

Estudo da Influência da Absorção de Água na Curvatura Retardada de Porcelanatos de Grandes Dimensões

Vital Dal Molin Plotegher^{a*}, Karina Donadel Carvalho^a, Reginaldo Tassi^b, Patrícia Pereira Pacheco^c,
Wilson Menegon Bristot^c, Leopoldo Pedro Guimarães Filho^c

^a Centro Universitário Barriga Verde – UNIBAVE, Cocal do Sul, SC, Brasil

^b Instituto Maximiliano Gaidzinski, Colégio Maximiliano Gaidzinski, Cocal do Sul, SC, Brasil

^c Núcleo de Estudos em Engenharia de Produção – NEEP, Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, SC, Brasil

*e-mail: engenhariaceramica@unibave.net

Resumo

O Brasil está entre os maiores produtores de revestimentos cerâmicos no mundo. Seus produtos se destacam pela qualidade e inovação, sobretudo na linha de porcelanatos esmaltados. Porém, é importante promover melhorias no produto para competir com o mercado mundial, e para isso é necessário investir em novas tecnologias de fabricação de produtos de qualidade e de grandes dimensões. Os porcelanatos, tanto os esmaltados como os não esmaltados, apresentam um fenômeno conhecido como “curvatura retardada”, que consiste na mudança de curvatura das placas após a saída do forno, quanto maior a placa, mais dificuldade em se controlar a curvatura. Diante deste cenário, o presente trabalho teve como objetivo estudar a absorção de água e a influência desta variável na curvatura retardada de porcelanatos de grandes dimensões. A metodologia utilizada foi a medição das curvaturas das placas de porcelanato esmaltado em diferentes absorções de água durante 4 dias. Os resultados mostraram que houve variação de curvatura retardada nas placas cerâmicas mesmo em variações pequenas de absorção de água. Os valores encontrados atenderam as normas ISO 13006 e NBR 15463. A faixa de absorção de água ideal para que a curvatura final fique dentro dos padrões é de 0,10 a 0,15%. O método apresentou resultados práticos para o estudo das variações de curvatura retardadas de placas cerâmicas de grandes dimensões em relação a absorção de água em diferentes tempos, onde para valores de absorção abaixo de 0,05% as placas ficaram côncavas e para os resultados de absorção acima de 0,07% as placas ficaram convexas.

Palavras-chave: absorção de água, curvatura retardada, porcelanato de grandes dimensões.

1. Introdução

A produção de revestimentos cerâmicos de alta qualidade fica concentrada em regiões específicas. No Brasil situa-se na região de Criciúma, Santa Catarina. Essa região é reconhecida internacionalmente por concentrar as maiores empresas de revestimento cerâmicos do país, onde os fabricantes produzem com tecnologia via úmida e competem por marca design e produtos com valores agregados mais altos⁵.

Uma forte tendência de mercado são pisos com medidas a partir de 80 cm × 80 cm que são sinônimos de requinte, reduzem os espaços entre as peças diminuindo o rejunte, dando continuidade visual aos ambientes e impressão de amplitude dos ambientes¹⁰.

Porém, as empresas devem investir fortemente em equipamentos e controles cada vez mais rigorosos em seus processos produtivos, pois existe dificuldade considerável para produzir produtos para atender estes formatos e todas as exigências do mercado, principalmente no aspecto de curvatura⁵.

Devido à dificuldade de se produzir porcelanatos de grandes dimensões, muitos fabricantes de revestimentos cerâmicos vêm investindo fortemente em tecnologias

e principalmente em controles mais eficazes em seus processos de fabricação. Um dos principais problemas é a variação de curvatura. Este trabalho teve como objetivo principal avaliar a influência da absorção de água no comportamento da curvatura retardada dos porcelanatos de grandes dimensões. Para atingir o objetivo principal os seguintes objetivos específicos foram propostos: realizar o ensaio de absorção de água e as medidas de curvatura retardada; estudar as variações de curvatura comparadas com absorção de água após 4 dias; e avaliar os resultados e propor range de absorção de água que possa ser utilizado no processo sem que tenha perda de qualidade por curvatura.

