

Influência do dióxido de titânio (TiO_2) na autolimpeza das argamassas

Influence of titanium dioxide (TiO_2) on the self-cleaning of mortars

Livia Ribeiro(1); Francieli Tiecher Bonsembiante(2)

1 Graduada em Arquitetura e Urbanismo, Escola Politécnica – Universidade Atitus.

E-mail: liviaaribeiro2003@gmail.com

2 Pós-Doutora em Engenharia Civil, Professora da Escola Politécnica da Universidade Atitus.

E-mail: francieli.bonsembiante@atitus.edu.br | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5411-9299>

Revista de Arquitetura IMED, Passo Fundo, vol. 15, n. 1, p. 172-186, janeiro-junho, 2026 - ISSN 2318-1109

DOI: <https://doi.org/10.18256/2318-1109.2026.v15i1.5341>

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Resumo

A crescente degradação estética das fachadas urbanas, decorrente do acúmulo de poluentes atmosféricos e microrganismos, tem impulsionado o desenvolvimento de materiais com propriedades autolimpantes, visando reduzir custos de manutenção e aumentar a durabilidade das edificações. Nesse contexto, o dióxido de titânio (TiO_2) destaca-se como um material fotocatalítico promissor devido à sua elevada estabilidade química, baixo custo e capacidade de degradação de compostos orgânicos sob radiação ultravioleta. Este estudo teve como objetivo avaliar a influência da incorporação de diferentes teores de TiO_2 na capacidade de autolimpeza e na resistência à compressão de argamassas de revestimento produzidas com cimento branco estrutural. Foram produzidas quatro composições de argamassa, contendo 0%, 5%, 15% e 25% de TiO_2 , utilizando traço 1:5 (cimento branco:areia) e relação água/cimento de 0,8. Inicialmente, avaliou-se o comportamento das misturas no estado fresco por meio do ensaio de consistência. Posteriormente, realizaram-se ensaios de resistência à compressão aos 28 dias e análises da eficiência autolimpante, por meio do manchamento das amostras com azul de metileno, seguido de exposição ao intemperismo natural, durante 56 dias. A autolimpeza foi monitorada por meio de registros fotográficos e de análises colorimétricas utilizando espectrofotometria no sistema CIE Lab*. Os resultados demonstraram que o aumento do teor de TiO_2 reduziu a consistência das argamassas, porém promoveu incremento na resistência à compressão, especialmente para os teores de 15% e 25%. Quanto ao desempenho autolimpante, verificou-se que as argamassas contendo TiO_2 apresentaram maior clareamento ao longo do tempo em comparação à amostra de referência. O teor de 15% apresentou o melhor desempenho fotocatalítico, evidenciado pelos maiores valores de luminosidade (L^*), enquanto a composição com 25% indicou possível saturação das partículas fotocatalíticas.

Palavras-chave: Dióxido de Titânio; Fotocatálise; Argamassa Autolimpante; Cimento Branco; Sustentabilidade.

Abstract

The increasing aesthetic degradation of urban façades, resulting from the accumulation of atmospheric pollutants and microorganisms, has driven the development of materials with self-cleaning properties aimed at reducing maintenance costs and increasing the durability of buildings. In this context, titanium dioxide (TiO_2) stands out as a promising photocatalytic material due to its high chemical stability, low cost, and ability to degrade organic compounds under ultraviolet radiation. This study aimed to evaluate the influence of incorporating different TiO_2 contents on the self-cleaning capacity and compressive strength of rendering mortars produced with structural white cement. Four mortar compositions containing 0%, 5%, 15%, and 25% TiO_2 were produced using a 1:5 mix proportion (white cement:sand) and a water-to-cement ratio of 0.8. Initially, the behavior of the mixtures in the fresh state was assessed through the consistency test. Subsequently, compressive strength tests were performed at 28 days, and self-cleaning efficiency was evaluated by staining the specimens with methylene blue, followed by exposure to natural weathering for 56 days. The self-cleaning performance was monitored through photographic records and colorimetric analyses using spectrophotometry based on the CIE Lab* color system. The results showed that increasing the TiO_2 content reduced the consistency of the mortars but improved their compressive strength, particularly for the mixtures containing 15% and 25% TiO_2 . Regarding self-cleaning performance, mortars containing TiO_2 exhibited greater discoloration over time compared with the reference sample. The mixture containing 15% TiO_2 showed the best photocatalytic

performance, evidenced by the highest luminosity (L^*) values, whereas the composition with 25% TiO_2 indicated possible saturation of the photocatalytic particles.

