

TÉCNICAS DE DETERMINAÇÃO DA EXPANSÃO POR UMIDADE (EPU) EM PLACAS CERÂMICAS: RECOMENDAÇÕES À REVISÃO DE NORMA

(TECHNIQUES FOR DETERMINING MOISTURE EXPANSION IN CERAMIC PLATES: RECOMMENDATIONS FOR STANDARD REVIEW)

R.F. Sahade¹; R.M. Peres¹; C.R.C. Lima¹

¹Universidade Presbiteriana Mackenzie

Rua da Consolação, 896. Consolação - São Paulo - SP¹

sahaderenato@gmail.com

Resumo

Através de mais de 4.000 amostras ensaiadas de placas cerâmicas entre os anos de 2013 e 2019, os dados indicam que o descolamento dos revestimentos está relacionado com uma EPU ocorrida superior a 0,04% ou a uma EPU potencial em fervura superior a 0,02%. Os dados demonstraram que, em revestimentos cerâmicos executados com EPU em fervura inferior a esse limite, a resistência de aderência se manteve ao longo dos anos. Adicionalmente, demonstra-se que o ensaio de EPU por autoclave apresenta maior confiabilidade quanto à obtenção de dados para uma expansão acelerada (potencial) em relação ao de fervura. Recomenda-se, assim, a adoção de previsão da expansão por umidade em autoclave em detrimento ao ensaio de fervura ou, ainda, sugere-se a alteração dos valores previstos em norma para menores que 0,02% em fervura, visando a proteger o consumidor e garantir a eficiência do sistema de revestimento.

Palavras chave: expansão por umidade, descolamento, placa cerâmica, fervura, autoclave

Abstract

Through more than 4.000 samples of ceramic tiles evaluated between the years 2013 and 2019, the data indicates that the detachment of coatings is related to real moisture expansion (difference before and after refiring) greater than 0.04% or an moisture expansion accelerated in boiling greater than 0.02 %. The data obtained revealed that, in ceramic coating systems with ceramic plates tested using the boiling method with moisture expansion below this limit, the adhesion strength was maintained over the years. In addition, demonstrate that the moisture expansion by autoclave method presents greater reliability in obtaining data for accelerated expansion in relation to boiling. It is therefore recommended to adopt a prediction of expansion due to humidity in an autoclave instead of the boiling test or, even, it is suggested to change the values foreseen in the standard to less than 0.02% in boiling, starting to protect the consumer and ensure the efficiency of the coating system.

Keywords: moisture expansion, detachment, ceramic tile, boiling water, autoclave

INTRODUÇÃO

Ao contrário dos materiais cimentícios, alguns materiais cerâmicos se expandem com o envelhecimento, como resultado da reação química com a água da atmosfera. Esse fenômeno é conhecido como expansão por umidade (EPU) [1,2]. A expansão é causada por uma lenta reação de reidratação química entre a água e alguns componentes da cerâmica queimada [3,4]. A quantidade de água necessária para sustentar a reação expansiva é extremamente pequena e pode ser fornecida por transporte através do sistema de poros, mesmo em baixas umidades [2].

A EPU é responsável pelo gretamento no esmalte [5,6], pelo descolamento das placas cerâmicas, quando mal aderidas, por danos físicos aos sistemas de revestimento restringidos, quando bem aderidas [5,7,8] e pelo aparecimento de trincas em tijolos e telhas a base de argilas queimadas [2,9,10], trazendo prejuízos financeiros e de imagem para a indústria cerâmica.

Os fatores que contribuem com a expansão por umidade são conhecidos e estão ligados à composição mineralógica das matérias primas que compõem a massa cerâmica [11] e a presença de fases vítreas e amorfas [12,13], estas últimas intimamente ligadas às etapas de queima, como o tempo e a temperatura [11].

