



AValiação DAS PROPRIEDADES MECâNICAS E DE ABSORÇÃO DE ÁGUA DE ARGAMASSAS COM ADIÇÃO DE DIÓXIDO DE TITÂNIO

Tema: Inovação em argamassas e revestimentos.

Grupo¹: 2

AYA HATORI¹, CAROLINE GIORDANI², ROBERTA P. CASARIN³, FERNANDA L. GUERRA⁴,
ANGELA B. MASUERO⁵

¹Graduanda, EE – Universidade Federal Rio Grande do Sul/UFRGS, hatoriayaa@gmail.com

²Doutoranda, PPGCI – Universidade Federal Rio Grande do Sul/UFRGS, giordani.carol@gmail.com

³Doutoranda, PPGCI – Universidade Federal Rio Grande do Sul/UFRGS, robertapcasarin@gmail.com

⁴Pósdoc, PPGCI – Universidade Federal Rio Grande do Sul/UFRGS, f.lamegoguerra@gmail.com

⁵Prof^a. Dr^a, PPGCI – Universidade Federal Rio Grande do Sul/UFRGS, angela.masuero@ufrgs.br

RESUMO

Este trabalho avaliou argamassas de revestimento de cimento branco, com traço 1:6,8 (cimento:areia, em massa) e adição de teores de 0% (referência), 5% e 10% de dióxido de titânio, quanto às propriedades no estado fresco e endurecido (mecânicas e de absorção de água). Verificou-se que a incorporação do fotocatalisador resulta em uma maior demanda de água para manutenção da trabalhabilidade. Assim, as consequentes diferenças da relação água/aglomerante para diferentes adições de TiO₂ resultaram em alterações nos ensaios do estado endurecido, tais como maiores resistências à compressão e à tração na flexão para as argamassas com adição de 5% do fotocatalisador.

Palavras-chave: dióxido de titânio, materiais fotocatalíticos, argamassa, resistência mecânica, absorção de água.

ANALYSIS OF MECHANICAL PROPERTIES AND WATER ABSORPTION OF PLASTERS WITH ADDED TITANIUM DIOXIDE

ABSTRACT

This work evaluated white Portland cement coating mortars, with a proportion in mass 1:6.8 (cement: sand) and addition of 0% (reference), 5% and 10% of titanium dioxide, regarding the properties in the fresh and hardened state. It was possible to verify that the incorporation of the photocatalyst results in a greater demand for water to maintain workability in the fresh state. Thus, the consequent differences in the water/binder ratio for different additions of TiO₂ resulted in alterations in the tests of the hardened state, such as higher compressive and flexural strengths for mortars with addition of 5% of the photocatalyst.

Key-words: titanium dioxide, photocatalytic materials, mortar, mechanical strength, water absorption.

¹ **Grupo 1:** Oriundos de teses, dissertações e relatórios finais de projetos de pesquisa; ou **Grupo 2:** oriundos de disciplinas de pós graduação, iniciação científica, trabalhos de conclusão de curso (TCC), pesquisas aplicadas e outros.