Keywords: Titanium Dioxide; Photocatalysis; Self-Cleaning Mortar; White Cement; Sustainability.

1 Introdução

A degradação estética e funcional das fachadas das edificações é uma problemática crescente nos centros urbanos, intensificada pelo acúmulo de poeira, poluentes atmosféricos e microrganismos. Este processo compromete a durabilidade dos materiais e a aparência visual das construções, exigindo ações de manutenção frequentes e onerosas ao longo da vida útil da edificação (Austria, 2015). A poluição atmosférica, proveniente de atividades industriais e emissões veiculares contribui para o escurecimento e o manchamento das superfícies, afetando a edificação e o ambiente urbano (Oliveira, 2024).

Nesse contexto, os materiais fotocatalíticos emergem como alternativas sustentáveis, capazes de mitigar os efeitos da poluição e reduzir a necessidade de limpeza constante das fachadas. Dentre os materiais fotocatalíticos está o dióxido de titânio (TiO_2), que tem se destacado por sua elevada eficiência fotocatalítica, estabilidade química, baixo custo e não toxicidade (Teles et al., 2025). Quando ativado por radiação ultravioleta (UV), o TiO_2 gera radicais livres que promovem a degradação de compostos orgânicos que se depositam ou se desenvolvem, conferindo características autolimpantes às superfícies e revestimentos (Treviso, 2016).

A aplicação do TiO_2 pode ocorrer de diversas maneiras, sendo as mais comuns a incorporação direta na matriz da argamassa e a aplicação superficial, via aspersão ou pintura (Oliveira, 2024). A eficiência do processo está diretamente relacionada à forma de aplicação, à orientação solar da edificação, ao grau de intemperismo e à exposição ao microclima urbano (Treviso, 2016; Bersch, 2021). Estudos apontam que a exposição natural ao sol e à chuva pode potencializar o efeito autolimpante, sobretudo em fachadas voltadas para as direções com maior incidência solar (Teles et al., 2025).

Apesar dos avanços nas pesquisas, ainda existem desafios quanto à otimização da concentração de TiO_2 nas misturas e o impacto de sua adição nas propriedades mecânicas e na trabalhabilidade das argamassas. Resultados divergentes são observados na literatura, especialmente quanto à resistência à compressão, absorção de água e índice de consistência (Austria, 2015; Oliveira, 2024). Estudos indicam que teores moderados de TiO_2 , entre 5% e 10%, podem apresentar ótimo desempenho na autolimpeza, embora a eficiência varie com o tipo de manchamento e a forma de avaliação (Bersch, 2021).

Adicionalmente, as pesquisas vêm explorando o uso de outros metais em conjunto com o TiO_2 , como a prata (Ag), os quais ampliam sua eficácia em ambientes

com menor incidência de UV (Wu et al., 2022). Contudo, essas soluções ainda carecem de padronização para uso em larga escala na construção civil.

Sob a ótica da estética e das possibilidades arquitetônicas, há alguns anos os projetistas têm optado, em algumas situações, pelo emprego de superfícies com textura/ aspecto natural, sem pintura, lançando mão do uso de cimento branco em concretos e argamassas aparentes. Tecnicamente o cimento branco atende aos requisitos exigidos, contudo, quando empregado nas superfícies normalmente surgem sujidades e manchas precocemente. Neste sentido, Kirchheimm (2003) afirma que o uso de materiais fotocatalíticos é fundamental ao se empregar cimento branco em matrizes cimentícias. Para exemplificar podem-se citar algumas obras que empregaram esse tipo de cimento, tais como Fundação Iberê Camargo em Porto Alegre, o Museu da Imagem e Som e o Museu do Amanhã no Rio de Janeiro.

Diante desse panorama, o presente trabalho tem como objetivo analisar a influência da incorporação de diferentes teores de dióxido de titânio (TiO_2) em argamassas de revestimento, compostas com cimento branco, quanto à sua capacidade de autolimpeza. Busca-se compreender a viabilidade técnica do uso desse material como solução sustentável para fachadas urbanas, avaliando seus efeitos nas propriedades estéticas e mecânicas da argamassa sob condições reais de exposição.