Os métodos utilizados para aceleração e previsão da EPU potencial, antes do uso, são a aplicação de pressão e temperatura (autoclave) [14] ou fervura, este último inclusive recomendado pela normatização brasileira, o qual propõe um limite máximo de 0,06% (0,6 mm/m) de expansão após fervura [15].

As expansões por umidade de longo prazo foram registradas frequentemente na faixa de 0,05% (0,5 mm/m) a 0,20% (2,0 mm/m) de deformação linear, uma deformação considerável em se tratando de sistemas construtivos rígidos sendo a causa de grandes tensões quando as movimentações dos materiais são restringidas [1,10,16,17]. Autores mais conservadores recomendam que os limites sejam inferiores a 0,03% [18, 19] ou até mesmo quanto mais próximo de zero, melhor [5].

Quando o destacamento ocorre após um período considerável de tempo, a única avaliação feita é a expansão por umidade ocorrida das placas cerâmicas, pois as outras causas possíveis não existem mais e/ou podem ter sido alteradas pelo tempo. Assim, se a expansão ocorrida for menor ou igual ao limite estabelecido em projeto ou de norma, as placas não teriam responsabilidade sobre o destacamento e, por exclusão, a responsabilidade recairia sobre os responsáveis pelo projeto construtivo e sua execução [20].

Como parte do estudo experimental deste trabalho, foram utilizadas amostras de placas cerâmicas esmaltadas para revestimentos de dois tipos diferentes de produção. O tipo BIIa (3% a 6% de absorção), de dois produtores diferentes do estado de SP (cerâmica A e B) e o tipo BIIb (6 a 10% de absorção) de um produtor do estado de SC (cerâmica C). Os testes foram realizados entre os anos de 2013 e 2019, onde 440 mil m² de placas cerâmicas de fachadas e 13 mil m² de revestimentos internos, descolaram-se em 100% dos casos, gerando grandes perdas materiais e de imagem, tanto para os construtores como para os fabricantes dos revestimentos.

MATERIAIS E MÉTODOS

A manifestação patológica observada em todos os casos (fachadas e revestimentos internos), é a perda da capacidade resistente das placas cerâmicas às suas argamassas de fixação quando as tensões de cisalhamento, provocadas pela expansão das peças cerâmicas, superam as capacidades resistentes de aderência das argamassas. A sequência de descolamento segue um padrão, onde primeiramente os revestimentos apresentam som cavo sob percussão, seguido da “flambagem”, quando as peças estão mal aderidas, conforme Figura 1, ou da fissuração quando estas estão bem aderidas às suas argamassas de fixação (Figura 2), vindo a se “desplacar” podendo, em alguns casos, até causar riscos de acidentes aos transeuntes.



Figura 1 – Vista dos revestimentos cerâmicos de uma fachada: expansão com descolamento generalizado após “flambagem” das peças. Dimensões das placas: 5 x 23 cm (Fonte: autor).



Figura 2 – Vista dos revestimentos cerâmicos bem aderido de um piso interno: expansão com fissuração e “flambagem” da peça. Dimensões das placas: 41 x 41 cm (Fonte: autor).

Foram realizados vários estudos dos sistemas de revestimento cerâmico, como ensaios de resistência de aderência à tração, absorção, gretamento, tempo em aberto e extensão de aderência das argamassas de fixação, expansão por umidade das placas cerâmicas, estudos de caracterização química e microscópica tanto das argamassas de fixação quanto das placas, que serão objeto de estudo de trabalhos futuros. Para este estudo, o foco será sobre os resultados dos ensaios de expansão por umidade que envolve, basicamente, duas situações:

1. EPU ocorrida

É a avaliação da expansão por umidade ocorrida na peça desde o momento da fabricação até o momento do ensaio: considera-se que é possível eliminar a expansão por umidade já ocorrida através de processo de requeima, que é um tratamento de reaquecimento com a finalidade de remover a água adsorvida. A medida da EPU ocorrida é, portanto, obtida através de medidas das dimensões da peça antes e depois do tratamento térmico (requeima). A requeima é o tratamento térmico que visa remover a água adsorvida no interior do corpo cerâmico.

