

Estudo da influência da dilatação térmica do engobe no corte do porcelanato esmaltado polido 90×90 cm

Maria Laura Mezzari Mariot^a, Laura Savi Rosso^{a*} , Natalia da Coreggio Redivo^a,
Aline Bartosiak Rodrigues Peruchi^a , Hilária Mendes de Souza^a , Aline Demarch^a , Angela Waterkemper^a

^aMohawk Brasil, Rua Maximiliano Gaidzinski 245, Cocal do Sul, Santa Catarina, Brasil

*e-mail: laurasavirosso@hotmail.com

Resumo:

Os revestimentos cerâmicos são amplamente utilizados na construção civil, sendo escolhidos por suas propriedades estéticas, funcionais e de durabilidade. Dentre os materiais cerâmicos, os porcelanatos se destacam pela facilidade de manutenção e alta resistência. Durante a instalação, muitas vezes é necessário cortar as placas para adequá-las ao espaço, sendo crucial que as cerâmicas permitam um corte preciso e de fácil execução com o uso das ferramentas adequadas. No entanto, relatos de clientes sobre dificuldades para realizar cortes retilíneos no porcelanato esmaltado polido 90×90 cm indicaram a necessidade de investigar as causas desse problema, que podem estar relacionadas às propriedades térmicas e ao coeficiente de dilatação do engobe, camada intermediária entre a massa e o esmalte que constitui o revestimento cerâmico. Diante disso, este estudo teve como objetivo compreender como as propriedades térmicas do engobe, especialmente seu coeficiente de dilatação, influenciam a qualidade do corte e a resistência das placas a tensões térmicas durante o processo de queima e resfriamento. Para tanto, foram realizados experimentos variando parâmetros como a espessura do engobe, a remoção do polimento, ajustes no ciclo de queima, modificações na temperatura máxima de resfriamento e alterações na formulação do engobe, com o intuito de avaliar as propriedades físico-químicas do material e sua resistência a tensões térmicas. Os resultados mostram que a alteração na formulação do engobe, passando de 12 para 25% de quartzo, aumentou seu coeficiente de dilatação térmica de 54,9 para $59,9 \times 10^{-7}/K^{-1}$, resultando em uma melhoria significativa no desempenho do corte e na integridade estrutural das placas, sem comprometer a resistência mecânica. O teste de gretagem, realizado após cinco ciclos, não apresentou defeitos, evidenciando a eficácia das modificações propostas. Com isso, este estudo ofereceu uma visão aprofundada sobre o impacto das propriedades térmicas do engobe na qualidade do corte e na resistência das placas cerâmicas.

Palavras-chave: Revestimentos cerâmicos, engobe, dilatação térmica, corte de porcelanatos e tensões térmicas.

1. INTRODUÇÃO:

Os revestimentos cerâmicos são amplamente utilizados na construção civil devido às suas propriedades estéticas e funcionais [1][2], sendo os porcelanatos a escolha preferida em designs contemporâneos de interiores e exteriores, graças à sua excelente funcionalidade e facilidade de manutenção [3]. Esse material pode ser esmaltado para obter uma camada extra vítrea, permitindo a criação de uma ampla gama de cores e tons, com melhor desempenho decorativo, estético e de durabilidade [4]. Como resultado, a demanda por porcelanatos tem crescido significativamente. Em 2021, a produção global atingiu 18,3 milhões de metros quadrados, marcando um aumento expressivo de 7,2% em relação ao ano anterior [3].

Para alcançar o resultado final desejado pelos clientes, os revestimentos cerâmicos são compostos por camadas distintas, como massa, engobe e esmalte, conforme ilustrado na Fig.1. Além das camadas possíveis de observar na Fig.1, no caso dos porcelanatos esmaltados polidos, há ainda uma camada adicional de esmalte transparente que recebe o polimento [7].