2 Método

O experimento planejado para este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho de argamassas com adição de dióxido de titânio (TiO_2) quanto à sua capacidade de autolimpeza e resistência à compressão. Para isso, foram preparadas quatro composições distintas de argamassas, variando a porcentagem de TiO_2 . O estudo foi conduzido em três etapas principais:

- ♦ Preparo das argamassas e avaliação no estado fresco;
- ♦ Avaliação da resistência à compressão;
- ♦ Avaliação da eficiência do TiO_2 em amostras manchadas.

2.1 Materiais

Nesse estudo, para produção das argamassas foi utilizado o cimento Portland branco estrutural CPB-40, da marca Axton, cujas características estão descritas na tabela 01 e foram obtidas a partir das informações do fabricante.

Tabela 01. Principais características do cimento

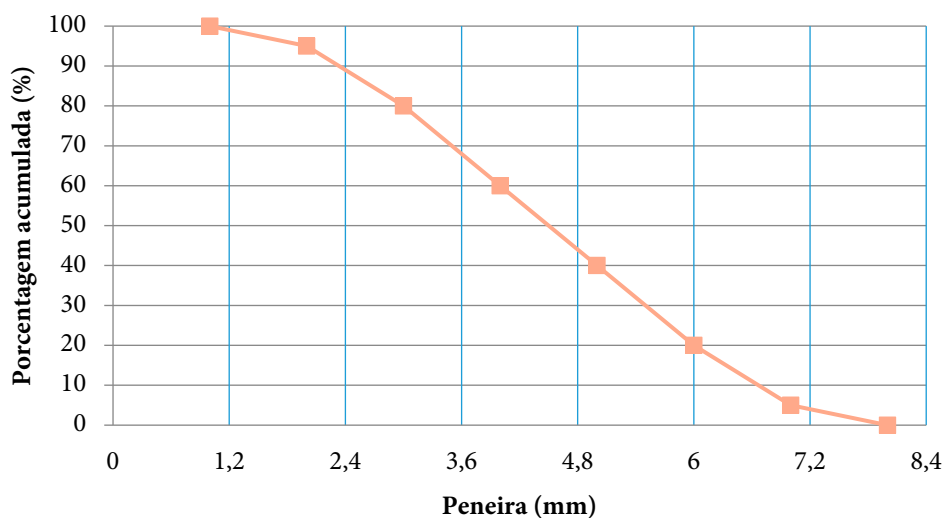
Perda ao fogo	≤5,0%
Resíduo insolúvel	≤5,0%
Teor de sulfatos (SO ₃)	≤4,0%
Teor de cloretos	≤0,1%
Início de pega	≤45 minutos
Expansibilidade	≤10 minutos
Resistência à compressão	2 dias > 37 MPa
	28 dias ≥ 60 MPa

Fonte: Fabricante

A areia empregada no estudo possui massa específica de 2,34 g/cm³ e massa unitária de 1,40 g/cm³. Sua composição granulométrica está apresentada na tabela 02 e a distribuição granulométrica da figura 01.

Tabela 02. Composição granulométrica da areia

Peneira (mm)	Porcentagem Acumulada
6,3	0%
4,8	1%
2,3	2%
1,2	4%
0,6	67%
0,3	70%
0,15	97%
< 0,15	100%
Módulo de finura:	1,78

Figura 01. Curva de distribuição granulométrica da areia

O dióxido de titânio testado nesta pesquisa é do tipo anatase e possui as características descritas na tabela 03, obtidas do fabricante.

Tabela 03. Certificado de análise dióxido de titânio (TiO_2)

Parâmetro	Resultado
Perda por Dessecação 105°C, 3H	0,35%
Perda por Ignição 800°C	0,39%
Substância Solúvel em Água	0,19%
Substância solúvel em ácido	0,32%
Metais Pesados (como PB)	4,23 ppm
Arsênio	0,57 ppm
Antimonio	0,51 ppm
Mercúrio	<0,010 ppm
Cádmio	<0,010 ppm
Zinco	16,95 ppm
Crômio	0,27 ppm
Al_2O_3 e/ ou SiO_2	0,02%
Pureza	99,03%
Chumbo	2,80 ppm
PH	7,2
Tamanho da partícula (D50)	0,45 μ
Cor B	0,31
Cor L	98,70%
Cobalto	<0,010 ppm
Níquel	<0,010 ppm
Ferro	22,10 ppm

Fonte: Fabricante

2.2 Produção das Argamassas

Para o desenvolvimento deste estudo foram produzidas misturas com traço 1:5 (cimento branco:areia, em massa) e relação água/cimento de 0,8. As misturas foram produzidas com 3 teores de TiO_2 sobre a massa de cimento (5%, 15% e 25%), também foi produzida uma argamassa de referência, sem o fotocatalítico.