1. INTRODUÇÃO

A poluição industrial em grandes centros urbanos é um problema para a conservação das edificações e, atualmente, exige alternativas de menor custo, viáveis e sustentáveis, que auxiliem na durabilidade dos revestimentos. Um método para prevenir a sujidade decorrente da fuligem, poeira e agentes biológicos associados à umidade presente no ar e das chuvas é a incorporação do fotocatalisador dióxido de titânio (TiO_2) nas argamassas de revestimento. O TiO_2 é o semiconductor fotocatalítico mais estudado recentemente, com destaque na área de purificação ambiental e renovação de energia⁽¹⁾. Com ativação pelos raios ultravioletas e posterior ação da água de lavagem, o produto reage quimicamente, formando compostos que degradam os agentes poluentes que estão aderidos às fachadas das edificações, resultando na autolimpeza dos revestimentos⁽²⁾. O principal objetivo deste trabalho é avaliar argamassas de revestimento com adição do fotocatalisador, quanto às propriedades mecânicas e quanto à absorção de água, para futuras análises de desempenho do sistema de vedação vertical. Com este estudo espera-se verificar, comparativamente, o quanto as principais propriedades da argamassa de cimento branco serão alteradas com a adição do fotocatalisador, reconhecido por seu potencial autolimpante.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Na pesquisa foram utilizados os materiais cimento Portland branco (massa específica $3,06\text{g}/\text{cm}^3$ e massa unitária $0,7135\text{g}/\text{cm}^3$), areia quartzosa de rio seca (massa específica de $2,49\text{g}/\text{cm}^3$ e massa unitária de $1,608\text{g}/\text{cm}^3$) e dióxido de titânio nanométrico (AEROXIDE® TiO_2 P25, com massa específica de $4,18\text{g}/\text{cm}^3$ ⁽³⁾, densidade compactada de $130\text{g}/\text{L}$ e área específica superficial de $35\text{-}65\text{m}^2/\text{g}$).

As argamassas foram definidas com o traço 1:3 (cimento: areia, em volume), convertidos para 1:6,8 (cimento:areia, em massa). A adição de TiO_2 em pó ocorreu com os teores de 0% (referência), 5% e 10%, calculados sobre a massa de cimento.

A homogeneização dos materiais secos (cimento e areia) ocorreu em misturador de eixo vertical, por 1 minuto. O TiO_2 foi misturado mecanicamente com a parte da água de mistura pelos seguintes tempos: 7 minutos e 10 segundos tempo na moldagem de referência; 9 minutos e 10 segundos na moldagem com teor de 5%; e por 12 minutos e 10 segundos na moldagem de 10%, suspensão esta que foi adicionada aos materiais secos. Após período de mistura, a relação água/aglomerante foi corrigida para cada um dos traços, com o objetivo de atingir um índice de consistência de $280 \pm 20\text{mm}$, ensaio realizado por duas vezes para cada argamassa, conforme NBR 13276⁽⁴⁾. Ainda no estado fresco, as argamassas foram avaliadas, também em duplicata, quanto à penetração de cone, ensaio adaptado da ASTM C780⁽⁵⁾, e quanto à densidade de massa, segundo NBR 13278⁽⁶⁾.

Para cada uma das três argamassas, foram moldados e curados 9 corpos-de-prova prismáticos ($4\text{x}4\text{x}16\text{cm}$) para os ensaios no estado endurecido, conforme NBR 13279⁽⁷⁾. Aos 28 dias, as 9 amostras foram ensaiadas no estado endurecido para determinação da densidade de massa com umidade de 60% (após cura), conforme NBR 13280⁽⁸⁾. Destas, 3 amostras seguiram para avaliação quanto ao módulo de elasticidade dinâmico (NBR 15630⁽⁹⁾), resistência à tração na



flexão e resistência à compressão (NBR 13279⁽⁷⁾). Outros 3 corpos-de-prova foram secos em estufa até constância de massa e seguiram para o ensaio de absorção de água por capilaridade, segundo adaptação da ²NBR 15259⁽¹⁰⁾. As 3 amostras restantes foram submetidas ao ensaio de absorção total, conforme NBR 9778⁽¹¹⁾.

Para todas as análises com mais de dois resultados, foram calculadas a média e o desvio padrão. Os ensaios com mais de 3 resultados foram avaliados no *software* Statistica 8.0, através da análise de variância (ANOVA) com 95% de confiança, e comparando-se as médias pelo método da diferença mínima significativa de Fisher.

