

Estudo de variáveis do ensaio de absorção de água em porcelanatos pelo método a vácuo

Juliana de Oliveira Menegon ^{1*}, Laura Savi Rosso ¹, Aline Demarch ¹, Angela Waterkemper Vieira ¹, Elidio Angioletto ²

¹ Eliane Revestimentos Cerâmicos, Rua Maximiliano Gaidzinski 245, Cocal do Sul, 88845-000, Santa Catarina

² Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Av. Universitária 1105, Criciúma, 88806-000, Santa Catarina

* e-mail: julianamenegon20@gmail.com

Resumo:

Os revestimentos cerâmicos desempenham um papel fundamental na construção civil, sendo amplamente utilizados, o que ressalta a importância de manter um controle rigoroso sobre suas propriedades físicas, com enfoque especial na porosidade e na capacidade de absorção de água. A absorção de água está ligada à porosidade residual e é influenciada pelo processo de sinterização e pela qualidade dos materiais cerâmicos. As normas de revestimentos cerâmicos classificam os produtos com base em seus níveis de absorção de água. O não cumprimento dessas normas pode resultar na perda do selo de qualidade ou na reclassificação do produto em uma categoria de absorção diferente, o que pode excluí-lo da categoria de porcelanatos. Portanto, justificam-se estudos para analisar o ensaio de absorção de água atualmente utilizado, que envolve a aplicação de vácuo, conforme a NBR ISO 10545-3 [1]. Este trabalho consistiu em avaliar a absorção de água das amostras, variando o tempo de imersão, o tempo do final da prova até a pesagem e a variação da pressão de vácuo no sistema. Foram utilizados cinco produtos classificados como porcelanatos esmaltados, fabricados em uma linha de produção industrial, com faixas de absorção de água pré-estabelecidas. Os resultados revelaram que as amostras não alcançaram a saturação em 15 minutos de imersão e que a absorção de água aumentou com o prolongamento do tempo de imersão. O tempo fora da água mostrou uma diminuição sutil na absorção de água à medida que o tempo avançava devido à evaporação da água dos poros do produto. Também se constatou que a variação da pressão de vácuo não teve um impacto significativo nos resultados de absorção de água das amostras testadas. Foi constatado que negligenciar o tempo de imersão pode levar à desclassificação do produto, destacando a importância de uma gestão adequada desse tempo para garantir a confiabilidade dos resultados.

Palavras-chave: Absorção de água; porosidade; pressão de vácuo; porcelanato; tempo de imersão.

1. INTRODUÇÃO:

A origem da palavra “cerâmica” remonta à língua grega, mais especificamente à palavra “keramikos”, que se traduz como “matéria queimada.” Essa etimologia sugere que as propriedades desejáveis desses materiais são, em grande parte, resultantes de um processo de tratamento térmico em altas temperaturas denominado queima ou cozimento [2]. Os revestimentos cerâmicos estão entre os materiais mais utilizados na construção civil [3], o que por si só justifica os esforços para melhorar suas propriedades.

Os revestimentos cerâmicos, como o próprio nome indica, são usados para cobrir superfícies, sejam elas no chão, paredes ou até mesmo no teto, em ambientes internos ou externos. Quando aplicados no chão, são comumente chamados de “pisos”, e quando usados nas paredes, são popularmente conhecidos como “azulejos” [4].

O Brasil destaca-se como o terceiro maior produtor no mercado de revestimentos cerâmicos e louças sanitárias, ocupando posições significativas [5]. Os revestimentos cerâmicos podem ser classificados com base em diversos critérios como, por exemplo, o processo de fabricação empregado, as características de superfície e suas propriedades técnicas distintivas [6]. Estes revestimentos produzidos atualmente são compostos geralmente por três camadas distintas: o suporte cerâmico, o engobe e o esmalte [7].

Os produtos cerâmicos esmaltados são recobertos de uma camada vítrea impermeável, devido a diversas exigências. Desta maneira, a qualidade dos revestimentos cerâmicos está ligada à composição das matérias-primas e ao processo de fabricação utilizado [8]. As placas cerâmicas são superfícies versáteis e duráveis, e são escolhas populares na arquitetura, pois proporcionam estética e funcionalidade [9]. No entanto, um dos aspectos críticos a serem considerados é a absorção de água, pois é uma propriedade-chave dos materiais cerâmicos [2]. Uma das características mais significativas dos revestimentos cerâmicos é a sua porosidade, medida pela absorção de água, que representa a relação entre a massa de água absorvida pelos poros abertos da peça e sua massa seca [10].