Os ensaios seguiram as recomendações da norma brasileira vigente à época, a ABNT NBR 13818 (1997), e foram determinados em laboratórios acreditados pelo INMETRO. As dimensões das peças foram medidas previamente em um dispositivo de bancada de alumínio dotado de relógio comparador digital com resolução de 0,001 mm. Em seguida foram requeimadas em mufla a 550°C durante 2 horas e após atingirem 70°C seguido de dessecador, mediu-se o comprimento final. A diferença entre a medida do comprimento inicial com a final, tem-se a EPU ocorrida da peça cerâmica.

2. EPU potencial

É a avaliação da expansão por umidade potencial da peça cerâmica, cuja finalidade é a adoção de um processo de envelhecimento acelerado de forma a reproduzir a hidratação total da peça, logo, a expansão total que o produto cerâmico vai sofrer ao longo dos anos. A EPU potencial é, normalmente, obtida pela diferença entre as dimensões da peça após o tratamento de envelhecimento por umidade e o tratamento térmico de requeima (EPU ocorrida).

Os métodos para avaliação acelerada da expansão por umidade das placas cerâmicas adotadas no Brasil são conhecidos há décadas e ocorrem por aplicação de pressão e temperatura (autoclave) ou fervura, esta última recomendada pela normatização brasileira (ABNT NBR 13818, 1997).

O método da fervura consiste em imergir em água a peça cerâmica após a determinação da EPU ocorrida, onde permanecem em fervura durante 24 horas. O valor da EPU, determinada de acordo com a referida norma, é o aumento específico de comprimento que o corpo de prova sofre após passar 24 horas em água fervente, tomando-se como referência a EPU ocorrida e o seu resfriamento.

Já o método da autoclave consiste no aumento específico de comprimento que o corpo de prova sofre após permanecer em água fervente durante 24 horas, seguidas de 5 horas em autoclave sob pressão de 500 kPa, tomando-se como referência o seu comprimento após a EPU ocorrida e o seu resfriamento.

As características das placas cerâmicas ensaiadas neste estudo, bem como, a quantidade de ensaios realizados por ano e por estado, são apresentadas na Tabela I.

Tabela I - Características das amostras e quantidade de ensaios de EPU realizados entre 2013 e 2019.

Local	Área Total Revest Cerâmico (m ²)	Quantidade de ensaios de EPU realizados por ano							Caract. Técnicas das placas cerâmicas			
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Produtor	Tipo	Dimensões (cm x cm)	Absorção (%)
SP	440.000	24	39	27	9	39	12		A	Prensada	20 x 20	3 a 6
		36	96	186	36	39	9	84	B			
SC	13.064		3				33		C	Prensada	41 x 41	6 a 10
TOTAL	453.064	60	138	213	45	78	54	84				
					672							

Os ensaios foram realizados em laboratórios acreditados pelo INMETRO e compreenderam a determinação da EPU ocorrida e da EPU potencial através dos métodos de fervura e fervura + autoclave. Cada ensaio de EPU contou com 06 (seis) corpos de prova totalizando, portanto, 4.032 cps ensaiados ao longo de 07 anos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos gráficos de caixa das Figuras 3 e 4, são apresentados os resultados dos ensaios de EPU ocorrida, fervura e autoclave para as cerâmicas dos fabricantes A e B, respectivamente.