O processo de mistura foi realizado com argamassadeira de bancada, tendo sido respeitada sempre a mesma ordem de colocação e tempo de mistura dos materiais, iniciando com cimento, TiO_2 e água, após foi inserida a areia. Os tempos de mistura foram os indicados na NBR 7215 (ABNT, 1996).

Após o preparo das argamassas, foi realizado o teste de consistência, de acordo com a NBR 13276 (ABNT, 2016) e, na sequência, foram moldados os corpos de prova (CPs), para posterior realização dos ensaios de resistência à compressão e, também,

as placas para avaliação da autolimpeza. Foram preparados 05 CPs para cada tipo de argamassa, com dimensão de 5x10 cm, totalizando 20 CPs, conforme ilustra a figura 2.



Figura 02: Moldagem dos corpos de prova (CPs)

A avaliação da autolimpeza foi feita a partir de placas de argamassa de dimensão (20 x 30 x 4) cm. Foi moldada 01 placa para cada teor de TiO_2 , totalizando 04 placas. A Figura 03 mostra as placas após a moldagem. O processo de moldagem das placas utilizadas na avaliação da autolimpeza seguiu as seguintes etapas:

1. Foram colocadas 03 camadas de argamassa, cada camada foi compactada com 20 golpes, com auxílio do soquete manual, garantindo uma boa distribuição da massa;
2. Após a moldagem, as placas permaneceram submersas por 28 dias.



Figura 03. Moldagem das placas

2.3 Métodos de avaliação

2.3.1 Ensaio de resistência à compressão

O ensaio para avaliar a resistência à compressão foi realizado a partir dos procedimentos descritos na NBR 13279 (ABNT, 2005), aos 28 dias, utilizando uma prensa hidráulica de compressão controlada, com velocidade de carregamento

constante. Foram ensaiados 5 CPs para cada teor de TiO_2 avaliado.

2.3.2 Avaliação da autolimpeza

A avaliação da autolimpeza das argamassas foi realizada utilizando-se das mesmas quatro composições avaliadas à compressão, porém em placas de argamassa, descritas no item 2.2.

As placas foram submetidas ao manchamento com azul de metileno. O procedimento para manchar as placas consistiu em deixá-las submersas, durante 24 horas, em uma solução contendo 450 ml de azul de metileno e 3000 ml de água.



Figura 04. Manchamento das amostras

Após o manchamento as argamassas foram expostas ao intemperismo natural, voltadas para o leste, na cidade de Passo Fundo, estado do Rio Grande do Sul, que possui microclima temperado e características subtropicais úmidas, durante 56 dias (figura 05).