O controle do processo de queima é muito importante para os revestimentos cerâmicos, pois é nele que ocorrem as reações desejadas e que influenciarão nas características técnicas do produto [11]. O controle da absorção de água é muito importante para as demais características do produto como características dimensionais, por exemplo, as curvaturas [12]. Segundo a NBR ISO 13006 [13], os materiais cerâmicos são classificados de acordo com a sua capacidade de absorção de água e o método utilizado no processo de conformação, de acordo com a Tab.1:

Tabela 1. Grupo de absorção de água conforme método de conformação [13]

Conformação	Grupo	Absorção de Água
Prensagem a seco	Bla	$AA \leq 0,5\%$
	B1b	$0,5 < AA \leq 3\%$
	B1a	$3 < AA \leq 6\%$
	B1b	$6 < AA \leq 10\%$
	B1c	$AA > 10\%$

A absorção de água tem uma relação direta com a porosidade residual e, portanto, desempenha um papel essencial como indicador da qualidade e do processo de sinterização dos materiais cerâmicos [14]. A capacidade de absorção de água desempenha um papel fundamental na identificação da estrutura interna de materiais cerâmicos, tendo implicações diretas na sua resistência mecânica, que é avaliada por meio do módulo de ruptura e da resistência à ruptura [14].

É possível identificar três tipos distintos de porosidade em um corpo cerâmico [15][16]:

Porosidade aberta: Esta categoria é caracterizada por poros que se encontram na superfície do produto, podendo variar em termos de formato e, em alguns casos, serem interconectados.

Porosidade fechada: Aqui os poros se encontram isolados no interior do revestimento, apresentando geralmente dimensões maiores do que os poros abertos.

Porosidade interparticular: Essa porosidade tem uma aparência irregular e está localizada nos contornos entre os grãos residuais de quartzo e a matriz vítrea do material cerâmico.

Essa classificação fornece uma compreensão detalhada das características dos poros presentes nos produtos cerâmicos, porém a absorção de água mede de forma indireta apenas os denominados poros abertos. As demais tipologias de poros poderão apenas ser observadas e quantificadas por métodos de análises mais minuciosas.

Os porcelanatos rapidamente dominaram uma grande parte do mercado de revestimentos cerâmicos [17]. As propriedades tecnológicas do porcelanato ampliam consideravelmente suas possibilidades de aplicação, indo muito além dos usos tradicionais [18].

O material cerâmico selecionado para este estudo é o porcelanato esmaltado, que possui baixa porosidade e alto desempenho [19]. Essas características exigem um rigoroso controle durante o processo de fabricação para garantir que suas propriedades técnicas atendam aos padrões esperados [20].

Devido ao alto grau de vitrificação dos porcelanatos, é natural que uma parte da porosidade aberta se transforme em porosidade fechada nos estágios finais do processo de sinterização [21].

Conforme estabelecido na NBR ISO 13006 [13], a absorção de água máxima permitida para este grupo é de apenas 0,5%. Sendo este um valor baixo, tornando necessário grande controle das características técnicas do produto.

A ANFACER [5] introduziu o selo da qualidade para porcelanato como parte do programa de qualidade para porcelanato, com o propósito de informar e orientar consumidores sobre as características do porcelanato que cumprem as normas, como a NBR ISO 13006 [13]. Esse selo desempenha um papel crucial na garantia da conformidade dos produtos cerâmicos, evitando não conformidades intencionais e promovendo padrões elevados de qualidade na indústria cerâmica.

Dentro desse contexto, o ensaio de absorção de água é fundamental, pois conforme mencionado, é esse ensaio que determina a classificação do revestimento cerâmico. A não conformidade nesse teste pode resultar na perda do selo de qualidade ou na reclassificação do produto em uma categoria de absorção diferente, excluindo-o da classe de porcelanato. Isso ressalta a relevância desse ensaio como um indicador crítico da qualidade e do desempenho dos revestimentos cerâmicos.

Nesse contexto, laboratórios que conduzem testes de absorção de água não possuem especificações normativas definidas para todas as etapas do processo, resultando na ausência de um padrão uniforme e possibilitando que cada laboratório realize esses testes de maneira variada, o que pode acarretar em variações dos resultados obtidos.

Portanto, o objetivo geral deste trabalho é a avaliação do método de absorção de água, conforme estipulado pela NBR ISO 10545-3 [1], empregando o sistema de vácuo, analisando como esse método responde a variações nos tempos de imersão, pressões de vácuo e no tempo de exposição das amostras fora da água. Essa abordagem abrangente é fundamental para compreender o comportamento das cerâmicas e garantir que os produtos estejam em conformidade com os padrões de qualidade e desempenho exigidos, proporcionando assim uma base sólida para a confiabilidade e excelência contínuas na indústria de revestimentos cerâmicos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS:

Os testes foram conduzidos seguindo rigorosamente as diretrizes estipuladas pela norma NBR ISO 10545-3 [1]. Os resultados foram então comparados com as especificações apresentadas na Tabe.2, que descreve tanto os requisitos da norma quanto os valores efetivamente observados no equipamento.