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O teor de água dosado (Figura 1a) apresenta-se similar entre as argamassas com 0% e 5% de TiO₂, enquanto foi necessário um valor mais elevado para a argamassa com 10%. O índice de consistência resultou na faixa definida (280±20mm), porém, verifica-se a queda deste fator com o acréscimo de TiO₂. Com estes dois resultados, pode-se realizar três análises comparativas. Ao manter-se o teor de água e adicionar TiO₂ (teores de 0% e 5%), ocorreu leve redução do índice de consistência. Ao comparar-se 0% com 10%, mesmo com o aumento do teor de água, a trabalhabilidade apresentou-se menor. Por fim, ao comparar-se 5% e 10%, onde ocorreu aumento do teor de água e, mesmo assim, houve redução do índice de consistência. Desta forma, pôde-se identificar que a incorporação do fotocatalisador resulta em uma maior demanda de água para manutenção da trabalhabilidade.

Com relação à penetração de cone (Figura 1c), os resultados com 0% e 10% de TiO₂ mostraram-se semelhantes, enquanto o resultado com 5% foi o menor dos três. O comportamento pode ser explicado devido à manutenção da quantidade de água entre 0% e 5% de TiO₂, o que pode ter ocasionado menor trabalhabilidade do material; e devido ao aumento do teor de água adicionado nas argamassas com 10% do fotocatalisador, ocasionando uma melhor dispersão das partículas. É importante observar, portanto, que nem sempre a penetração de cone corresponde diretamente ao resultado de índice de consistência.

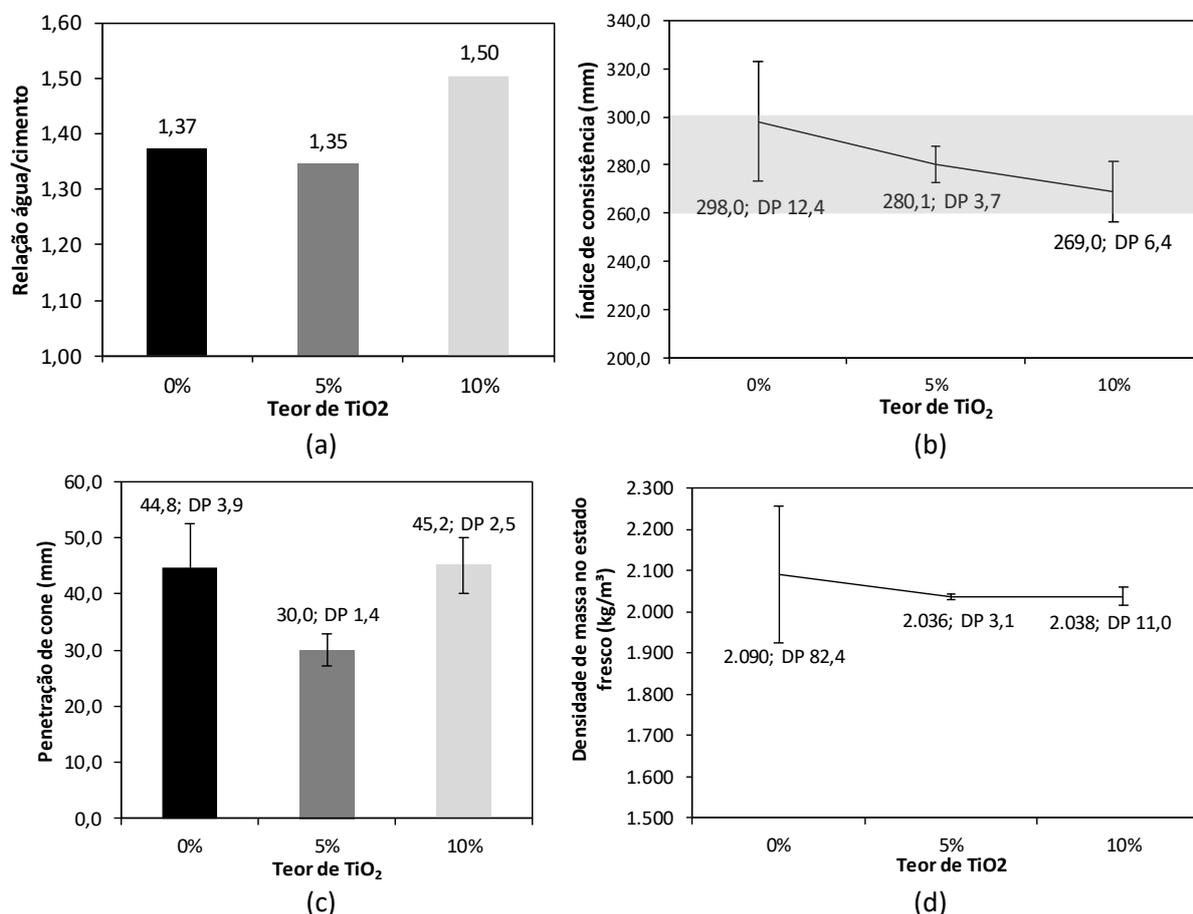
A densidade de massa no estado fresco resultou semelhante para as argamassas com 5% e 10% de TiO₂. Para a mistura sem o fotocatalisador, devido à realização de apenas dois ensaios por mistura, resultantes em 2.032,05 kg/m³ e 2.148,55 kg/m³, a média de 2.090,30 kg/m³ apresentou um elevado desvio padrão, de 82,4. O primeiro dos valores apresentados estaria coerente com as demais argamassas avaliadas. Mesmo com esta variação, as três argamassas podem ser classificadas como D5 (1.800 a 2.200 kg/m³) ou D6 (acima de 2.000 kg/m³), segundo a ³NBR 13281⁽¹²⁾.