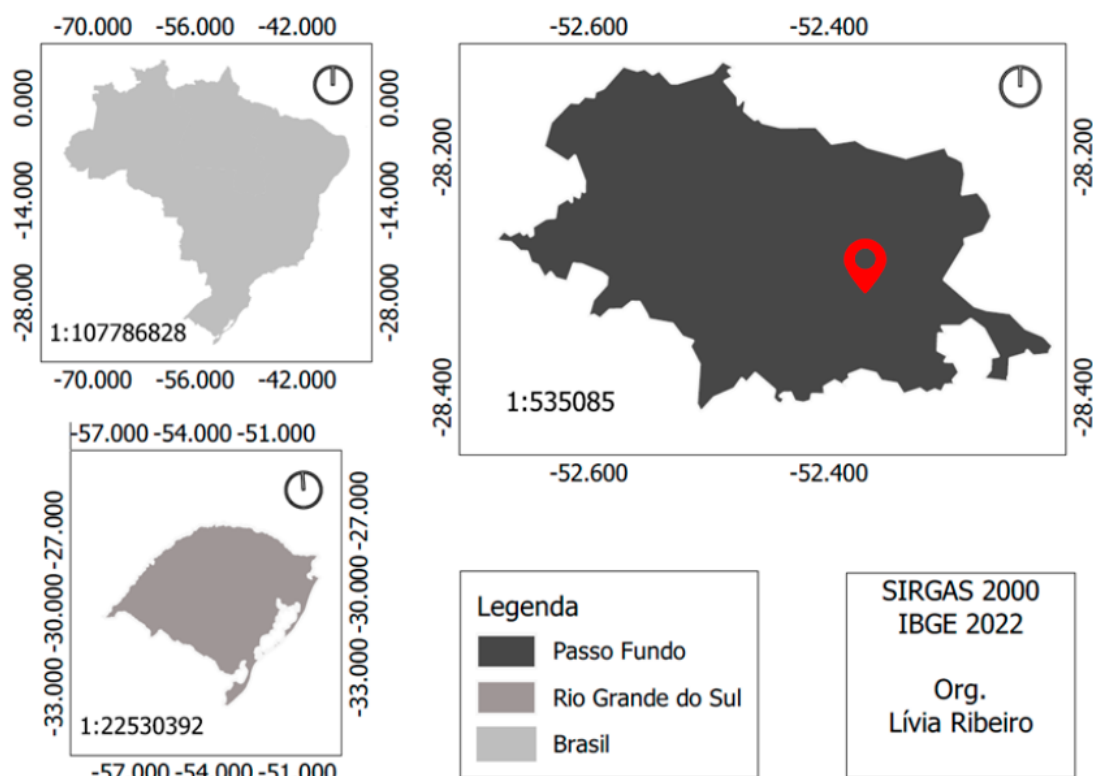


Figura 05: Cidade com exposição das amostras

Para avaliar a autolimpeza ao longo do tempo foi realizada de duas maneiras:

- ♦ Registros fotográficos, realizados sempre nas mesmas condições de luminosidade, distância e com o mesmo equipamento;
- ♦ Leituras por meio do espectrofotômetro portátil calibrado, que mede a intensidade da luz absorvida ou transmitida por uma determinada amostra.

A partir das leituras do espectrofotômetro, com auxílio do software Cyberchrome OnColor (Austria, 2015), foram compilados os dados gerados. A leitura da variação de cor (sujidade) das amostras deste estudo foi aplicada seguindo o Sistema $L^*a^*b^*$, que trata de uma escala que considera que as cores são combinações de três tipos de cores receptoras: vermelho, amarelo e azul. Nesta escala, os valores obtidos no espectrofotômetro indicam:

L^* : luminosidade

a^* : coordenada vermelho/verde

b^* : coordenada amarelo/azul

3 Resultados

3.1 Avaliação da consistência das misturas

A figura 06 apresenta os índices de consistência obtidos para cada mistura.

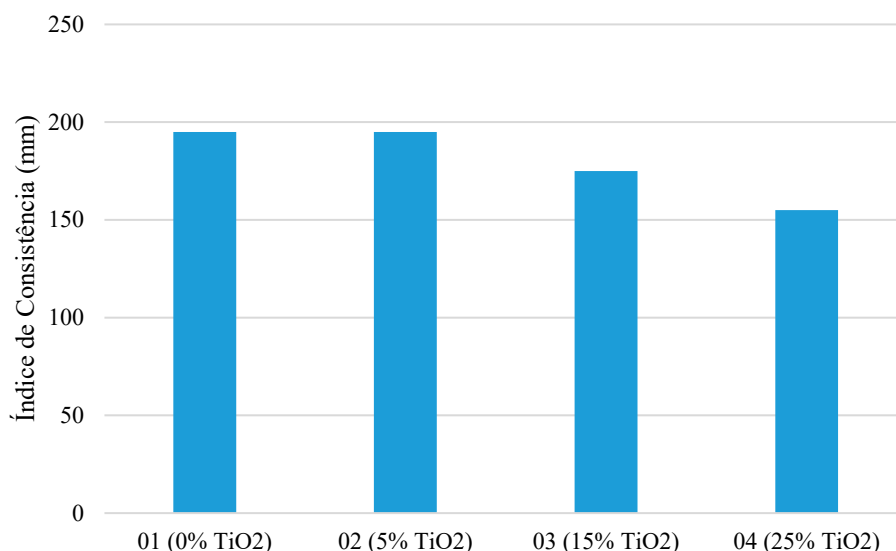


Figura 06. Resultados do índice de consistência

Nota-se que, de modo geral, houve pouca variabilidade entre as diferentes argamassas (entre 195 mm e 155 mm), ainda assim, conforme o acréscimo de TiO_2 nas misturas, reduziu o índice de consistência, o que se justifica pelo fato de a quantidade de água permanecer constante e o volume de sólidos aumentar.