Tabela 2. Análise do tempo de cada etapa do processo de ensaio

Processos (tempo)	Porosimetria utilizado	NBR ISO 10545
Para atingir o vácuo	5min20s a 6min10s	Sem especificação
Em vácuo	30min	30min
Para entrada de água	8min26 a 9min17	Máximo 10min
Para decair o vácuo	1s	Sem especificação
De permanência na água	15min	15min

2.1. Amostragem:

Para realização dos testes, foi utilizada a tipologia denominada porcelanato esmaltado, com classe de absorção de água Ia, ou seja, $\leq 0,5\%$. As amostras foram produzidas industrialmente em linha de produção. Foram testados cinco produtos distintos, descritos a seguir:

Produto A: Porcelanato esmaltado 60×60 cm² com faixa de absorção de 0,1 a 0,2%;

Produto B: Porcelanato esmaltado 85,2×85,2 cm² com faixa de absorção de 0,2 a 0,3%;

Produto C: Porcelanato esmaltado 122,4×122,4 cm² com faixa de absorção de 0,3 a 0,4%;

Produto D: Porcelanato esmaltado 122,4×122,4 cm² com faixa de absorção de 0,4 a 0,5%;

Produto E: Porcelanato esmaltado 85,2×85,2 cm² com faixa de absorção de 0,5 a 0,6%.

É importante destacar que as faixas de absorção mencionadas representam os resultados médios obtidos nas amostras previamente testadas. No entanto, devido à produção industrial das amostras, é sabido que pode haver variações na absorção de água entre diferentes peças do mesmo lote. Consequentemente, não se pode garantir que todos os corpos de prova empregados nos testes subsequentes estejam, necessariamente, dentro dessas faixas de absorção.

2.2. Variáveis de ensaio:

Os produtos escolhidos foram submetidos ao ensaio de absorção de água conforme NBR ISO 10545-3 [1], para que fosse possível a confirmação das faixas de absorção de água, conforme observações prévias anteriormente descritas. Conforme já citado, apesar das amostras serem testadas antes da realização dos ensaios, e assim, terem suas faixas pré-estabelecidas, podem ocorrer mudanças em relação às faixas de absorção de água das amostras, visto que o processo não é homogêneo e apresenta variações.

O trabalho consistiu na avaliação da absorção de água de produtos com faixas distintas de absorção, variando o tempo de análise em água. Para cada faixa de absorção do produto, foram utilizados cinco corpos-de-prova medindo 20×20 cm², em cada um dos testes realizados.

As variáveis estudadas foram as seguintes:

Tempo de imersão: 15, 20, 30, 40, 50, 60, 120 e 180 min.

Tempo entre fim de prova e pesagem: 0, 5, 10, 15, 20, 30 e 60 min.

Pressão de vácuo: 95 kPa (712,56 mmHg), 90 kPa (675,06 mmHg) e 85 kPa (637,55 mmHg) abaixo da pressão atmosférica. Ou seja, a pressão absoluta de 6, 11, e 16 kPa, considerando a pressão atmosférica de 101 kPa.

2.3. Equipamentos e materiais:

Para realização dos testes foram utilizados os seguintes equipamentos: estufa com temperatura de (110 ± 5) °C; aparelho para absorção com câmara de vácuo (Servitech CT 12174 132 L); balança com incremento digital de no mínimo 0,01 g (Marte AD5002); pano de algodão; máquina de corte (Cortag).

2.4. Preparação das amostras:

As amostras foram cortadas com cortador manual de peças. Para cada variável, tempo de imersão, tempo fora da água e variação de pressão, utilizou-se cinco amostras de cada produto, sendo extraídos um corpo-de-prova de cada peça, totalizando cento e vinte corpos-de-prova. Para o corte das amostras, seguiu-se um padrão, para todas as peças independentemente do tamanho da mesma, padronizando o corte de forma a extrair um copo de prova de 20×20 cm², a partir do canto de cada peça. O exemplo do corte pode ser visto na Fig.1:

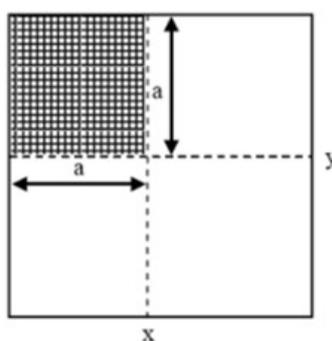


Figura 1. Exemplificação do corte das amostras [13], onde a=20 cm; x=comprimento da amostra; y=largura da amostra

2.5. Execução do ensaio:

As amostras foram identificadas, sendo adotada a letra "I" para amostras que foram testadas para avaliar a variação do tempo de imersão, letra "F" para amostras que foram testadas para avaliar o tempo fora da água e letra "P" para amostras que foram testadas para avaliar a influência da pressão de vácuo.