Conforme Casarin⁽¹³⁾, a argamassa com 0% de TiO₂ também obteve o maior valor de densidade de massa no estado fresco, em contrapartida, argamassas com 5% e 10% apresentaram redução na média dos resultados do ensaio.

² NBR 15259: ensaio não realizado de acordo com a norma atualizada de 2023, pois foi realizado em 2019; ³ NBR 13281: classificação não realizada de acordo com a norma atualizada de 2023, pois os ensaios foram realizados em 2019.



Figura 1 – Avaliação das argamassas no estado fresco: (a) relação água/cimento dosada; (b) índice de consistência; (c) penetração de cone; (d) densidade de massa

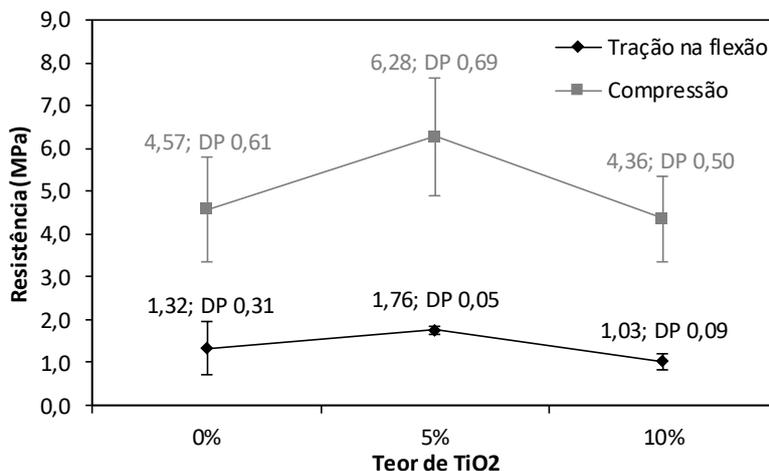


Fonte: autoras

No estado endurecido, as resistências à tração na flexão e à compressão (Figura 2). apresentaram diferença por ANOVA ($p=0,0091$ e $p=0,0001$, respectivamente). Em ambos os casos, analisando por Fisher, as argamassas com 0% e 10% de TiO₂ podem ser consideradas estatisticamente iguais (tração na flexão, $p=0,1057$; e compressão, $p=0,5537$). Já a argamassa com 5% do fotocatalisador apresentou-se diferente das demais, tanto na tração à flexão (comparando-se com 0%, $p=0,0300$, e com 10%, $p=0,0032$), quanto na compressão (em relação à 0%, $p=0,0002$, e à 10%, $p=0,0001$). Observa-se, portanto, que um teor semelhante da relação água/aglomerante com a adição de 5% de TiO₂ proporcionou aumento da resistência do material de referência. Esse comportamento pode estar relacionado a menor relação água/aglomerante para esta composição e ao empacotamento dos grãos, e já foi observado no trabalho de Casarin⁽¹³⁾, que utilizou o mesmo fotocatalisador em argamassas e observou resistências à compressão mais elevadas naquelas com 5% de adição quando em comparação com às de referência e com 10% de adição. Além disso, o acréscimo de 10% do fotocatalisador, além do aumento do teor de água, ocasionou manutenção da resistência da argamassa padrão. Embora sejam evidenciadas as diferenças, a ³NBR 13281⁽¹²⁾ classifica a todas de forma igual, como R2 (1,0 a 2,0 MPa de tração na flexão) e P4 (4,0 a 6,5 MPa de compressão).