2. Porcelanato

O porcelanato é classificado como um material cerâmico por conter em suas formulações argila, caulim, feldspato, quartzo entre outras matérias-primas. Sua queima ocorre em torno de 950 °C a 1400 °C⁸.

Existem dois tipos de porcelanato: o técnico e o esmaltado. O porcelanato técnico é composto pela massa que é prensada e queimada até se tornar uma placa cerâmica, e

sua absorção é igual ou menor que 0,1%. Já o porcelanato esmaltado como o próprio nome diz recebe uma camada de esmalte após a placa cerâmica ser prensada e seca, que pode ter diferentes características e sua absorção de água de deve ser igual ou menor que 0,5%¹².

Com a substituição dos antigos fornos a túnel por modernos fornos a rolo e a utilização de prensas cada vez mais potentes (prensas hidráulicas), placas dos mais variados tipos e tamanhos puderam ser fabricadas e, desde então, o porcelanato se apresenta como um produto altamente competitivo e versátil, podendo atingir vários setores e diferentes aplicações².

2.1. Processo de fabricação do porcelanato

O processo de fabricação do porcelanato esmaltado é mostrado no Fluxograma 1. Se inicia na seleção das matérias-primas seguido da preparação de massa onde são adicionadas ao moinho. Na moagem é importante o controle do tamanho das partículas para garantir uma boa compactação e as características do produto pós-queima.

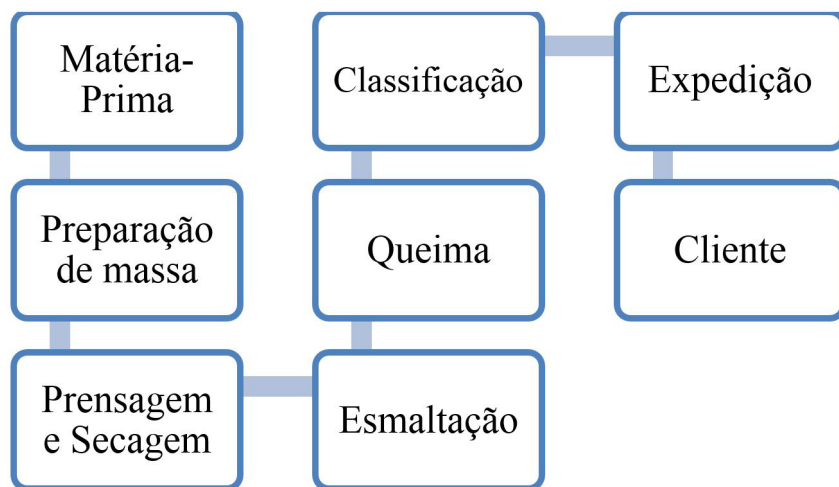
Após, a conformação da placa é realizada a secagem para a retirada da umidade e, por consequência, a mesma ganha resistência mecânica para percorrer pela linha de esmaltação. Por fim, ocorre a queima das placas em um forno a rolos contínuo e tem-se como resultado final as placas de porcelanato⁶.

2.2. Deformação pirolástica

A descaracterização da forma da placa cerâmica durante a queima é denominada deformação pirolástica. Esta deformação surge quando aparecem fases líquidas em excesso durante a queima, ou quando há uma redução da viscosidade¹³.

As massas altamente vitrificadas, como as massas de grés e grés porcelanato são as que sofrem a deformação pirolástica com mais frequência¹³.

O índice de pirolasticidade (IP) é o que determina a magnitude da deformação pirolástica e indica a tendência a deformação de um corpo de prova de dimensões



Fluxograma 1. Processo de fabricação do porcelanato esmaltado. Fonte: Autor.