3.2 Resistência à compressão

Os resultados do ensaio de resistência à compressão são apresentados na tabela 04, onde observa-se que para esta propriedade os resultados foram, em média, maiores nas argamassas contendo 15% e 25%, em relação às argamassas com 5% e sem adição de TiO_2 .

Tabela 04. Resultados de resistência à compressão

Teor de TiO_2	Tensão média (MPa)
0%	7,60
5%	7,43
15%	10,05
25%	10,85

Observando-se os resultados nota-se que com o aumento no teor de TiO_2 ocorreu o aumento da resistência mecânica das argamassas, o que também foi observado por outros autores, tais como Hatori et al. (2023). Bersh (2021) explica esse aumento deve-se à coesão aumentada da argamassa por conta da maior quantidade de materiais finos (material fotocatalítico).

Tabela 05. Resistência à compressão das argamassas

Argamassa	Resultado (MPa)
0	7,60
5%	7,43
15%	10,05
25%	10,85

3.3 Avaliação da autolimpeza

Durante o período de exposição das argamassas manchadas ao ambiente natural houve um acompanhamento fotográfico, que está apresentado na Figura 08.

Figura 08. Acompanhamento fotográfico das amostras manchadas

%TiO ₂	Idade das argamassas					
	Sem Mancha	0 dias	2 dias	7 dias	28 dias	56 dias
0%						
5%						
15%						
25%						

Observando-se a figura 08 nota-se que a amostra sem adição de TiO_2 permaneceu manchada ao final de 56 dias, embora tenha clareado com o passar do tempo. As demais argamassas apresentaram autolimpeza mais rápida.

Quanto maior foi a quantidade de TiO_2 adicionada, mais rapidamente ocorreu a autolimpeza, ou seja, a presença do agente fotocatalítico acelerou o processo de autolimpeza ao manchamento. A argamassa contendo 25% de TiO_2 mostrou-se a mais clara, conforme evidenciam os registros fotográficos após 56 dias.

Concluindo o período de exposição, foram realizadas as leituras com espectrofotômetro. A tabela 06 e a figura 09 apresentam os resultados do sistema L^*a^*b , para que seja possível acompanhar a evolução da autolimpeza de cada traço ao se adicionar as diferentes quantidades de TiO_2 .

Tabela 06. Resultados do sistema L^*a^*b

Argamassa	Sem Mancha	0 dias	2 dias	7 dias	28 dias	56 dias
01 (0% TiO_2)	L= 64.98	L= 46.84	L= 62.95	L= 63.81	L= 75.47	L= 75.72
	a= -1.13	a= -0.75	a= -5.94	a= -3.80	a= -3.20	a= -2.50
	b= 2.36	b= -33.82	b= -21.81	b= -13.03	b= -3.48	b= -1.90
02 (5% TiO_2)	L= 64.09	L= 48.73	L= 74.14	L= 71.72	L= 76.64	L= 78.12
	a= 0.57	a= -1.04	a= -4.24	a= -3.45	a= -1.37	a= -2.81
	b= 2.12	b= -36.91	b= -12.77	b= -3.11	b= -0.49	b= 0.07
03 (15% TiO_2)	L= 64.67	L= 56.19	L= 75.56	L= 75.75	L= 81.16	L= 82.98
	a= -0.62	a= -0.94	a= -3.77	a= -2.68	a= -1.12	a= -1.37
	b= 1.15	b= -28.11	b= -1.60	b= -1.50	b= -0.91	b= 0.95
04 (25% TiO_2)	L= 66.79	L= 60.91	L= 78.38	L= 75.54	L= 81.75	L= 81.35
	a= -1.09	a= -2.59	a= -3.00	a= -3.31	a= -0.98	a= -1.41
	b= 0.62	b= -27.75	b= -5.06	b= -2.79	b= -1.22	b= 0.89