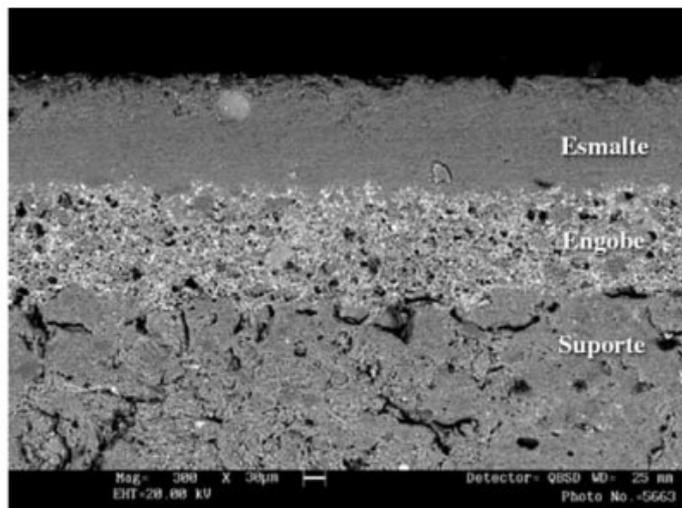


Figura 1. Camadas do revestimento cerâmico [7]

Dentre estas camadas possíveis de observar na Fig.1, o engobe desempenha um papel fundamental. De acordo com Pracidelli (2008), os engobes são compostos por uma mistura de argilas, caulins, materiais não plásticos, como quartzo, feldspatos, sienitas, fritas fundentes e, ocasionalmente, corantes cerâmicos [5]. Sua função principal é criar uma camada opaca sobre o substrato cerâmico, corrigindo defeitos superficiais, alterando a cor da superfície e aprimorando tanto as características estéticas quanto mecânicas do material. Além disso, o engobe contribui para a redução de degaseificações durante o processo de queima [5][6].

A interação entre as camadas, especialmente entre a massa e o engobe, é crucial, uma vez que as diferenças nas propriedades térmicas e mecânicas podem gerar tensões e deformações durante o ciclo térmico, com o objetivo de aliviar essas tensões [8]. Essas variações afetam diretamente a qualidade final do produto, podendo ocasionar defeitos como empenamentos e trincas [9].

Nesse contexto, a dilatação térmica dos materiais é um fator crucial para o desempenho dos revestimentos cerâmicos, visto que, quando expostos a variações de temperatura, os componentes do revestimento apresentam comportamentos distintos [8]. Para ilustrar, a Fig.2 mostra uma curva dilatométrica para o engobe. A partir dessa curva, é possível observar que os engobes não possuem temperaturas de transição definidas, ao contrário dos esmaltes. Assim, para determinar a dilatação do engobe, é necessário comparar as dilatações entre o suporte e o engobe.

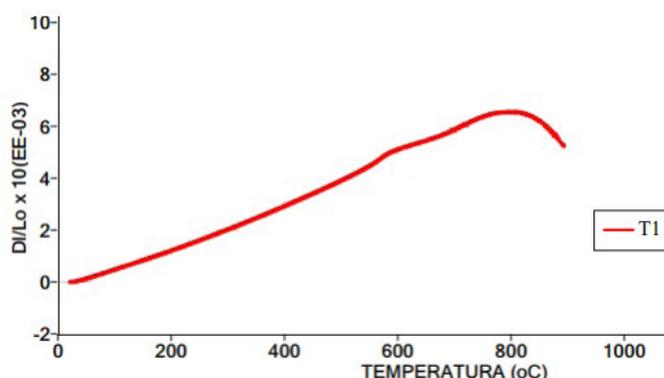


Figura 2. Curva dilatométrica para o engobe [11]

As tensões térmicas geradas durante o resfriamento também desempenham um papel determinante na resistência mecânica dos revestimentos cerâmicos [9]. A formação de trincas devido a gradientes térmicos, associada a propriedades como resistência à fratura, condutividade térmica e coeficiente de expansão térmica, pode comprometer a integridade do produto final [9]. Sendo assim, o entendimento das interações entre engobe e massa é essencial para otimizar o processo de fabricação e garantir a qualidade dos revestimentos cerâmicos [10].

Desta forma, este trabalho tem como objetivo estudar a influência da dilatação térmica do engobe na continuidade do corte em porcelanatos esmaltados polidos de 90×90 cm. Busca-se também compreender a relação entre o comportamento térmico do engobe e as tensões geradas durante o resfriamento, verificando como o estado de compressão ou tração do esmalte afeta a propagação de trincas e defeitos. Por meio desta investigação, pretende-se oferecer subsídios para aprimorar o desempenho técnico das placas cerâmicas, garantindo cortes mais precisos e maior qualidade no produto.

2. MATERIAIS E MÉTODOS:

A Fig.3 mostra as etapas para desenvolvimento do trabalho proposto.