2.5.1. Análise da influência do tempo de imersão (I):

Após cortadas, as amostras foram secas em estufa por um período de 24 horas e após retiradas, aguardou-se até atingirem a temperatura ambiente. Atingindo a temperatura ambiente, as amostras estavam prontas para serem ensaiadas. Pesou-se cada corpo de prova e anotou-se o resultado (mI1). Os corpos de prova foram posicionados no porosímetro verticalmente com um dos lados cortados virado para a parte inferior. Utilizou-se um cesto com separadores para colocar as amostras, para que elas ficassem separadas entre si e não tivessem contato com as partes do equipamento.

O porosímetro foi fechado e programado para fazer vácuo até uma pressão de 10 ± 5 kPa, ou seja 91 ± 5 kPa abaixo da pressão atmosférica normal que é de 101 kPa e mantê-la por 30 ± 2 min. Em seguida, enquanto em vácuo, introduziu-se lentamente água para dentro do equipamento por 10 ± 2 min para submergir completamente as amostras. Após as amostras serem totalmente submersas, permitiu-se que o recipiente voltasse à pressão atmosférica. Os corpos-de-prova foram mantidos submersos por 15 min. Para retirar o excesso de água da superfície das amostras, utilizou-se um pano de algodão umedecido. Depois desta operação, pesou-se novamente cada peça, anotando o resultado (mI2).

Para análise da influência do tempo de imersão das amostras, fez-se o mesmo processo descrito anteriormente, porém variando o tempo em que os corpos de provas ficaram submersos em: 20 (mI3), 30 (mI4), 40 (mI5), 50 (mI6), 60 (mI7), 120 (mI8) e 180 min (mI9).

2.5.2. Análise da influência do tempo fora da água (F):

Para a realização deste ensaio, seguiu-se o mesmo procedimento descrito anteriormente. As amostras foram secas e pesadas determinando sua massa inicial (mF1). Os corpos-de-prova foram submetidos ao porosímetro com vácuo e pressão controlados. Elas foram inicialmente evacuadas a 10 ± 5 kPa por 30 ± 2 minutos. Em seguida, água foi introduzida lentamente para submergir as amostras por 10 ± 2 minutos. Após a submersão, o porosímetro foi pressurizado, as amostras permaneceram submersas por 15 ± 2 min e o excesso de água foi removido com um pano de algodão umedecido. As amostras foram pesadas logo após serem retiradas do porosímetro e serem secas, considerando esse o tempo de 0 minutos após o ensaio (mF2). Repetiu-se o processo para os tempos de 5 (mF3), 10 (mF4), 15 (mF5), 20 (mF6), 30 (mF7) e 60 min após o ensaio (mF8), para análise da influência do tempo fora da água.

2.5.3. Análise da variação da pressão de vácuo (P):

Para a condução deste teste, a intenção era variar a pressão de vácuo em três níveis: 16, 11 e 6 kPa. Contudo, não foi possível concluir o teste com 6 kPa pois o porosímetro não conseguiu atingir tal nível de depressão. O procedimento teve início com a pressão de 11 kPa, seguindo o mesmo método utilizado nos testes anteriores. Após a secagem das amostras em estufa por 24 horas e o subsequente resfriamento até alcançar a temperatura ambiente, cada amostra foi pesada e sua massa foi determinada (m11P1).

Em seguida, as amostras foram introduzidas no porosímetro, por 30 ± 2 min, com imersão das amostras em água por 10 ± 2 min. Após a imersão, o equipamento foi pressurizado, e as amostras permaneceram submersas por 15 ± 2 min. Em seguida, as amostras foram retiradas do equipamento e o excesso de água foi retirado com um pano de algodão umedecido e a massa determinada (m11P2). Repetiu-se o mesmo processo para a pressão de 16 kPa, sendo a massa inicial das amostras secas (m16P1) e a massa final das amostras após realização do ensaio (m16P2).

2.6. Expressão dos resultados:

A absorção de água de cada amostra, em percentual, foi calculada utilizando a eq.1:

$$Ev (\%) = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100 \tag{1}$$

onde: Ev (%) é a absorção de água (%); m_1 é a massa da peça seca (g); e m_2 é a massa da peça úmida (g).