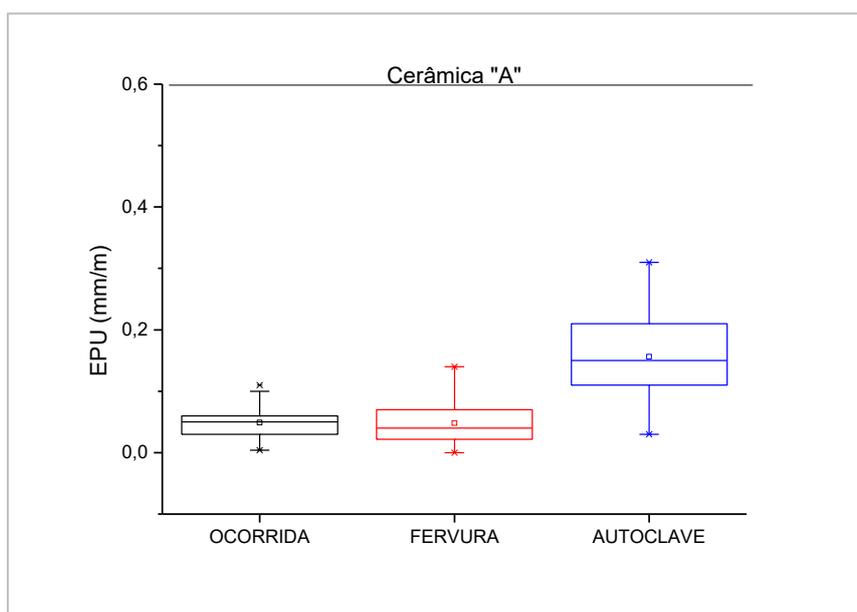


Figura 3 – Gráfico de caixa para os ensaios de EPU ocorrida, fervura e autoclave para a cerâmica do produtor "A". Limite de norma destacada em 0,6 mm/m.

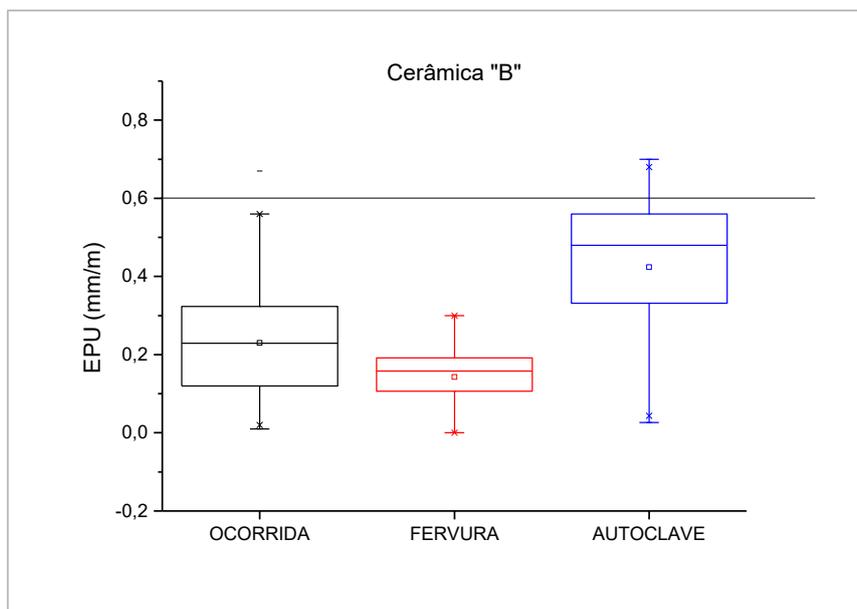


Figura 4 - Gráfico de caixa para os ensaios de EPU ocorrida, fervura e autoclave para a cerâmica do produtor "B". Limite de norma destacada em 0,6 mm/m.