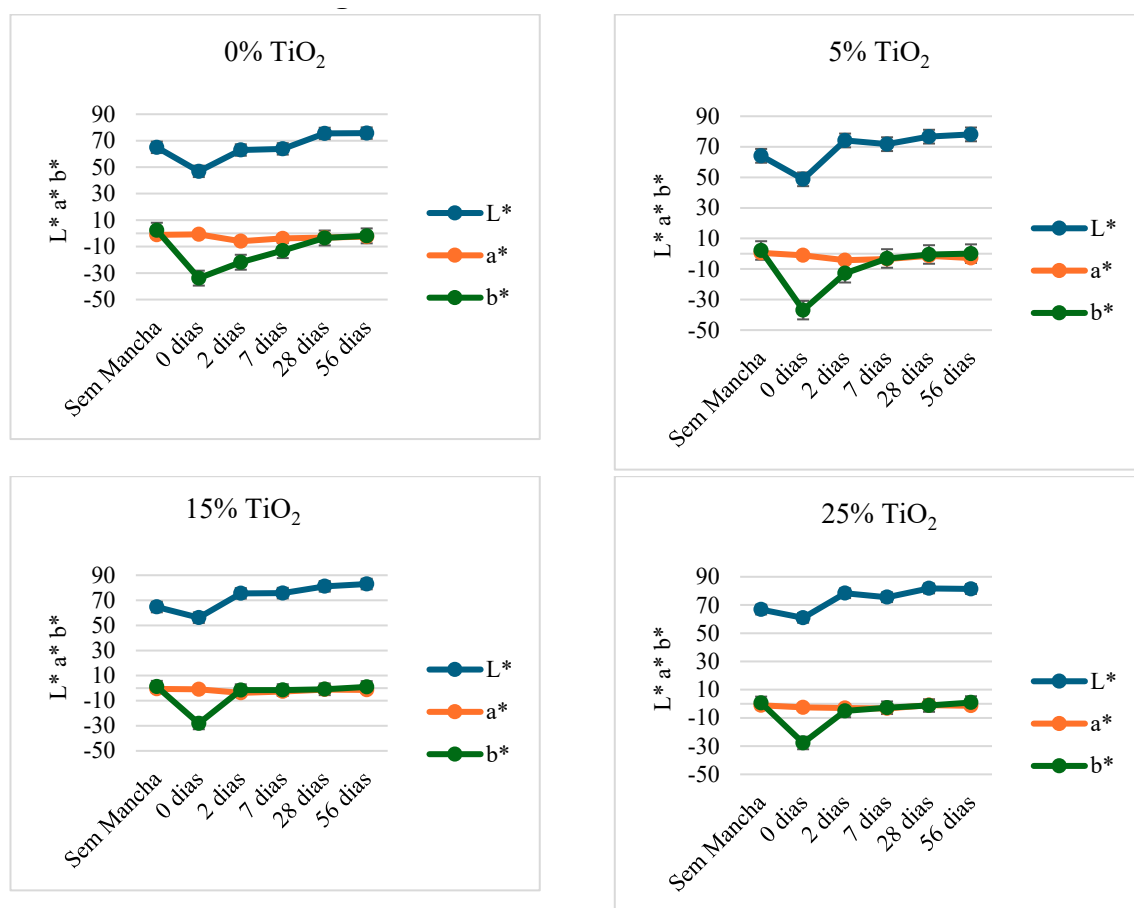


Figura 09. Resultados do sistema $L^*a^*b^*$

O valor de L^* , obtido no espectrofotômetro, indica a luminosidade da superfície (quanto maior o valor, mais clara é a amostra). Observando-se os resultados nota-se que L aumentou gradativamente ao longo do tempo em todas as argamassas, indicando a redução da mancha azul e o efeito de autolimpeza. No entanto, nem sempre essa evolução ocorreu de maneira linear. Nota-se que a argamassa sem adição de TiO_2 apresentou valores de L^* inferiores nas primeiras idades (0 e 2 dias), com recuperação parcial após 28 e 56 dias. Já as misturas com 5%, 15% e 25% de TiO_2 apresentaram aumento na luminosidade entre os 7 e 28 dias, evidenciando o papel do dióxido de titânio na degradação do corante azul de metileno.

Na argamassa com 15% de TiO_2 verificou-se que o valor de L^* foi de 82,98 aos 56 dias, indicando o maior clareamento e eficiência fotocatalítica. Em contrapartida, a amostra com 25% de TiO_2 teve redução da taxa de variação após os 28 dias, sugerindo que a maior quantidade do fotocatalítico pode ocasionar saturação do material e redução na dispersão efetiva das partículas fotocatalíticas, isso foi observado por Hamidi et al., 2019.

Analisando as coordenadas a^* e b^* , observa-se que os valores tenderam a se aproximar de zero ao longo do tempo, em todas as composições, indicando neutralização das tonalidades azuladas e esverdeadas iniciais, causadas pelo corante.