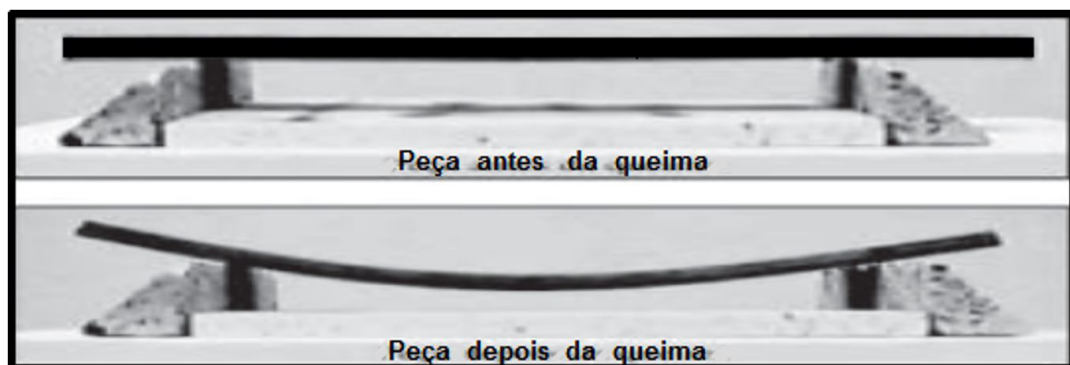


Figura 1. Procedimento utilizado para medir o índice de pirolasticidade de uma massa¹¹.

determinadas submetida à ação da força de gravidade durante a queima sob condições específicas.

A Figura 1 mostra uma placa antes da queima e após a queima, ficando evidente que a placa queimada sofreu deformação pirolástica.

Com absorção de água acima de 2,0% ocorre o aumento lento da deformação pirolástica. Porém, com a diminuição dessa absorção e aumento da vitrificação do produto, onde a absorção de água é inferior a 2,0% ocorre um aumento drástico da deformação pirolástica, exigindo maior cuidado em sua produção para evitar perdas por curvatura nas peças¹¹.

2.3. Curvatura retardada

As curvaturas das placas podem ser retardadas devido a fatores diretos e indiretos. Para que uma placa queimada modifique a sua curvatura com o tempo, é necessário que exista uma mudança nas dimensões de alguma de suas camadas em relação à outra. Basicamente, existem dois fatores que podem causar as curvaturas retardadas de forma direta: a expansão dos suportes e o relaxamento de tensões residuais. Todos os demais fatores são indiretos, como por exemplo, a absorção da água¹¹.

O tipo de flecha curvatura dos revestimentos cerâmicos pode ser côncava ou convexa (Figura 2). Assim, conforme a Figura 2, se o esmalte retrai mais que o suporte ($\Delta c > 0$), a curvatura será côncava ($D > 0$). Por outro lado, se o suporte retrai mais que o esmalte ($\Delta c < 0$), a curvatura será convexa ($D < 0$)⁷.

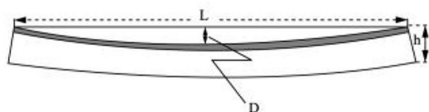
O fenômeno de curvatura retardada em placas cerâmicas ocorre após a saída do forno e é independente da porosidade das placas, podendo levar vários dias para que a curvatura estabilize⁴.

As empresas cerâmicas estão cada vez mais produzindo placas com grandes dimensões e isto pode ser um problema, pois a presença de curvaturas retardadas só aparece durante a etapa de classificação ou até depois. Esse comportamento ocorre pela existência de diferentes velocidades de expansão que ocorrem entre a parte superior e a base⁴.

2.4. Procedimentos metodológicos

Este trabalho foi feito em escala industrial em uma empresa de Revestimentos Cerâmicos da região. Foram utilizados porcelanatos de formato 90 cm x 90 cm

a) Côncava ($D > 0$)



b) Convexa ($D < 0$)

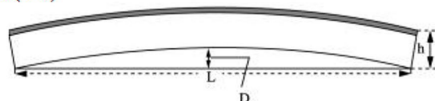


Figura 2. Flecha de curvatura em revestimentos cerâmicos⁷.

com 12 mm de espessura fornecidos pela empresa em estudo, e para os testes, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Mesa de corte com vídea;
- Balança com 0,1g de precisão (modelo AC 10K);
- Tanque com água fria;
- Tanque com água quente;
- Panos;
- Régua com relógio comparador com 0,1 mm de precisão;
- Pincel atômico.

Para o ensaio de absorção de água foi necessário cortar as placas de porcelanato esmaltado 90 cm x 90 cm.