Comparativamente às cerâmicas A e B, ambas de mesma conformação e classe de absorção (BIIa), a cerâmica A tem menor variação da distribuição de valores de EPU, o que resulta em um desvio padrão mais baixo para todos os ensaios (ocorrida, fervura e autoclave), sendo na ordem de 2 a 6 vezes menor. Quando se analisa os valores individuais da média e da mediana da cerâmica A para todos os ensaios (ocorrida, fervura e autoclave), observa-se que são exatamente iguais, ou seja, 0,05, 0,04 e 0,15 mm/m, respectivamente. Para a EPU em fervura, o valor máximo obtido é de, aproximadamente, 30% maior do que a ocorrida, demonstrando que o método de avaliação da EPU potencial por fervura pode ser considerado adequado para cerâmicas com distribuição uniforme de valores (menores coeficientes de variação), indicando placas cerâmicas bem queimadas e conformadas. Em autoclave, a cerâmica A apresentou, comparativamente ao ensaio de fervura, valor médio aproximado ao valor superior do ensaio de fervura (0,15 mm/m), indicando que o ensaio de EPU por autoclave é mais indicado para a avaliação da EPU potencial, uma vez que atende ao pior caso (máximo de 0,31 contra 0,14 mm/m no caso da fervura.). É importante destacar que os empreendimentos que utilizaram as cerâmicas do produtor A não apresentaram nenhum caso de descolamento.

Do gráfico da Figura 4, observa-se que a cerâmica B apresenta um *outlier* para o ensaio de EPU ocorrida, acima do limite sugerido de norma (0,67 mm/m) e que chega próximo ao limite superior do ensaio em autoclave (0,7 mm/m). Apesar das médias e medianas para a ocorrida da amostra "B" apresentarem valores em torno de 0,23 mm/m, muito abaixo do limite de 0,6 mm/m destacado em norma, 100% da cerâmica sofreu deslocamento. Isso indica que o limite da norma é muito elevado, devendo ser revisto. Ainda para a amostra "B", comparativamente entre os ensaios de EPU ocorrida com a EPU potencial por fervura, os resultados em fervura foram, em média, 40% menores. Dos dados da Figura 4, pode-se concluir que o ensaio por fervura não abrange toda a faixa na qual houve EPU ocorrida, o que sugere que tal técnica não é a mais adequada para a determinação da real EPU potencial, sendo esse um dos requisitos mínimos de detecção do potencial de expansão para cerâmicas mal queimadas, uma vez que apresentaram descolamento generalizado. O ensaio de EPU por autoclave apresenta valores mais

aproximados com a EPU ocorrida, sendo, portanto, uma forma mais adequada para se determinar a EPU potencial.

Na Figura 5, são apresentados os dados individuais dos ensaios de EPU para os revestimentos cerâmicos do produtor C, que também apresentou 100% de descolamento em menos de dois anos após o seu assentamento.

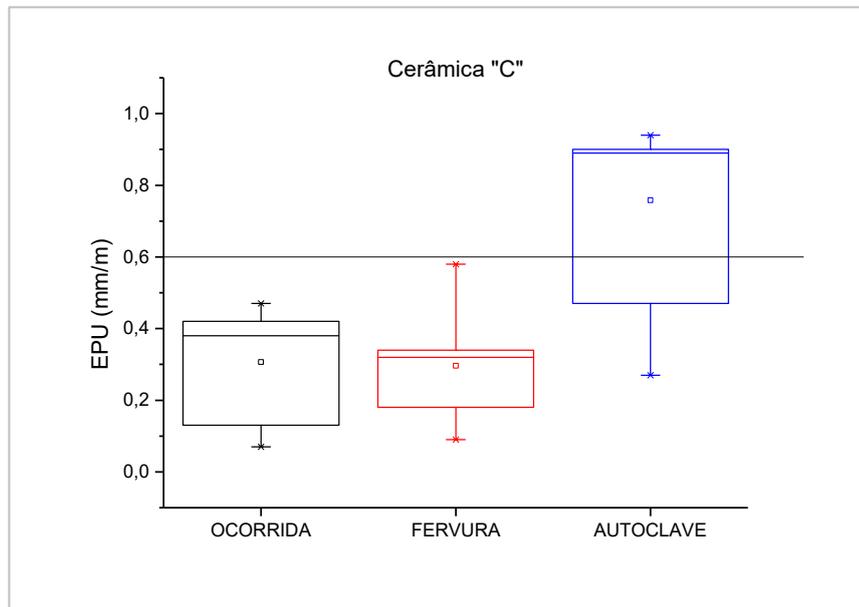


Figura 5 - Gráfico de caixa para os ensaios de EPU ocorrida, fervura e autoclave para a cerâmica do produtor "C". Limite de norma destacada em 0,6 mm/m.