Para todas as amostras foram calculadas a média e o desvio padrão da absorção de água em cada conjunto de 5 amostras, correspondente a cada teste executado. Os resultados foram apresentados com duas casas decimais, de acordo com a resolução da balança utilizada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A seguir são apresentados os resultados obtidos nos testes variando o tempo de imersão das amostras em água, tempo destas amostras fora da água e a pressão de vácuo.

3.1. Tempo de imersão:

A Fig.2 representa o comportamento da absorção de água em relação à variação do tempo de imersão das amostras, na pressão padrão de 11 kPa, conforme NBR ISO 10545-3 [1]. É possível observar que quanto maior o tempo em que as peças ficam submersas, maior é a absorção de água das mesmas, fato confirmado pelo trabalho desenvolvido por Vieira [22]. O produto A, que originalmente já possuía menor absorção de água, apresentou em todos os tempos de imersão absorção de água inferior à especificada pela norma, que é de 0,5%. O produto B apresentou resultados abaixo da norma nos tempos de imersão de 15 e 20 min, porém nos tempos de 30, 40, 50, 60, 120 e 180 min os valores de absorção de água são superiores ao determinado pela norma.

Já os produtos C, D e E apresentaram valores de absorção de água de acordo com a norma no tempo de imersão de 15 min, nos demais tempos os valores são superiores ao estabelecido pela norma.

A Tab.3 mostra as equações de regressão linear originadas dos pontos experimentais obtidos nos testes. Os valores de R^2 obtidos foram de 0,9 para todos os testes realizados, fato este que indica que a linha de tendência representa de forma satisfatória os pontos experimentais, portanto as equações podem ser utilizadas para análise.

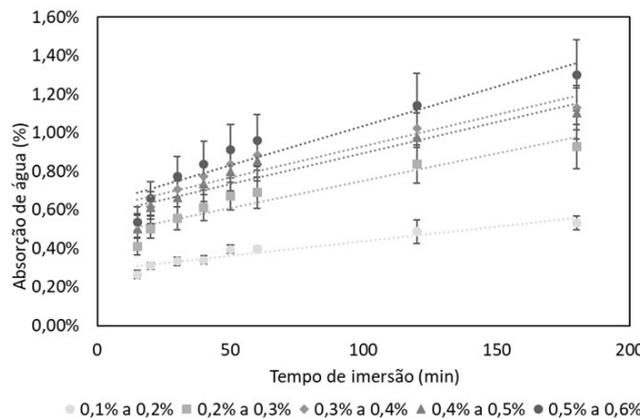


Figura 2. Análise do tempo de imersão na absorção de água determinada pelo método de vácuo

Tabela 3. Equações de regressão para o tempo de imersão

Produto	Intervalo de AA	Equação de regressão	R ²
A	0,1 a 0,2%	$y = 0,152.10^{-4}x + 0,00285$	0,9
B	0,2 a 0,3%	$y = 0,283.10^{-4}x + 0,00469$	0,9
C	0,3 a 0,4%	$y = 0,328.10^{-4}x + 0,00602$	0,9
D	0,4 a 0,5%	$y = 0,323.10^{-4}x + 0,00572$	0,9
E	0,5 a 0,6%	$y = 0,409.10^{-4}x + 0,00626$	0,9

Conforme pode ser visto na Tab.3, ao analisar os coeficientes angulares das equações é possível notar que o produto A exibiu a menor variação na absorção de água em relação ao tempo de imersão,

enquanto o produto E apresentou a maior variação nesse aspecto. Isso ocorre devido ao fato de que quanto maior for o coeficiente angular da reta, maior será a variação da variável em análise. Dessa forma, fica comprovado que o ensaio de absorção seguindo os critérios da NBR ISO 10545-3 [1] não promove a completa saturação da amostra, e que um maior tempo de imersão das amostras pode provocar grande variação no resultado final do ensaio.

Conforme observado pelos coeficientes angulares das equações, quanto maior a absorção inicial do produto, mais intensa também será a absorção de água após um maior período de imersão em água, confirmando o resultado encontrado no trabalho realizado por Vieira [22].

Quanto à variabilidade na absorção de água observada nas amostras, essa informação é representada nos gráficos por meio das barras de erro. Pode-se afirmar que em produtos de baixa porosidade, como o produto A, a variabilidade entre as peças do mesmo lote é bastante reduzida. No entanto, ao se avaliar produtos com uma maior capacidade de absorção de água, como o produto E, é evidente que a variabilidade é mais significativa. Portanto, conclui-se que lotes com maior porosidade aberta tendem a ser menos homogêneos.