Esse procedimento foi realizado após o processo de queima do porcelanato, onde foi retirada uma placa de porcelanato do forno e deixada resfriar por 30 minutos. Em seguida essa placa foi cortada, com o auxílio de uma vídea (Figura 3), em 4 partes de 45 cm x 45 cm e retirada as duas partes em diagonal para a realização do ensaio de absorção água. Para o ensaio da curvatura foram utilizadas as placas com tamanho original 90cm x 90cm.

3. Ensaio e Técnicas de Caracterização

3.1. Absorção de água

Essa absorção pode ser determinada medindo-se a diferença entre a massa seca e a massa úmida do corpo de prova³. Para a realização deste ensaio, pesa-se a placa, e em seguida coloca-se em imersão em um tanque de água em ebulição por duas horas. Ao passar as duas horas, retira-se a peça e coloca-se a mesma sob imersão em um tanque de água fria por duas horas. Após o banho, a



Figura 3. Equipamento para corte das peças. Fonte: Autor.

peça é retirada e seca com pano umedecido, retirando o excesso de água (Equação 1).

$$AA(\%) = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100 \quad (1)$$

Onde: AA = absorção de água (%); m_u = massa úmida (g); m_s = massa seca (g).

3.2. Determinação da curvatura

As placas para a medição da curvatura retardada foram retiradas do forno no mesmo instante que foram retiradas as placas para o ensaio de absorção de água.

A curvatura das placas (90 cm × 90 cm) foi feita com placas ainda quentes utilizando uma régua com relógio comparador (0,1 mm precisão) (Figura 4). Após a retirada do forno foi medida a curvatura dos 4 lados da placa. Os valores foram anotados e a placa foi colocada em um tanque com água fria por 24 horas. Após a retirada foi feita medição da curvatura. Em seguida a placa foi colocada novamente no tanque onde permaneceu por mais 24 horas, onde foi feita outra medição, a curvatura

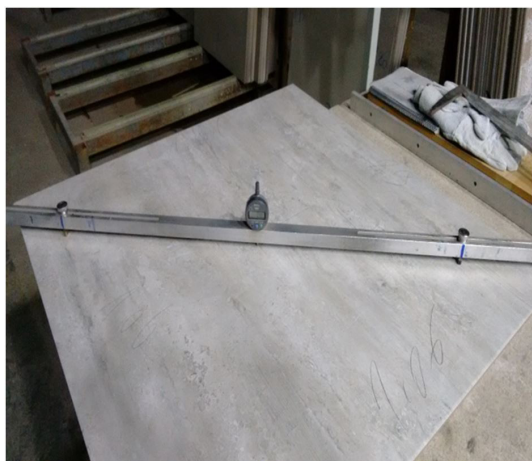


Figura 4. Régua com relógio comparador. Fonte: Autor.

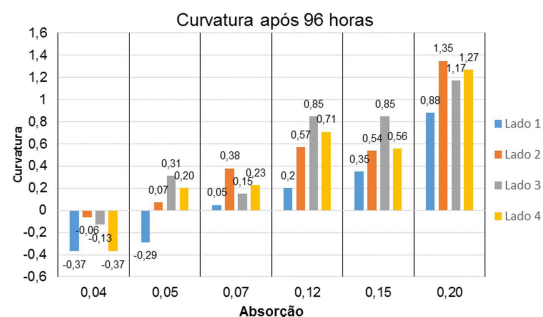


Figura 5. Curvatura das placas de porcelanato em relação a absorção de água (96h). Fonte: Autor.

da placa após 48 horas submersa em água fria. Após esse procedimento, a placa foi colocada em uma prateleira e foi feita uma nova medição após 24 horas, ou seja, 72 horas após a primeira medição, sendo esta fora da água. E por fim, foi realizada uma medição após 48 horas com a placa fora da água totalizando 96 horas após a saída do forno. Neste ponto a placa estabilizou sua curvatura.

4. Resultados e Discussão

A Tabela 1 mostra os valores da curvatura medidos em diferentes absorções de água e diferentes tempos para as placas de porcelanato esmaltado. Pode-se verificar uma variação significativa na absorção de água das placas que ficaram na faixa de 0,04 a 0,20%.