Do gráfico da Figura 5, destaca-se que a mediana para todos os ensaios é muito superior à média dos resultados individuais, indicando que algumas cerâmicas de mesmo lote foram bem queimadas, o que faz que a média se desloque para baixo. Uma análise dos terceiros e quarto quartantes, demonstra que há uma grande quantidade de valores muito próximas (terceiro quartante) e, novamente, observa-se uma grande distribuição de valores no quarto quartante. A quantidade de valores acima de 0,4 mm/m para os ensaios de EPU ocorrida e autoclave corresponde a cerca de 75% das amostras. Além disso a distribuição dos dados é bastante elevada, o que evidencia problemas na qualidade de produção. Mais uma vez, pode-se concluir que o ensaio de EPU por autoclave, para este tipo de cerâmica mal queimada, apresenta melhores resultados potenciais de expansão comparativamente ao ensaio de norma.

No gráfico da Figura 6, são apresentados os resultados comparativos dos ensaios de EPU ocorrida para as três cerâmicas. Nota-se a variabilidade da distribuição de valores das amostras B e C.

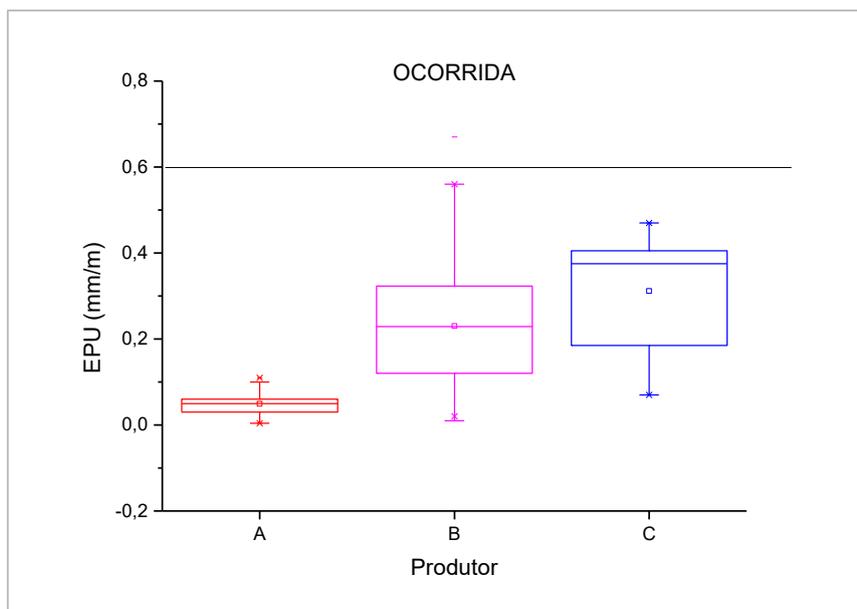


Figura 6 - Gráfico de caixa para os ensaios de EPU ocorrida para as cerâmicas dos produtores "A", "B" e "C". Limite de norma destacada em 0,6 mm/m.

Da análise em campo dos revestimentos utilizados nos empreendimentos monitorados, observou-se que as cerâmicas A não vêm apresentando perda de resistência de aderência ao longo dos anos, ao contrário das cerâmicas "B" e "C", que se descolaram totalmente. A análise do gráfico da Figura 6 sugere, portanto, que os limites aceitáveis para a mitigação do descolamento fiquem em torno da média da cerâmica "B" ou do primeiro quartante da cerâmica C, ou seja, em torno de 0,20 mm/m (0,02%).

Nos gráficos da Figura 7, são apresentados comparativamente os ensaios de potencial de expansão para as três amostras pelos métodos da fervura e da autoclave.