Assim, desconsiderar o tempo de imersão das amostras após a conclusão do ensaio pode afetar a classificação do produto, e, em alguns casos, levar à desclassificação do porcelanato em categorias diferentes de absorção de água.

3.2. Tempo fora da água:

Na Fig.3 é mostrada a variação de absorção de água dos produtos em relação ao tempo que as amostras permanecem fora da água. Observa-se que em todos os produtos a absorção diminui à medida que o tempo passa. Em outras palavras, quanto mais tempo é esperado para a pesagem das amostras menor é a absorção de água nos produtos. Essa redução na absorção de água ocorre devido à evaporação da água contida nos poros do produto à medida que o tempo avança. No entanto, é importante notar que essa variação é bastante sutil, visto que as inclinações das retas são relativamente pequenas, como será confirmado posteriormente na análise das equações. O produto E apresentou, em todos os tempos, os maiores valores de absorção de água, e o produto A os menores valores.

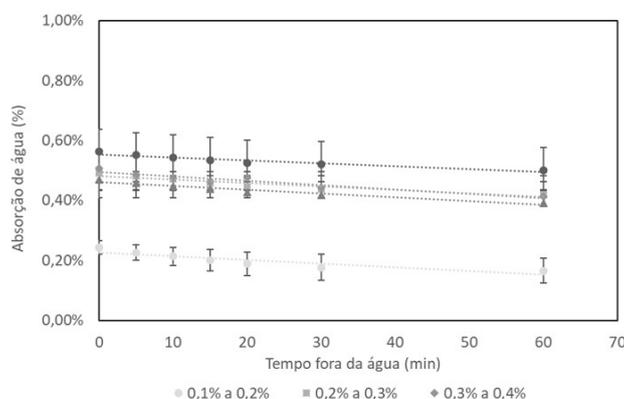


Figura 3. Análise do tempo fora da água na absorção de água determinada pelo método de vácuo

A Tab.4 mostra as equações de regressão linear para a absorção de água em função do tempo fora da água, para cada produto, juntamente com os valores de R², que variam entre 0,8 e 0,9, mostrando que as equações são adequadas para análise, proporcionando resultados satisfatórios.

Tabela 4. Equações de regressão para o tempo fora da água

Produto	Intervalo de AA	Equação de regressão	R ²
A	0,1% a 0,2%	y = -0,124.10-4x + 0,00227	0,8
B	0,2% a 0,3%	y = -0,116.10-4x + 0,00482	0,9
C	0,3% a 0,4%	y = -0,142.10-4x + 0,00494	0,9
D	0,4% a 0,5%	y = -0,126.10-4x + 0,00461	0,9
E	0,5% a 0,6%	y = -0,100.10-4x + 0,00554	0,9

Analisando o coeficiente linear, pode-se perceber que o produto A apresentou o menor valor de absorção de água no tempo 0 min fora da água e o produto E apresentou o maior valor. Os coeficientes angulares das equações de regressão são negativos, o que indica que a absorção de água dos produtos diminui à medida que o tempo fora da água avança. Entretanto, ao comparar os coeficientes angulares da Tab.4, que refletem a evolução da absorção em relação ao tempo fora da água, com os coeficientes angulares da Tab.3, que representam a variação da absorção de água nas amostras imersas em água, observa-se que, em módulo, os coeficientes da Tab.3 são até quatro vezes maiores que os da Tab.4.

Portanto, é apropriado concluir que o tempo de imersão tem uma influência significativamente maior do que o tempo fora da água na absorção de água dos produtos. Além disso, é importante notar que, ao contrário do que foi observado na Tab.3, onde se constatou que quanto maior a absorção de água do produto, maior seria a quantidade de água que ele absorveria, nesse caso não existe uma tendência clara. Os coeficientes angulares não mostram uma relação direta com a absorção de água inicial dos produtos.

3.3. Pressão de vácuo:

Em relação à análise da pressão de vácuo, conforme citado anteriormente, não foi possível realizar os testes na pressão de 6 kPa, pois o equipamento não atingiu esta pressão tão baixa. A Fig.4 mostra os resultados de absorção de água com relação à pressão de vácuo no equipamento. No produto A não houve diferença de absorção de água para as pressões de 11 e 16 kPa. No entanto, avaliando os valores médios dos produtos B, C, D e E observa-se que a absorção de água aumenta à medida que a pressão dentro do equipamento diminui. Isso pode ser explicado pelo fato de que quanto maior for o vácuo no equipamento, mais ar é retirado dos poros abertos dos corpos de prova.