Esse comportamento foi mais consistente nas argamassas com maior teor de TiO_2 , confirmando a ação oxidativa do material na decomposição dos pigmentos orgânicos.

De modo geral, os dados colorimétricos confirmam que a adição de TiO_2 favoreceu a autolimpeza das argamassas, tornando-as visualmente mais claras e próximas do aspecto original.

4 Conclusão

O estudo desenvolvido possibilitou uma análise sobre a influência da incorporação de diferentes teores de dióxido de titânio (TiO_2) em argamassas de revestimento à base de cimento branco, com ênfase em suas propriedades mecânicas e no comportamento autolimpante.

A presença de TiO_2 nas misturas levou à perda de consistência no estado fresco, indicando a necessidade de cuidados adicionais em relação à aplicação das misturas contendo o fotocatalizador.

Os resultados mostram que o emprego do TiO_2 exerceu influência positiva em relação à resistência à compressão das argamassas, tendo aumentado a propriedade como aumento do produto. Esse comportamento está associado ao efeito de preenchimento proporcionado pelas partículas finas de TiO_2 , que aumentam a coesão da matriz cimentícia, o que também é coerente como a perda de consistência no estado fresco.

Com relação ao desempenho autolimpante, os registros fotográficos comprovaram que as argamassas com TiO_2 apresentaram clareamento mais rápido e efetivo em comparação à amostra de referência, evidenciando que a presença do fotocatalisador acelera a degradação de compostos orgânicos e o desbotamento das manchas. As avaliações pelo sistema L^*a^*b demonstraram que valor de L^* aumentou progressivamente ao longo do tempo, indicando maior luminosidade e eficiência fotocatalítica nas amostras com adição de TiO_2 , especialmente na concentração de 15%, que apresentou o melhor desempenho. Já a amostra com 25% mostrou leve redução na variação após 28 dias, possivelmente devido à saturação e aglomeração das partículas fotocatalíticas. As coordenadas a^* e b^* confirmaram a neutralização gradual das tonalidades azuladas e esverdeadas, reforçando o papel oxidativo do TiO_2 na decomposição dos pigmentos e a eficácia do material na autolimpeza das argamassas.

Apesar dos resultados promissores, é importante ressaltar que a eficácia do TiO_2 pode variar em função de fatores como o microclima, da orientação solar e a intensidade da radiação UV. Dessa forma, recomenda-se que futuras pesquisas explorem a otimização das concentrações de TiO_2 , a avaliação de misturas com outros fotocatalisadores, bem como análises em períodos prolongados de exposição, de modo a consolidar parâmetros técnicos para aplicação em larga escala.

Referências Bibliográficas

AUSTRIA, Gabriela Cortes. *Argamassa autolimpante para revestimento de fachadas: o efeito das propriedades fotocatalíticas do dióxido de titânio (TiO₂)*. 2015. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre, 2015.

BERSCH, Jéssica Deise. *Atividade fotocatalítica e autolimpeza de argamassas pigmentadas contendo dióxido de titânio (TiO₂)*. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

FERREIRA, Taiza Naiana da Silva. *Estudo das propriedades mecânicas do concreto branco*. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

KIRCHHEIM, Ana Paula. *Concreto de cimento Portland branco estrutural: A Avaliação da Carbonatação e Absorção Capilar*. (Dissertação de mestrado). Porto Alegre, 2003.

OLIVEIRA, Isabela Santos. *Estudo sobre argamassas autolimpantes: incorporação de dióxido de titânio em argamassa para fotocatalise de contaminantes orgânicos e bactérias em luz visível*. 2024. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2024.

TELES, Ramon Mendonça et al. Avaliação do efeito autolimpante promovido pela aspersão de fotocatalisadores em argamassa de revestimento. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS*, 15., 2025, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2025.

TREVISIO, João Pedro Marins. *Avaliação da eficiência de autolimpeza em argamassas e pastas contendo TiO₂ expostas ao microclima urbano*. 2016. 202 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre, 2016.

WU, Linsong et al. Study on Photocatalytic Performance of Ag/TiO₂ Modified Cement Mortar. *Materials*, Basel, v. 15, n. 11, p. 4031, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma15114031>. Acesso em: 6 jul. 2025.

HAMIDI, F; ASLANI, F. *TiO₂-Based Photocatalytic Cementitious Composites: Materials, Properties, Influential Parameters, and Assessment Techniques*. Austrália, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/nano9101444>