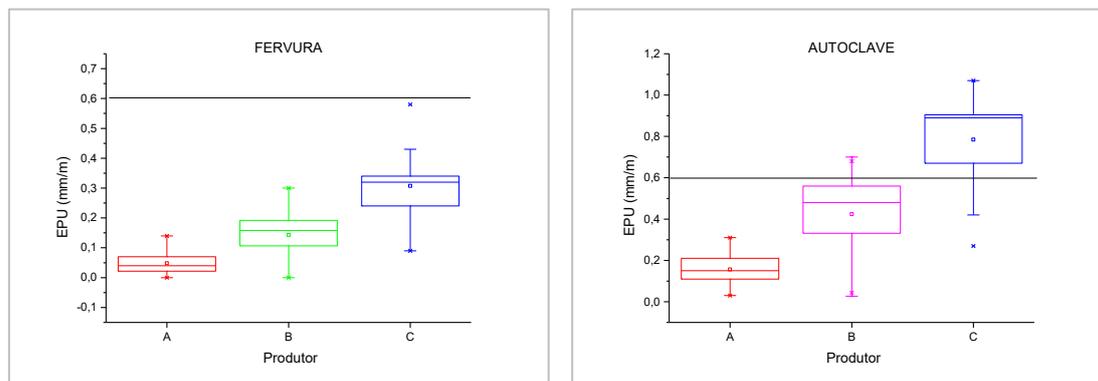


Figura 7 – Ensaios de fervura e autoclave para as amostras de cerâmicas "A", "B" e "C". Limite de norma destacada em 0,6 mm/m.

Nota-se dos gráficos da Figura 7 que, para as cerâmicas B e C, o ensaio de potencial de expansão por autoclave eleva as chances de se detectar a má conformação ou sinterização das peças, levando as médias e medianas mais próximas do limite de norma, comparativamente ao ensaio de fervura, cujos resultados são bem inferiores ao limite de norma. Considerando as cerâmicas do tipo A como ideais para revestimentos sujeitos a grandes variações dimensionais, cujo quarto quartante é em torno de 0,2 mm/m em autoclave e, sabendo-se que as cerâmicas B e C vieram a apresentar o descolamento em

100% dos casos quando os limites em fervura ultrapassaram 0,2 mm/m (acima de 0,4 mm/m em autoclave), sugere-se que o limite de norma para o ensaio em fervura, seja revisto para 0,2 mm/m.

CONCLUSÕES

Das análises de mais de 4 mil corpos de prova ensaiados entre 2013 e 2019, correspondentes a um universo maior que 450 mil metros quadrados de revestimento cerâmico, conclui-se que os ensaios de avaliação do potencial de expansão para cerâmicas, devem ser realizados pelo ensaio de fervura + autoclave, cujos valores medianos, para peças mal conformadas, aproximar-se-ão ou superarão o limite de 0,6 mm/m (0,06%), indicado atualmente em norma. Entretanto, uma vez que os ensaios em autoclave alteram a microestrutura da peça cerâmica, sugere-se, portanto, que ao se manter o ensaio acelerado pelo método da fervura, que o limite seja revisto e reduzido para 0,20 mm/m (0,02%), visando a proteger o consumidor e garantir a eficiência do sistema de revestimento.

AGRADECIMENTOS

Às construtoras Even e Proma, à equipe do laboratório de revestimentos do IPT/SP e ao departamento de Engenharia de Materiais e Nanotecnologia da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