Comparando a pressão de 16 kPa com a pressão de 11 kPa, observa-se que para atingir a pressão mais baixa de 11 kPa se extrai uma quantidade significativamente maior de ar dos poros dos corpos de prova. Isso, por sua vez, facilita a entrada da água nos poros, levando a uma absorção de água consideravelmente maior nos produtos cerâmicos. No entanto, ao analisar as barras de erro, observa-se que os resultados de absorção de água podem ser considerados estatisticamente equivalentes para as duas pressões avaliadas.

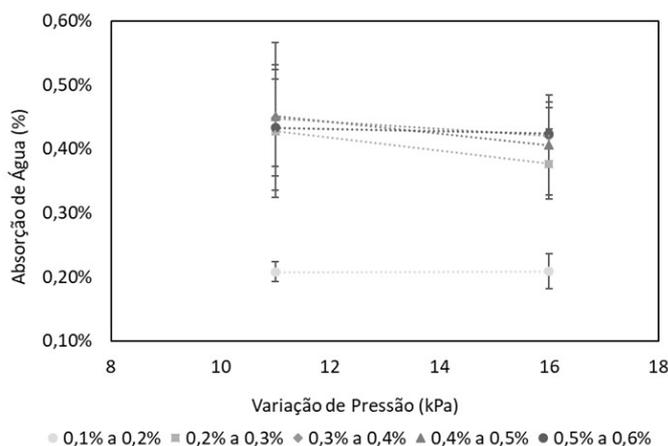


Figura 4. Análise da variação da pressão na absorção de água determinada pelo método de vácuo

Em uma análise abrangente, avaliando todas as variáveis investigadas neste estudo, é possível afirmar que a pressão utilizada nos testes foi a que teve a menor influência sobre o resultado final.

Essa análise contrapõe aos resultados do estudo conduzido por Vieira et al. (2017), o qual concluiu que a pressão de vácuo exerce uma influência significativa sobre os resultados de absorção de água dos produtos cerâmicos.

No entanto, é importante destacar que a variação nos níveis de pressão utilizada no estudo de Vieira et al. (2017) foi maior, com uma diferença de 36 kPa em comparação com a variação de apenas 5 kPa empregada neste trabalho. Portanto, as diferenças nos resultados podem ser atribuídas a essa disparidade nos valores de pressão aplicados nos testes.

4. CONCLUSÃO:

Os testes relacionados à absorção de água são muito importantes, visto que o ensaio é determinante para classificação do revestimento, por exemplo, em porcelanato ou outra classe.

Neste estudo foram avaliadas algumas variáveis, incluindo o tempo de imersão das amostras em água, o tempo das amostras fora da água e a pressão de vácuo. Os resultados forneceram análises valiosas sobre a absorção de água em produtos cerâmicos, seguindo as diretrizes da NBR ISO 10545-3 [1].

A análise do tempo de imersão revelou que, em geral, um aumento no tempo de imersão resultou em uma maior absorção de água nas amostras, como também documentado por Vieira et al.[22].

No entanto, foi observado que o produto A, que já possuía baixa absorção de água, manteve-se consistentemente abaixo dos limites estabelecidos pela norma em todos os tempos de imersão.

Os produtos B, C, D e E, por outro lado, ficaram acima dos limites em tempos de imersão mais longos. Conclui-se, portanto, que as amostras não atingem saturação em 15 min de imersão e que quanto mais tempo estão em contato com a água maior será a absorção de água do produto.

Em relação ao tempo fora da água, os resultados mostraram que a absorção de água diminui à medida que o tempo avança devido à evaporação da água dos poros do produto. No entanto, essa diminuição na absorção de água foi sutil, com inclinações de retas relativamente pequenas.

Os testes de pressão de vácuo revelaram que o produto A não apresentou diferença significativa na absorção de água entre as pressões de 11 e 16 kPa. Por outro lado, os produtos B, C, D e E mostraram um aumento na absorção de água à medida que a pressão no equipamento diminuía. Isso pode ser explicado pela extração de ar dos poros dos corpos-de-prova com a diminuição da pressão de vácuo, tornando mais fácil para a água ocupar esses poros.

As equações de regressão linear forneceram uma representação satisfatória dos pontos experimentais, com valores de R^2 indicando que as equações eram adequadas para análise. No entanto, é importante notar que a interpretação dos resultados deve levar em consideração a natureza complexa da absorção de água em produtos cerâmicos e as interações entre as variáveis em jogo. Portanto, uma compreensão mais aprofundada dessas relações é fundamental para avaliar e otimizar a absorção de água em produtos cerâmicos.