Figura 2 – Resistência à tração na flexão e à compressão



Fonte: autoras

O módulo de elasticidade dinâmico (Figura 3a) apresentou comportamento semelhante ao das resistências. A ANOVA apontou diferença significativa entre os resultados ($p = 0,0015$), porém, para este caso, todas as três argamassas apresentaram-se diferentes por Fisher (na comparação entre 0% e 5%, $p = 0,0069$; 0% e 10%, $p = 0,0329$; 5% e 10%, $p = 0,0005$). A elevação deste fator para a argamassa com 5% de TiO₂ pode ser explicada tanto devido ao teor de água mantido semelhante à argamassa de referência, quanto pela adição do fotocatalisador, sendo este um particulado nanométrico que pode ter densificado a matriz cimentícia. Por outro lado, embora tenha existido a adição de 10% de TiO₂, a concomitante adição de água na mistura deste trabalho impactou na redução do módulo de elasticidade dinâmico da argamassa, provavelmente devido a um aumento da porosidade que não pôde ser compensada pelo material adicionado. Na pesquisa de Casarin⁽¹³⁾, a argamassa de 5% também apresentou uma elevação nos resultados médios do módulo de elasticidade em comparação as argamassas de 0% e 10%.

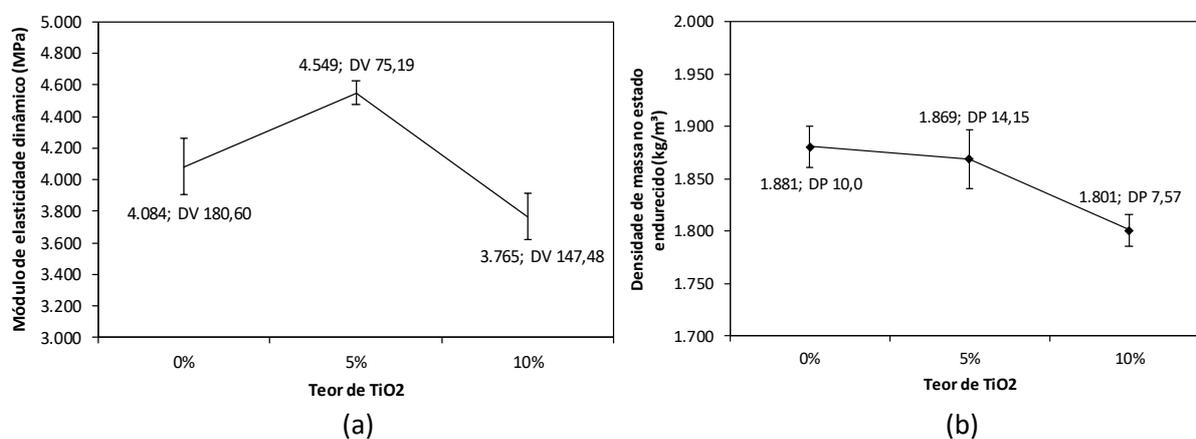
A ANOVA da densidade de massa no estado endurecido (Figura 3b) das argamassas também resultou em diferença ($p = 0,0000$), sendo significativa entre todas elas, quando comparadas por Fisher (0% e 5%, $p = 0,0288$; 0% e 10%, $p = 0,0000$; 5% e 10%, $p = 0,0000$). Observa-se que a densidade de massa foi influenciada pela relação água/aglomerante, de forma inversa. De acordo com Casarin⁽¹³⁾ que utilizou um traço 1:6 em massa, os valores de densidade tiveram uma média de 1.927,17, valor superior ao encontrado neste trabalho, que utilizou traço de 1:6,8 em massa e obteve média de 1.850,16.