REFERÊNCIAS

- [1] CHEW, M. Y. L. Factors affecting ceramic tile adhesion for external cladding. **Construction and Building Materials**, v. 13, n. 5, p. 293–296, 1999.
- [2] HALL, C.; HOFF, W. D. **Water Transport in Brick, Stone and Concrete**. 3. Ed. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2021.
- [3] MENEZES, R. R. Estudo da expansão por umidade e de características cerâmicas correlatas de placas cerâmicas para revestimento. **Dissertação (Mestrado)** – Campina Grande: UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA, 2001.
- [4] HAMILTON, A.; HALL, C. A Review of Rehydroxylation in Fired-Clay Ceramics. **Journal of the American Ceramic Society**, v. 95, n. 9, p. 2673–2678, 1 set. 2012.
- [5] KAYACI, K. Effect of fluxing raw materials on moisture expansion of monoporous wall tile bodies. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 146, n. 4, p. 1603–1611, 21 nov. 2021.
- [6] DVOŘÁKOVÁ, P. et al. **Moisture expansion of Ca-rich ceramic body**. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. **Anais...IOP Publishing Ltd**, 25 jan. 2021.
- [7] BAUER, J. R. F.; RAGO, F. Expansão por Umidade de Placas Cerâmicas para Revestimento. **Cerâmica industrial**, v. 5, n. 3, mai/jun 2000. pg. 41-45.
- [8] ANDRADE, R. A. et al. Influência da expansão por umidade no comportamento mecânico de argilas para uso em blocos de cerâmica vermelha - revisão. **Cerâmica**, v. 57, n. 343, p. 329–337, set. 2011
- [9] CHIARI, L.; OLIVEIRA, C. J.; MONTEIRO, C. S.; FORJAZ, N.V.; BOSCHI, A. O. Expansão por umidade. Parte I: o fenômeno. **Cerâm. ind.**, vol.1, n1. 1996a.

- [10] HALL, C.; HOFF, W. D. Moisture expansivity of fired-clay ceramics. **Journal of the American Ceramic Society**, v. 95, n. 4, p. 1204–1207, abr. 2012.
- [11] HOSSEINY, A. H. M.; NAJAFI, A.; KHALAJ, G. Investigation of CaO/MgO on the formation of Anorthite, Diopside, Wollastonite and Gehlenite phases in the fabrication of fast firing ceramic tiles. **Construction and Building Materials**, v. 394. 2023.
- [12] SMITH, A. N. 19. - Investigations on the Moisture Expansion of Porous Ceramic Bodies. **Transactions of the British Ceramic Society**, v. 54, p. 300, 1955.
- [13] VERDUCH, A. G. Expansión por humedad de los productos cerámicos. **Boletín de la Sociedad Española de Cerámica**, v. 4, n. 3, p. 259–284, maio 1965.
- [14] SCHURECHT, H. G. Methods for testing crazing of glazes caused by increases in size of ceramic bodies. **Journal of the American Ceramic Society**, v. 11, n. 5, p. 271–277, 1 maio 1928.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 10545**: Placas cerâmicas – Expansão por Umidade. Parte 10. Rio de Janeiro, 2020.
- [16] HOSKING, J. S. et al. **The permanent moisture expansion of clay products. I. Bricks**CSIRO Research Publications Repository. Melbourne, Vic.: CSIRO Division of Building Research, 1959.
- [17] HALL, C.; WILSON, M. A.; HOFF, W. D. Kinetics of Long-Term Moisture Expansion in Fired-Clay Brick. **Journal of the American Ceramic Society**, v. 94, n. 11, p. 3651–3654, 1 nov. 2011
- [18] FIORITO, A. J. S. I. **Manual de argamassas e revestimentos**: estudos e procedimentos de execução. Pini: São Paulo, 1994 (1ª ed.).
- [19] LUCAS, J. A. C. Azulejos ou Ladrilhos Cerâmicos - Descrição geral, exigências normativas, classificação funcional. **ICT, Informação Técnica Materiais de Construção – ITMC**, v. 33, p. 01–65, 2003.
- [20] NASTRI, S., CONSERVA, L. R. S., MELCHIADES, F. G., BOSCHI, A. O. A Expansão por Umidade (EPU) revisitada, 20 Anos depois: convivendo com a Inevitabilidade da EPU. **Cerâmica Industrial**, vol.20, 2015.