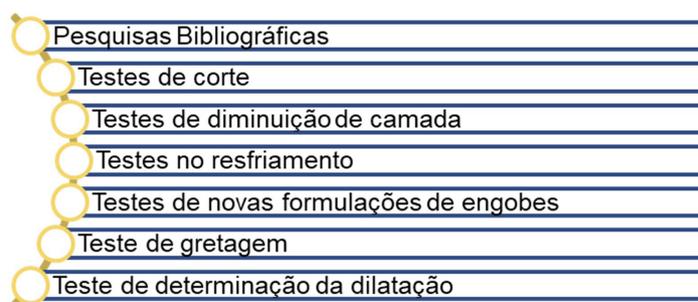


Figura 3. Etapas para o desenvolvimento do trabalho proposto

A primeira etapa para a construção do trabalho constituiu em realizar uma pesquisa bibliográfica sobre o coeficiente de dilatação linear e as tensões entre o suporte cerâmico e o engobe. Em seguida, foram identificadas as possíveis causas do problema para a realização dos testes. Na sequência, seis testes foram realizados, considerando variáveis como alteração da espessura da camada, remoção do polimento, ajuste do ciclo de queima, modificação da temperatura máxima de queima e alteração da formulação. Esses testes visaram avaliar as propriedades físico-químicas dos engobes, assim como sua resistência a tensões térmicas. Os detalhes de cada teste são apresentados a seguir:

Prova A: redução da camada de engobe em 42%.

Prova B: redução na camada de cobertura de 72 g.

Prova C: remoção do polimento das placas, para avaliar sua influência na continuidade do corte.

Prova D: ajuste no ciclo de forno, reduzindo o tempo total de 66 minutos para 46 minutos.

Prova E: alterações na temperatura máxima de resfriamento, com ajustes iniciais para 1196 °C e ciclo de 66 minutos.

Prova F: modificações na formulação do engobe, aumentando seu coeficiente de dilatação, para avaliar o impacto dessas alterações na qualidade do corte.

Após as alterações, foram realizados ensaios de corte utilizando um equipamento da marca Fermat. Em virtude das modificações nas formulações do engobe realizadas na Prova F, tornou-se necessário realizar o teste de gretagem, conforme a norma ABNT NBR 10545-11 [12] e a determinação da dilatação térmica do engobe. O ensaio de gretagem teve como objetivo avaliar a conformidade do produto com os requisitos técnicos estabelecidos pela norma, garantindo que as alterações na dilatação não comprometem a integridade estrutural das placas.

Para o ensaio de dilatação térmica, as amostras foram preparadas a partir da pesagem de 200 g da formulação seca, que posteriormente passou por secagem em estufa laboratorial e desagregação em moinho de porcelana. Após a moagem, foi adicionado 7% de água à amostra para permitir a conformação da peça em uma prensa laboratorial, submetida a uma pressão específica de compactação de 200 kgf/cm² e pressão de desaeração de 100 kgf/cm².

Após a compactação, a amostra foi novamente seca em estufa e, em seguida, submetida ao processo de queima em um forno de laboratório. Para a realização do ensaio de dilatação térmica, a amostra queimada foi cortada no formato de um prisma com 5×5×20 mm, e foi ensaiado em um dilatômetro (Netzsch DIL 402) de 25 a 325 °C com taxa de aquecimento de 10 °C/min.

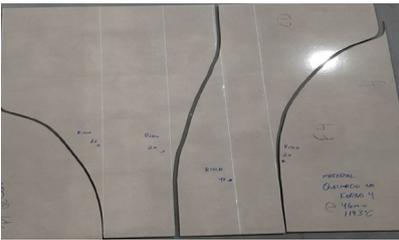
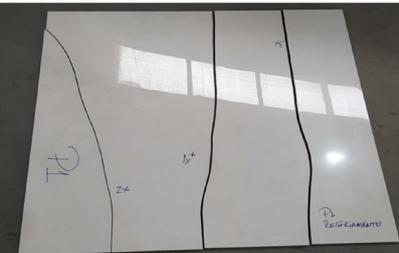
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Os resultados dos testes realizados estão consolidados e apresentados na Tab.1. Na primeira coluna é indicada a prova, conforme detalhado nos procedimentos experimentais. A segunda coluna exibe, por meio de imagens, o resultado obtido após a tentativa de corte das amostras, enquanto a terceira coluna fornece a explicação correspondente a cada resultado. Esses dados refletem os principais parâmetros avaliados e permitem uma análise crítica do desempenho do material em relação aos critérios técnicos estabelecidos.

