strengthening components on industrial mixture of porcelain stoneware tiles. *Key Engineering Materials*, v. 264-268, p. 1491-1494, 2004.
7. TENORIO CAVALCANTE, P. M.; DONDI, M.; ERCOLANI, G. et al. The influence of microstructure on the performance of white porcelain stoneware. *Cerâmica Internacional*, v. 30, p. 953-963, 2004.
8. DONDI, M.; GUARINI, G.; RAIMONDO, M. et al. The role of surface microstructure on the resistance to stains of porcelain stoneware tiles. *Journal of the European Ceramic Society*, v. 25, p. 357-365, 2005.
9. TUCCI, A.; ESPOSITO, L.; MALMUSI, L. et al. New body mixes for porcelain stoneware tiles with improved mechanical characteristics. *Journal of the European Ceramic Society*, v. 27, p. 1875-1881, 2007.
10. LEONELLI C., BONDIOLI F., VERONESI P. et al. Enhancing the mechanical properties of porcelain stoneware tiles: a microstructural approach. *Journal of the European Ceramic Society*, v. 21, p. 785-793, 2001.
11. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. **ISO 13006**. Ceramic tiles - Definitions, classifications, characteristics and marking. International Organization for Standardization, 1998.