Para minimizar estes efeitos de forma rápida e corrigir a curvatura das placas na saída do forno, foi realizado um acompanhamento do processo com ensaios de absorção de água durante 4 dias. Na Tabela 1 são apresentadas as variações de absorção de água e a relação da curvatura nos tempos estudados. Verifica-se que todas as placas foram retiradas do forno com a curvatura convexa entre 0,80mm a 1,30mm e após o tempo de 24 horas a maioria das placas apresentaram curvaturas côncavas (negativas), exceto uma placa na absorção de água 0,12%, que apresentou valor positivo de 0,09mm. Após o tempo de 48 horas a maioria das placas com absorções mais baixas (0,04% a 0,07%) continuaram côncavas enquanto as placas com absorção de água mais elevada mudaram sua curvatura para convexas (0,12% a 0,20%). Observando o tempo de 72 horas a placa com menor absorção de água 0,04% permaneceu com os 4 lados na posição côncava enquanto as placas com absorções de água maiores ficaram cada vez mais convexas. Após 96 horas as placas com absorção 0,04% ainda permaneceram com os 4 lados côncavos. A placa com absorção 0,05% ficou com um dos lados côncavo e os demais convexas as placas com absorções de água maiores (0,07% a 0,20%) apresentaram todos os 4 lados convexas.

A Figura 5 mostra a curvatura retardada das placas de porcelanato em relação a absorção de água no tempo final de 96 horas. Pode-se verificar que nas absorções de água mais baixas 0,04% e 0,05% as placas tendem a ficar retas ou com curvaturas côncavas. Nas absorções mais altas 0,15% e 0,20% as placas apresentaram um comportamento inverso ficando convexas.

Porém as normas internas da empresa onde foi realizado o estudo tem como parâmetros internos de curvatura os valores de -0,1 até 1,20, ou seja, valores muito mais exigentes do que estabelecido nas normas ISO 13006⁹, que estabelece como valor de curvatura lateral -2,00mm até 2,00mm e NBR 15463 da ABNT¹, que tem como parâmetro para curvatura lateral os valores de -1,80mm até 1,80mm. Com isso, de acordo com as normas internas da empresa, as placas com absorção de água 0,04% e 0,05% seriam desclassificadas por apresentarem uma curvatura côncava acima de -0,1mm e a placa com absorção de água de 0,20% seria desclassificada por apresentar uma curvatura convexa acima de 1,20mm.

Tabela 1. Curvatura das placas em relação a variação de absorção de água em diferentes tempos.

	<i>Tempo (h)</i>	<i>Curvatura (L1mm)</i>	<i>Curvatura (L2mm)</i>	<i>Curvatura (L3mm)</i>	<i>Curvatura (L4mm)</i>
<i>PLACA 1 ABS 0,04%</i>	Saída forno	0,90	1,22	1,00	0,98
	24	-0,38	-0,00	-0,12	-0,27
	48	-0,15	-0,16	-0,18	-0,39
	72	-0,50	-0,13	-0,36	-0,41
	96	-0,37	-0,06	-0,13	-0,37
<i>PLACA 2 ABS 0,05%</i>	Saída forno	0,80	1,07	1,05	1,15
	24	-0,47	-0,21	-0,27	-0,06
	48	-0,41	-0,10	-0,09	-0,03
	72	-0,37	-0,12	0,01	0,02
	96	-0,29	0,07	0,31	0,20
<i>PLACA 3 ABS 0,07%</i>	Saída forno	1,07	1,30	1,10	1,05
	24	-0,17	-0,09	-0,11	-0,20
	48	-0,10	0,08	-0,08	-0,11
	72	-0,15	0,23	0,03	0,12
	96	0,05	0,38	0,15	0,23
<i>PLACA 4 ABS 0,12%</i>	Saída forno	0,83	1,00	1,26	1,16
	24	-0,65	-0,27	0,09	-0,12
	48	0,03	0,37	0,66	0,50
	72	0,24	0,58	0,86	0,70
	96	0,20	0,57	0,85	0,71
<i>PLACA 5 ABS 0,15%</i>	Saída forno	0,80	1,04	1,22	0,98
	24	-0,57	-0,38	-0,20	-0,21
	48	-0,30	0,30	0,50	0,28
	72	0,20	0,53	0,73	0,53
	96	0,35	0,54	0,85	0,56
<i>PLACA 6 ABS 0,20%</i>	Saída forno	0,96	1,26	1,14	1,1
	24	-0,47	-0,03	-0,15	-0,47
	48	0,49	0,74	0,50	0,60
	72	0,63	1,05	0,85	0,87
	96	0,88	1,35	1,17	1,27