Desta maneira, argamassas com menor teor de água (0% e 5%) obtiveram maior densidade. Conforme a ³NBR 13281⁽¹²⁾ todas as misturas podem ser classificadas como M5 (1.600 a 2.000 kg/m³) ou M6 (acima de 1.800 kg/m³). Esses resultados são coerentes com os de outro estudo que analisou os mesmos três teores de adição do Aerioxide P25 TiO₂ em argamassas pigmentadas, resultando em uma diferença estatisticamente significativa para as três adições na densidade de massa no estado endurecido – sendo este resultado também menor quanto a maior adição do fotocatalisador, conforme Bersch⁽³⁾.



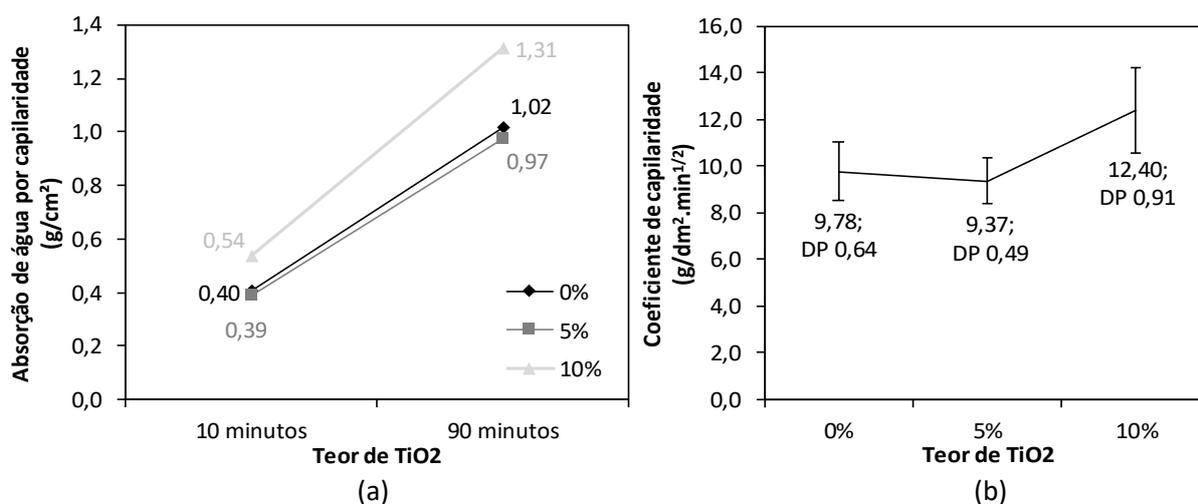
Na Figura 4, verifica-se que as argamassas com menor absorção de água ao longo do tempo e menor coeficiente de capilaridade foram aquelas com menores relações água/aglomerante (com 0% e 5% de TiO_2), indicando uma relação direta com este fator. A ANOVA identificou diferença entre os coeficientes de capilaridade ($p = 0,0036$), e a análise por Fisher apontou que a argamassa com 10% de TiO_2 é diferente das demais (entre 0% e 5%, $p = 0,4963$; 0% e 10%, $p = 0,0038$; 5% e 10%, $p = 0,0018$). Com relação à classificação pela $^3NBR 13281^{(12)}$, as argamassas com 0% e 5% do fotocatalisador são definidas como C5 (5,0 a 12,0 $g/dm^2 \cdot min^{1/2}$) e aquela com 10%, como C6 (maior que 10 $g/dm^2 \cdot min^{1/2}$). Os resultados ficaram entre 0,3 e 1,5 g/cm^2 , assim como no trabalho de Casarin⁽¹³⁾.