Tabela 1. Resultados obtidos das provas

Prova	Placas aplicadas	Resultado
Prova A		A redução da espessura da camada de engobe otimizou o processo de corte do produto. Porém resultou em uma leve curvatura negativa na placa, impactando as características dimensionais do material e consequentemente o corte.
Prova B		A redução da espessura da camada de cobertura proporcionou que o corte seguisse precisamente o risco, porém nem sempre é possível realizar esta alteração.
Prova C		Ao comparar os resultados dos cortes nas peças sem polimento e polidas, observa-se que a peça sem polimento apresenta melhores resultados de corte. Isso ocorre porque o aumento da tensão aplicada durante o risco facilita o processo de corte.
		

Tabela 1. Continuação ...

Prova	Placas aplicadas	Resultado
Prova D		Os testes realizados com redução no ciclo de forno de 66 min para 46 min demonstraram que o corte não seguiu o traçado desejado, apresentando ainda lascamento do esmalte em alguns pontos.
Prova E		O teste de alterações na temperatura máxima de resfriamento mostrou que, por mais que a temperatura tenha sido reduzida, o corte continuou desviando do risco, indicando que esse ajuste térmico não foi o suficiente.
Prova F		Por fim, o teste de modificações na formulação do engobe a fim de aumentar o seu coeficiente de dilatação, resultou em uma melhora no corte, atendendo os requisitos.

Como a prova F foi a que apresentou melhores resultados quanto ao corte, mais detalhes sobre ela serão expostos. Na Tab.2, apresenta-se a formulação do engobe antes e depois do aumento da dilatação.

Tabela 2. Fórmulas do engobe antes e depois do aumento da dilatação

Matéria-prima	Antes	Depois
Matéria-prima A	22	20
Matéria-prima B	16,5	17
Matéria-prima C	15,77	14,72
Quartzo	12	25
Matéria-prima D	9,5	6,5
Matéria-prima E	8	6
Matéria-prima F	7	7
Matéria-prima G	5	-
Matéria-prima H	2	1,5
Matéria-prima I	1,5	1,5
Aditivo A	0,35	0,35
Aditivo B	0,2	0,2
Aditivo C	0,1	0,1
Aditivo D	0,08	0,08

Conforme observa-se na Tab.2, houve um aumento significativo na quantidade de quartzo (SiO_2) na fórmula, sendo que a sílica (SiO_2) no estado vítreo diminui o coeficiente de dilatação (α), enquanto a sílica cristalina aumenta [5]. Por tanto, o quartzo, por possuir um alto percentual de SiO_2 em sua composição química, torna-se um material altamente refratário, pouco solúvel na fase vítrea e utilizado como um regulador ou modificador do coeficiente de dilatação do vidrado [13].

Como citado anteriormente, a formação e propagação de trincas a partir de defeitos na superfície do corpo são mais prováveis quando há a imposição de tensões de tração. Portanto, tornou-se necessário aumentar a dilatação do engobe, de modo a induzir uma compressão na camada de esmalte. Sendo assim, na Tab.3, observa-se que a dilatação aumentou de 54,9 para $59,9 \times 10^{-7}/K^{-1}$, sendo assim, o engobe contribuiu para o aumento da tensão de compressão do esmalte e da superfície do mesmo.

Tabela 3. Coeficientes de dilatação do porcelanato polido

	Insumo	$\alpha (25 - 325 \text{ } ^\circ\text{C}) / \times 10^{-7} / K^{-1}$	Ponto de amolecimento/ $^\circ\text{C}$
Massa	Porcelanato	60,5	-
Engobe	Engobe STD Antes	54,9	1061
	Engobe > α Depois	59,9	1014
Esmalte	Esmalte padrão	56,9	1091
Cobertura	Cobertura padrão	48,4	840

Por fim, com a nova formulação de engobe, foi necessário avaliar se o material ainda resistia ao ensaio de gretagem conforme a norma ABNT NBR 10545-11. Foram testadas seis referências diferentes e, após cinco ciclos, as placas não apresentaram nenhum defeito de gretagem.

O desempenho dos revestimentos cerâmicos é fortemente influenciado pela interação das camadas do revestimento, especialmente no que se refere à resistência a tensões térmicas durante o processo de fabricação. Este estudo investigou os efeitos dessas tensões sobre a formação de trincas e a qualidade do corte de porcelanatos, com o objetivo de otimizar o processo e melhorar o desempenho do produto final.