Em resumo, ao considerar todas as variáveis estudadas, a pressão de vácuo empregada nos testes aparentou ter a menor influência no resultado final. Além disso, é crucial destacar que negligenciar o tempo de imersão de um produto na água pode levar à sua desclassificação. Portanto, a gestão adequada do tempo de imersão é um fator crítico na garantia da confiabilidade do ensaio.

AGRADECIMENTOS:

Os autores agradecem à UNESCO, ao i-parque, e a Mohawk Brasil pela infraestrutura e apoio para realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS:

- [1] ABNT NBR 10545 Parte 3, 2020. Determinação da absorção de água, porosidade aparente, densidade relativa aparente e densidade aparente. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [2] Callister Junior W D, 2002. Ciência e engenharia de materiais: Uma introdução. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC.
- [3] Pinter Junior J, 2020. Estudo da variação dimensional de porcelanato esmaltado de grande formato. Florianópolis: Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina.
- [4] Novaes A P, Hotza D, 2010. Tecnologia de fabricação de revestimentos cerâmicos. Florianópolis: UFSC.
- [5] ANFACER, 2023. Números do setor cerâmico. Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres. <https://www.anfacer.org.br/setor-ceramico/numeros-do-setor>
- [6] Monte M V R C, 2008. Avaliação de engobes no aparecimento da mancha d'água em revestimentos cerâmicos. São Paulo: Tecnologia Nuclear, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares.
- [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, 118–125.
- [8] Fernandes P F, 2002. Reaproveitamento do lodo da estação de tratamento de efluentes de uma indústria cerâmica. Florianópolis: Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina.
- [9] ANFACER, 2023. Guia de assentamento de revestimento cerâmico. Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres. www.anfacer.org
- [10] Melchiades F G, Romachelli J C, Boschi A O, 2003. A mancha d'água de revestimentos cerâmicos: Defeito ou característica? Cerâmica Industrial 7-10.

-
- [11] Contartesi F, Melchiades F G, Boschi A O, 2019. Anticipated overfiring in porcelain tiles: Effects of the firing cycle and green bulk density. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio* 58, 59-76. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2018.07.001>
- [12] Pinter Junior J, Zaccaron A, Arcaro S, Neto J B R, De Noni Junior A, Pereira F R, 2022. Novel approach to ensure the dimensional stability of large-format enameled porcelain stoneware tiles through water absorption control. *Open Ceram* 9, 100203. <https://doi.org/10.1016/j.oceram.2021.100203>
- [13] ABNT NBR 13006, 2020. Definições, classificação, características e marcação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [14] Vieira A W, 2016. Comparação entre métodos para determinação da absorção de água em placas cerâmicas de revestimento. Porcelanato. Criciúma: Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade do Extremo Sul Catarinense.
- [15] Arantes F J S, Galesi D F, Quinteiro E, Boschi A O, 2001. O manchamento e a porosidade fechada de grês porcelanato. *Cerâmica Industrial* 6, 3, 18-25.
- [16] Alves H J, Melchiades F G, Boschi A O, 2012. Effect of feldspar particle size on the porous microstructure and stain resistance of polished porcelain tiles. *Journal of The European Ceramic Society* 32, 10, 2095-2102.
- [17] Alves H J, Melchiades F G, Freitas M R, Boschi A O, 2009. Porosidade susceptível ao manchamento em porcelanato polido. *Cerâmica Industrial* 14, 1, 21-26.
- [18] Ambrosi M, Santoni S, Giorgi R, Fratini E, Toccafondi N, Baglioni P, 2014. High-performance and anti-stain coating for porcelain stoneware tiles based on nanostructured zirconium compounds. *Journal of Colloid and Interface Science* 432, 117-127. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcis.2014.07.002>.
- [19] Martín-Márquez J, Rincón J M, Romero M, 2012. Effect of molding pressure on microstructure and technological properties of porcelain stoneware. *Ceramics International* 38, 8, 317-325.
- [20] Carbajal L, Rubio-Marcos F, Bengochea M A, Fernandez J F, 2007. Properties related phase evolution in porcelain ceramics. *Journal of the European Ceramic Society* 27, 13-15, 4065-4069. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2007.02.096>.
- [21] Magalhães M, Contartesi F, Conserva L R S, Melchiades F G, Boschi A O, 2014 Efeitos do ciclo de queima sobre as temperaturas de mínima absorção de água e máxima densificação de porcelanatos. *Cerâmica Industrial* 20-25.
- [22] Vieira A W, Innocentini M D M, Mendes E, Gomes T, Demarch A, Montedo O R K, Angioletto E, 2017. Comparison of methods for determining the water absorption of glazed porcelain stoneware ceramic tiles. *Materials Research* 20, 2, 637-643. <http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2017-0089>