Figura 3 – Módulo de elasticidade dinâmico e densidade de massa no estado endurecido



Fonte: autoras

Figura 4 – Absorção de água ao longo do tempo e coeficiente de capilaridade



Fonte: autoras

O ensaio de absorção total ($p = 0,0000$) e de índice de vazios ($p = 0,0018$) apresentaram valores crescentes com o aumento do teor de TiO_2 na amostra, de forma significativa pela ANOVA, enquanto que os resultados de massa específica da amostra seca ($p = 0,0147$), saturada ($p =$

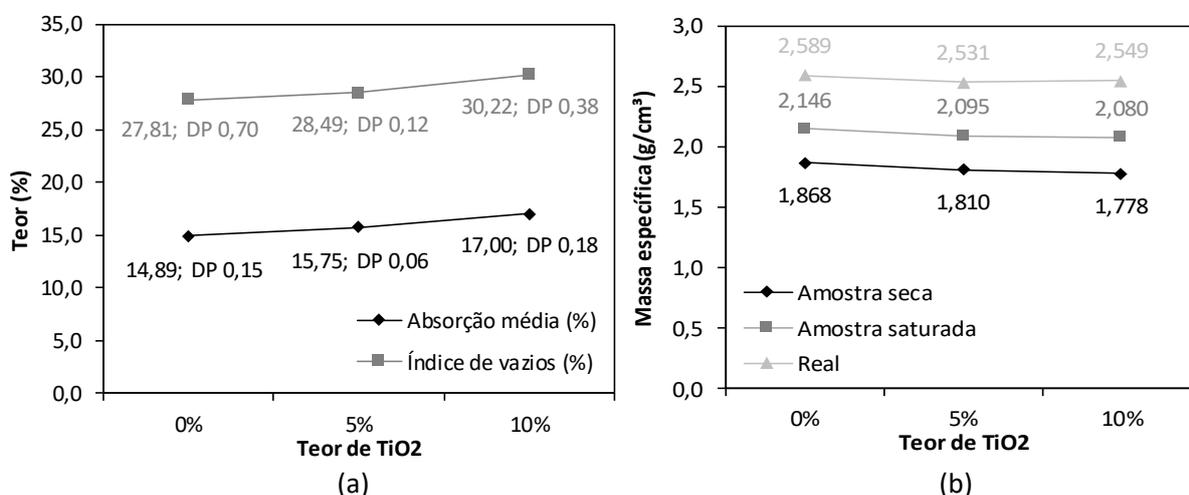


0,0782) e real ($p = 0,4187$) foram decrescentes, porém nem sempre de evidenciada de forma significativa pela ANOVA (Figura 5).

Quanto à absorção total, por Fisher, todas as argamassas apresentaram-se diferentes (0% e 5%, $p = 0,0003$; 0% e 10%, $p = 0,0000$; 5% e 10%, $p = 0,0000$), porém, o índice de vazios foi considerado diferente apenas para a argamassa com 10% de TiO_2 (0% e 5%, $p = 0,1227$; 0% e 10%, $p = 0,0007$; 5% e 10%, $p = 0,0038$). Os resultados podem ser explicados tanto pela relação água/cimento, que influencia na porosidade do material, quanto por questões relacionadas ao procedimento de dosagem, como os tempos totais de mistura, cujo aumento pode ter incorporado mais ar à argamassa, os quais foram de 7:10min, 9:10min e 12:10min para os teores de 0%, 5% e 10% do fotocatalisador, respectivamente.