Os testes realizados demonstraram que os porcelanatos esmaltados polidos de 90×90 cm, quando expostos a tensões térmicas, apresentam maior propensão à formação e propagação de trincas devido a defeitos na superfície do corpo cerâmico. Essas tensões, resultantes da interação entre as camadas do revestimento, afetam diretamente a qualidade do corte, tornando-o irregular e comprometendo o desempenho do produto final.

4. CONCLUSÃO:

Portanto, ao realizar ajustes no processo de resfriamento e modificar a formulação do engobe, foi possível observar uma melhora significativa no desempenho do corte. O aumento do coeficiente de dilatação do engobe promoveu a compressão da superfície do esmalte, favorecendo um corte mais preciso e retilíneo. Especificamente, a formulação do engobe foi alterada para conter uma maior quantidade de quartzo, passando de 12 para 25%, um incremento de 108%. Esse aumento no conteúdo de quartzo impactou positivamente a dilatação térmica do engobe, tornando-o mais eficiente para otimizar o desempenho do corte, atendendo aos requisitos de qualidade e funcionalidade exigidos pela indústria da construção civil.

AGRADECIMENTOS:

Os autores agradecem ao Colégio Maximiliano Gaidzinski e ao Departamento de Tecnologia (DETEC) da empresa Mohawk Brasil, bem como aos seus colaboradores, pela disponibilização dos equipamentos, colaboração e orientação.

REFERÊNCIAS:

- [1] Sánchez E, Sanz V, Bordes M C, Sales J, Kayaci K, Taskiran M U, Anil Ü E, Türkc S, Tarhan M, 2018. Deformação de queima em grés porcelanato de grande formato: efeito das variáveis de composição e de processo. *Cerâmica Industrial* 23, 2, 7-16.
- [2] Cordioli J E T, 2023. Estudo da adição de nanopartículas de alumina e de sílica em uma formulação de vidrado para porcelanato esmaltado polido. Florianópolis: Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina.
- [3] Varghese L, Cedillo-González E I, Cattini A, Vacchi M, Siligardi C, 2024. Frit-free solar reflective porcelain stoneware ceramic tiles using recycled granite waste: an investigation on its engobe and glaze formulations. *Energy and Buildings* 311, 114129. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114129>

- [4] Nieves L J J, Nastri S, Lot A V, Melchiades F G, Marsola G A, Flauzino I S, Innocentini M D M, Boschi A O, 2022. Influence of engobe and glaze layers on the evolution of porosity and permeability of single-fired porcelain tiles. *Applied Clay Science* 228, 106635. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2022.106635>
- [5] Pracidelli S, 2008. Estudo dos esmaltes cerâmicos e engobes. *Cerâmica Industrial* 1/2, 12, 8-20.
- [6] Dal Bó M, Bernardin A M, Hotza D, 2014. Formulation of ceramic engobes with recycled glass using mixture design. *Journal of Cleaner Production* 69, 243-249. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.088>
- [7] Dal Bó M, Melchiades F G, Boschi A O, Hotza D, 2012. Efeito das propriedades dos esmaltes e engobes sobre a curvatura de revestimentos cerâmicos. *Cerâmica* 58, 345, 118-125. <http://dx.doi.org/10.1590/s0366-69132012000100019>
- [8] Melchiades F G, Barbosa A R D, Boschi A O, 2000. Relação entre a curvatura de revestimentos cerâmicos e as características da camada de engobe. *Cerâmica Industrial* 2, 5, 29-33.
- [9] Callister Junior W D, 2000. *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. 5ª ed. LTC editora.
- [10] Gennari R C, Dal Bó M, Melchiades F G, Boschi A O, 2011. A influência das características do engobe na curvatura central das placas cerâmicas. Parte I: desenvolvimento dos engobes. *Cerâmica Industrial* 6, 15, 12-14.
- [11] Nascimento R S R, 2018. *Desenvolvimento de engobe impermeável para ciclo de queima rápida*. João Pessoa: Curso de Engenharia Química, Universidade Federal da Paraíba.
- [12] ABNT NBR 10545-11, 2017. *Placas cerâmicas. Parte 11: determinação da resistência ao gretamento de placas esmaltadas*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [13] Sanches E, 1997. Matérias-primas para a fabricação de fritas e esmaltes cerâmicos. *Cerâmica Industrial* 3/4, 2, 32-40.