Fonte: Autor.

5. Considerações Finais

A partir das análises de absorção de água e curvatura retardada pode-se perceber que, por menor que seja a variação de absorção de água nas placas cerâmicas, ocorre uma variação na curvatura. Existem muitas variáveis que influenciam na curvatura das placas cerâmicas de grandes dimensões que podem partir desde sua formulação ou interferência de fenômenos que ocorreram durante o processo. A faixa de absorção de água ideal para que a curvatura final fique dentro dos padrões é de 0,10% a 0,15%.

Os valores encontrados atendem as normas ISO 13006⁹ e NBR 15463 da ABNT¹. Porém, para o padrão de curvatura da empresa onde foi realizado o estudo (-0,1mm até 1,20mm) algumas placas utilizadas neste estudo devem ser desclassificadas por estarem com suas curvaturas fora dos padrões exigidos pela empresa.

O método utilizado neste trabalho mostrou ser prático para o estudo deste fenômeno, podendo assim ser replicado em outros trabalhos com objetivo de estudar as variações de curvatura retardadas de placas cerâmicas

de grandes dimensões em relação a absorção de água em diferentes tempos.

Referências

1. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnica. **NBR 15463**: Placas Cerâmicas para revestimento- Porcelanato. São Paulo: 2007.
2. ARANTES, Flávio; GALESI, Douglas; QUINTEIRO, Eduardo. **O manchamento e a porosidade fechada de grês porcelanato**. 2001. 25 f. Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2001.
3. BORGES, D. **Estudo da utilização do resíduo da etapa de beneficiamento do carvão mineral como matéria-prima alternativa na fabricação de blocos de vedação**. Santa Catarina, 2013.
4. CANTAVELLA, et al. Análise e Medida de Fatores que Afetam as Curvaturas Retardadas em Porcelanato. **Rev. Cerâmica Industrial**, vol.13 jan/abr: São Paulo, 2008.
5. CENTRO CERÂMICO DO BRASIL. **Apostila de Revestimento Cerâmico**. Brasil, 2013b.

6. DASILVA, JORGE ELIAS. **Desenvolvimento de composição de massa cerâmica para produção de porcelanato técnico.** Florianópolis, 2010.
7. DALBÓ, M. **A Influência das Características do Engobe na Curvatura Central das Placas Cerâmicas.** 2011. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.
8. DE NONI, J. U. N. I. O. R. Agenor de. **Modelagem matemática aplicada ao controle dimensional de placas cerâmicas de monoqueima processadas por via úmida.** 2005. 92 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
9. ISO 13006 (International Standard)- Ceramic Tiles- Definitions, classification, characteristics and marking, Second Edition, 2012.
10. MACHADO. **Dinâmica dos arranjos produtivos locais: um estudo de caso em Santa Gertrudes, a nova capital da cerâmica brasileira.** São Paulo, 2003.
11. MELCHIADES, et al. Estabilidade das Dimensões e do Formato de Revestimento Cerâmicos. **Rev. Cerâmica Industrial**, vol. 6 nov\dez: São Paulo, 2001.
12. SILVA, Graziela. **Porcelanato técnico é indicado para áreas de alto tráfego.** Disponível em: <http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/porcelanato-tecnico-e-indicado-para-areas-de-alto-trafego_6087_0_1>. Acesso em: 26 set. 2015.
13. SPINELLI, B., BRESCIANI, A. **Deformação Piroplástica em Porcelanato Durante a Queima e Variações de Planaridade Após a Queima.** Itália, 2013.