Por fim, verificou-se que a densidade real das argamassas é considerada igual pelo teste de Fisher (0% e 5%, $p = 0,2147$; 0% e 10%, $p = 0,3734$; 5% e 10%, $p = 0,6851$), o que pode ser explicado pelo igual teor de materiais secos utilizado nas argamassas, com pequenas quantidade de adição de TiO_2 em massa em relação à quantidade de cimento, o qual constitui um material nanoparticulado, capaz de se distribuir entre as partículas da matriz. Desta maneira, este material parece não interferir de forma a modificar significativamente a massa específica da argamassa de referência.

Figura 5 – Absorção total, índice de vazios e massa específica da amostra seca, saturada e real



Fonte: autoras

4. CONCLUSÕES

Este estudo verificou, comparativamente, o quanto as principais propriedades da argamassa de cimento branco podem ser alteradas com a adição do fotocatalisador TiO_2 , reconhecido por seu potencial autolimpante. Fixou-se o índice de consistência das argamassas para os diferentes teores de TiO_2 . Desta forma, notou-se que a incorporação do fotocatalisador resultou em uma maior demanda de água para manutenção da trabalhabilidade.

O ensaio de penetração de cone mostrou que nem sempre há uma correspondência direta com o índice de consistência, visto que as argamassas com teores de 0% e 10% de TiO_2



apresentaram resultados semelhantes entre si, já a argamassa com 5%, com mesma relação água/aglomerante que a de 0%, apresentou o menor resultado entre os três teores.

Quanto às análises de resistência mecânica, observou-se que, comparado à argamassa de referência (0% de TiO_2), um teor semelhante da relação água/aglomerante com a adição de 5% de TiO_2 proporcionou aumento da resistência do material, tanto à tração na flexão, quanto à compressão. Quanto ao módulo de elasticidade estático, verificou-se o comportamento semelhante, com a elevação do resultado da argamassa com teor de 5%, comparada à 0% e 10%.

Com relação à avaliação da absorção de água por capilaridade, as amostras com menores teores, e, portanto, com menor relação água/aglomerante, apresentaram os menores resultados, correspondendo ao aumento da porosidade pela adição de água na mistura, o que não pôde ser compensado pelo material adicionado.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos órgãos de fomento CAPES e CNPq pelas bolsas de Iniciação Científica, Doutorado e Pós-Doutorado, recebidas durante o período deste trabalho; ao PPGCI/UFRGS, Programa de Pós-Graduação das alunas e da professora orientadora; e ao LAMTAC/NORIE, laboratório onde foram realizadas as atividades.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. HOSSEN, M. A.; SOLAYMAN, H.M.; LEONG, K. H.; SIM, L. C.; YAACOF, N.; AZIZ, A. A.; WU, L.; MONIR, M. U. Recent progress in TiO_2 -Based photocatalysts for conversion of CO_2 to hydrocarbon fuels: A systematic review. Volume 16, 100795, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100795>.
2. FUJISHIMA, A.; ZHANG, X.; TRYK, D. A. TiO_2 photocatalysis and related surface phenomena. Surface Science Reports. V. 63, p. 515-582, 2008.
3. BERSCH, J. D. Atividade fotocatalítica, autolimpeza e durabilidade do ponto de vista de envelhecimento de argamassas pigmentadas contendo dióxido de titânio (TiO_2). 333 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276: Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
5. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. C780: Standard Test Method for Preconstruction and Construction Evaluation of Mortars for Plain and Reinforced Unit Masonry. West Conshohocken, PA, USA, ASTM, 2012
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13278: Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279: Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13280: Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15630: Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15259: Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281: Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.



3 a 5
Outubro
2023

João
Pessoa-PB
Centro de Convenções
Ronaldo Cunha Lima



13. CASARIN, R. P. Análise da eficiência da ação autolimpante em diferentes tipos de acabamentos superficiais de argamassas com adição de TiO_2 . 2019. 223 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

Promoção:



GT
ARGAMASSAS

Realização:



Apoio institucional:

