



ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DE REVESTIMENTOS CIMENTÍCIOS EMPREGANDO O MÉTODO DE MICROTRAÇÃO

Tema: Métodos de ensaio.

VALÉRIA COSTA DE OLIVEIRA¹, ÉDER FERNANDES², DAIANA CRISTINA METZ ARNOLD³,
LEANDRO TONIETTO⁴, CLAUDIO DE SOUZA KAZMIERCZAK⁵

¹Prof^a. Dr^a, IFRO – Instituto Federal de educação, ciência e tecnologia de Rondônia/IFRO,
valeria.oliveira@ifro.edu.br

²Engenheiro mecânico/Universidade Vale do Rio dos Sinos/UNISINOS, labensaiosmecnicos@unisinoss.br

³Prof^a. Dr^a., Universidade FEEVALE/FEEVALE, daim@feevale.br

⁴Prof. Dr., Universidade Vale do Rio dos Sinos/UNISINOS, ltonietto@unisinoss.br

⁵Prof. Dr., Universidade Vale do Rio dos Sinos/UNISINOS, claudiok@unisinoss.br

RESUMO

A anisotropia de superfície e as diferentes matérias-primas empregadas na produção de blocos cerâmicos têm influenciado, em coeficientes de variação altos, a resistência de aderência à tração em revestimentos. Dessa forma, o objetivo deste estudo é propor o método de microtração como alternativa de selecionar substratos cerâmicos que promovam menor coeficiente de variação na aderência para mesma dosagem de pastas cimentícias. Na metodologia, a aderência foi determinada empregado o ensaio de microtração. Foram utilizados cinco diferentes substratos cerâmicos e uma mesma pasta cimentícia. Os resultados demonstraram que substratos de diferentes olarias afetam de forma significativa a aderência de revestimentos cimentícios.

Palavras-chave: microtração; aderência; blocos cerâmicos; revestimentos cimentícios.

ANALYSIS OF THE STRENGTH OF ADHERENCE TO TENSION OF CEMENTICIOUS COATINGS USING THE MICROTENSILE METHOD

ABSTRACT

The surface anisotropy and the different raw materials used in the production of ceramic blocks have influenced, in high coefficients of variation, the tensile adhesion strength in coatings. Thus, the objective of this study is to propose the microtensile method as an alternative to select ceramic substrates that promote a lower coefficient of variation in adhesion for the same dosage of cementitious pastes. In the methodology, the adherence was determined using the microtensile test. Five different ceramic substrates and the same cement paste were used. The results showed that substrates from different brickyards significantly affect the adhesion of cementitious coatings.

Key-words: microtensile; adherence; ceramic blocks; cementitious coatings.



1. INTRODUÇÃO

O desempenho real dos revestimentos é influenciado por vários fatores em serviço, muitos deles relacionados à sua aplicação. Em particular, o substrato de aplicação do revestimento é um fator relevante no desempenho em serviço⁽⁵⁾. Muitos autores concordam que a absorção de água do substrato é o principal responsável pela aderência substrato e argamassa de revestimento⁽⁶⁾ (10) (12) (14). Contudo, a influência da superfície do substrato na aderência da argamassa é um dos pontos que provoca controvérsias⁽⁶⁾ (9). Neste contexto, já foi observado que argamassas de revestimento idênticas, em substratos diferentes, com as mesmas condições de aplicação têm apresentado resultados de aderência distintos⁽²⁰⁾ (21).

Vale ressaltar que existe, no mercado da construção, uma infinidade de possibilidades para especificação, tanto de substratos quanto de argamassas, o que exige um maior entendimento da interação e da microestrutura de interface entre o substrato e o revestimento, que influencia os mecanismos da aderência.

O método de determinar a resistência potencial de aderência à tração preconizado pela NBR 13528-3⁽¹⁾ emprega Dinamômetros para aferição da aderência no estado endurecido, de maneira que representa uma interpretação quantitativa da força, ou da energia necessária para separar as argamassas de revestimento do substrato.

Além disso, o método de ensaio preconizado na norma brasileira apresenta parâmetros divergentes ou pouco especificados o que acarreta alta variabilidade dos resultados para uma mesma situação de ensaio⁽⁸⁾. Neste sentido, observa-se que as normativas brasileiras tratam das especificações de aderência em níveis mínimos de resistência desta⁽¹⁾, sem fazer referência aos fatores que influenciam a aderência de argamassas sobre bases porosas, que são dependentes das propriedades das argamassas no estado fresco, da sucção de água, rugosidade e porosidade dos substratos, das condições climáticas, além do processo de aplicação dos revestimentos⁽⁶⁾.

Outros fatores que influenciam a aderência entre substratos e argamassas de revestimentos são as características das argamassas e seus constituintes materiais⁽¹⁾ (15) (23). Destaca-se a influência da técnica de aplicação da argamassa nas propriedades de aderência⁽¹⁾ (15) (22). Outros fatores de destaque são as condições climáticas no momento da execução e ao longo da vida útil do revestimento ou reboco⁽⁷⁾ (18) (22).

Constata-se que o ensaio de aderência à tração apresenta coeficiente de variação de 10% a 35%⁽²¹⁾. Tal variação tem como causa, conforme os autores: o ângulo de aplicação da tensão, equipamento utilizado no corte do revestimento, forma e velocidade de aplicação da carga de arrancamento. Concordam com este argumento, Flores-Colen, Brito e Branco⁽¹¹⁾, que citam que os aspectos que influenciam os resultados do ensaio de aderência à tração, referem os parâmetros instrumentais, tipo de equipamento, profundidade do corte, processo de corte, velocidade de carga e sua excentricidade e a dimensão corpo de prova utilizado.



No entanto, Sano *et al.* ⁽¹⁷⁾ afirmam que a resistência de aderência à tração depende da área da superfície analisada. Os autores verificaram diferenças de aderência em diferentes dimensões e espessuras de corpos de prova e constataram que a resistência de aderência à tração foi inversamente relacionada à área de superfície. Em áreas menores, ocorre a facilidade de múltiplas medições a serem realizadas dentro de uma única amostra, que no caso de seus estudos foram em dentes. Ressalta-se, que na área da odontologia, a aderência também é um objeto de estudo importante, uma vez que também é influenciada por muitos fatores, assim como na construção civil, porém ocorre em meio a saliva humana e em áreas ainda menores de substratos. Desta forma, Sano *et al.* ⁽¹⁷⁾ desenvolveu um método de ensaio de tração em miniatura, denominado de microtração ⁽¹⁷⁾.

O objetivo geral deste trabalho é o emprego do método da microtração para explicar os coeficientes de variação da resistência de aderência à tração de revestimentos, e dessa forma demonstrar o impacto da heterogeneidade existente na superfície dos substratos cerâmicos na variabilidade da aderência de uma matriz cimentícia sobre o bloco cerâmico.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL: MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Os materiais selecionados foram blocos cerâmicos utilizados como substratos, cimento CP V – ARI e aditivo superplastificante à base de policarboxilatos, utilizados nas pastas, como revestimento cimentício. Nos substratos foram aplicadas pastas cimentícias e não argamassas de revestimento, de forma a não incluir no estudo mais uma variável, os agregados miúdos. As pastas de cimento foram produzidas de forma a promover um maior espalhamento e intertravamento do material as rugosidades dos substratos.

Os blocos cerâmicos foram provenientes de cinco diferentes olarias, todos apresentaram superfícies lisas. A escolha dos substratos se justifica por apresentarem superfícies com propriedades distintas, possibilitando a análise da diferença existente na interface de cada um deles com a pasta de referência. Ressalta-se que as diferenças dos substratos cerâmicos são estimadas a partir do fato de serem provenientes de olarias diferentes, com massas cerâmicas, processos de extrusão e ciclos de queima distintos. Os blocos cerâmicos das olarias estão caracterizados na Tabela 1.



Tabela 1 - Características dos blocos cerâmicos

Substratos	Rugosidade média (μm)	Taxa média de absorção capilar ($\text{g}/\text{cm}^2\text{h}^{-1/2}$)	Temperatura de queima	Modelo e dimensões	Tipo de bloco
1	2,07	0,61	870°C	6 furos; Dimensões: 12 x 19 x 26 (cm)	Vedação
2	2,36	0,55	950°C	6 furos; Dimensões: 9 x 14 x 23,5 (cm);	Vedação
3	1,25	0,49	930°C	6 furos; Dimensões: 9 x 14 x 24 (cm);	Vedação
4	2,23	0,53	869 °C	4 furos; Dimensões: 9 x 14 x 19 (cm);	Vedação
5	2,27	0,31	900 °C	2 Furos quadrados; Dimensões: 14 x 19 x 44 (cm);	Estrutural

 Fonte: Adaptado de Arnold ⁽¹¹⁾ e Oliveira ⁽¹³⁾

Para a obtenção da rugosidade média referente à topografia dos blocos cerâmicos foi utilizado o equipamento a laser 3D (LiDAR), da marca Starrett AV 300+, com resolução em X e Y de E2 1,90 μm +5L/1000 e resolução em Z de E1 2,50 μm +5L/1000, resolução de escala de 0,10 μm . Os dados de rugosidade foram processados em *software* desenvolvido por Tonietto ⁽¹⁹⁾. A taxa de absorção capilar foi determinada conforme a norma RILEM T – 116 ⁽¹⁶⁾.

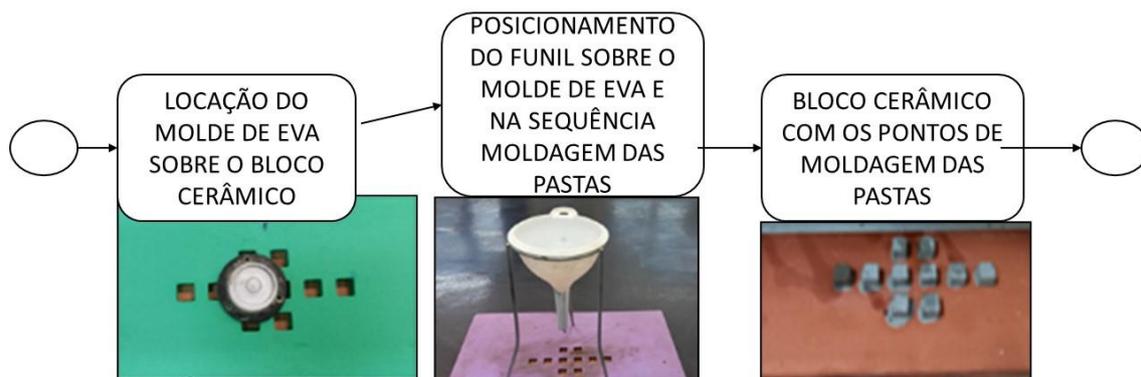
2.2 Métodos

As pastas de cimento foram produzidas na sala climatizada de temperatura controlada de 21°C \pm 2°C e umidade relativa de 60% \pm 10%. A mistura das pastas foi realizada em equipamento adaptado de uma Furadeira de Impacto VONDER-FIV710, velocidade Rotação - velocidade de 0 - 2.800 R.P.M, um conjunto de haste e hélice tipo “Cowles” de 40 mm de diâmetro e copo Becker plástico. As pastas empregadas foram elaboradas com relação água/ligante 0,45 e um teor do aditivo superplastificante de 0,04% sobre a massa de cimento. O espalhamento foi fixado em 100 \pm 5 mm, por meio de teste de Kantro. Quando da aplicação da pasta sobre o substrato, utilizou-se um suporte com funil à distância de 8 cm do substrato, garantindo assim, que todas as amostras de pastas fossem aplicadas com mesma energia de lançamento (Figura 1).

As pastas de cimento Portland foram aplicadas e moldadas sobre a superfície dos blocos cerâmicos, nas dimensões 10x10 mm por meio de um molde produzido em EVA (Figura 1), conforme Oliveira ⁽¹³⁾. Os moldes de EVA foram impregnados por desmoldante base óleo, com corpos de provas compostos por 10 amostras quadradas 10x10 mm na espessura de 5 mm. Cada ponto de moldagem foi adensado com 5 golpes utilizando um bastão de vidro; e após 15 minutos o conjunto de moldagem foi rasado e recebeu uma placa de vidro de dimensões 7x12 cm e peso padrão de 1 kg, para melhor distribuir a carga de confinamento da pasta. Na

seqüência, essas amostras foram acondicionadas em sala de cura com umidade relativa de 100% até a data de 27 dias anterior ao ensaio de aderência.

Figura 1 - Fluxograma de moldagens das pastas

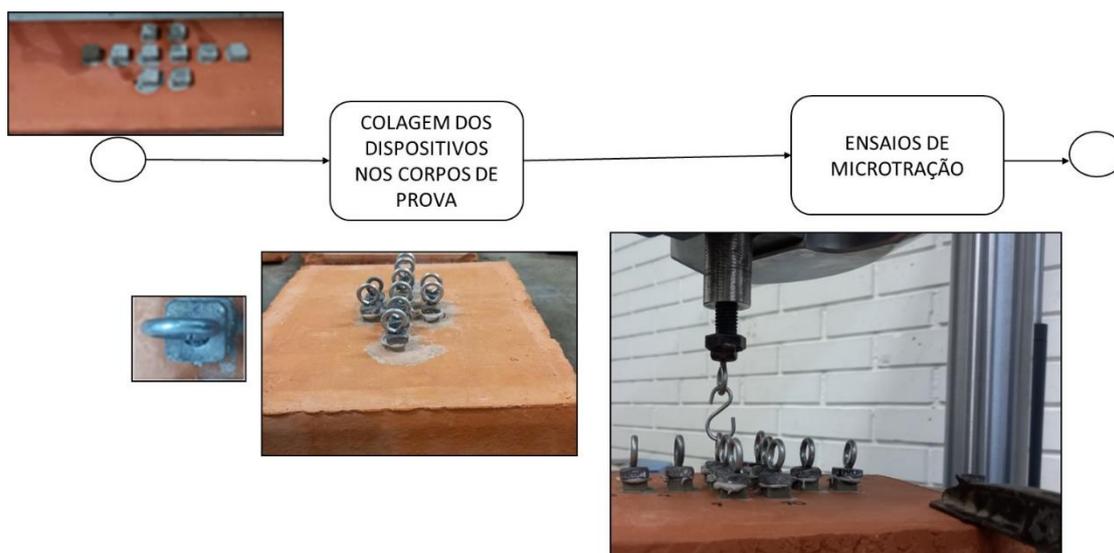


Fonte: Adaptado de Oliveira ⁽¹³⁾

2.3 Microtração

O método foi denominado de microtração, pois foi adaptado de Sano *et al.* ⁽¹⁷⁾. O termo microtração se refere ao ensaio de tração em escala micrométrica, no entanto o ensaio realizado no artigo foi feito em corpos de prova macro. O ensaio foi feito, portanto, em sistema miniaturizado, não em sistema micro. O fluxograma do processo de preparo das amostras está exibido na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma de moldagens das pastas



Fonte: Adaptado de Oliveira ⁽¹³⁾



Foi desenvolvido um dispositivo a ser colado às amostras 10x10 mm, composto por conjunto de placa chata 10 x 10 x 3 mm soldada a um olhal. Na prensa, o dispositivo foi composto de parafuso roscável de 8 mm soldado a um olhal, preso à garra da prensa. No momento de realização dos ensaios de resistência de aderência à tração (RATM), os dispositivos inferior e superior foram interligados por meio de um gancho “S” e controlados de forma a manter a ortogonalidade entre o olhal inferior e superior, sem causar o arrancamento prévio das amostras, ou erros geométricos. A célula de carga utilizada na prensa foi de 25 kN.

Dada a influência de múltiplos fatores na aderência, sugeriu-se a classificação de coeficiente de variação seguindo o estudo de Arnold ⁽³⁾: Baixos (CV inferiores a 25%); Médios (CV entre 25 e 50%); Altos (CV entre 50 e 75%) e Muito Altos (para valores acima de 75%).

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Os resultados de 400 corpos de prova foram comparados quanto à dispersão e médias de valores da RATM em 5 diferentes substratos de blocos cerâmicos. As médias das resistências de aderência à tração por meio dos ensaios RATM estão apresentados na Tabela 1. Quanto às classes de aderência para os substratos (Tabela 2), essas foram divididas em 5.

Tabela 1 – Classes de RATM por meio dos ensaios de microtração.

CLASSES DE RATM			Substratos 1	Substratos 2	Substratos 3	Substratos 4	Substratos 5
Classes	Mín	Máx					
1	0,26	0,50	19%	18%	18%	34%	4%
2	0,50	0,74	69%	70%	34%	47%	36%
3	0,74	0,99	12%	12%	24%	11%	31%
4	0,99	1,23	0%	0%	15%	6%	19%
5	1,23	1,47	0%	0%	10%	1%	9%
Médias de RATM (MPa)			0,62	0,61	0,78	0,61	0,85
Coeficientes de variação			18%	23%	38%	33%	29%

A Tabela 1 demonstra os resultados percentuais por classes de resistência de aderência por microtração. Quanto mais escuro o verde, representa o maior percentual para a respectiva classes de aderência. Os substratos 1 e 2 concentram os maiores percentuais nas classes de aderência entre 0,50 e 0,74 MPa. Os substratos 3 representam diferentes variações percentuais entre as classes, o que acarreta médios coeficientes de variação. Já os substratos 4 apresentam valores percentuais mais altos entre as classes 1 e 2, entre 0,26 e 0,74 MPa. Os substratos 5 mostraram os percentuais mais relevantes nas classes 2 e 3, representando aderências entre 0,50 e 0,99 MPa. Os valores médios de RATM foram 0,62 MPa, 0,61 MPa, 0,78 MPa, 0,61 MPa e 0,85 MPa, respectivamente na ordem dos substratos. Os coeficientes



de variação foram considerados baixos e médios e resultaram em 18%, 23%, 38%, 33% e 29%, respectivamente na ordem dos substratos. Observa-se, dessa forma, que uma mesma matriz cimentícia pode apresentar diferentes RATM influenciadas pelos substratos cerâmicos. Foi aplicada a análise de estatística por meio do teste Z de médias ao nível de significância de 5% e Z crítico bicaudal igual a 1,96. Esse teste foi empregado para confirmar se as RATM são diferentes entre os diferentes substratos. Os substratos 1, 2 e 4 apresentaram médias que não podem ser consideradas significativamente diferentes. O substrato 3 apresentou médias significativamente diferentes de todos os demais substratos, assim como o substrato 5.

Todas as rupturas ocorrerão na interface bloco-pasta, com exceção dos blocos cerâmicos da olaria 3, que aproximadamente 12% das amostras, apresentaram rupturas do bloco cerâmico. Ressalta-se que estes substratos apresentavam as superfícies mais lisas, vistas em macroescala, e menor rugosidade.

Neste estudo, observa-se que as temperaturas de queima dos blocos cerâmicos de 870° C, 950° C, 930° C, 869° C e 900° C, respectivamente na ordem dos substratos, não demonstraram uma influência direta nos resultados da aderência, pois esta propriedade também é influenciada também pelas matérias-primas e processos de fabricação dos substratos cerâmicos. Além disto, a temperatura dentro dos fornos das olarias não ocorrem de forma homogênea, o que acarreta produtos finais com distintas características, sejam de absorção de água e rugosidades e assim, acarretam coeficientes de variação distintos na resistência de aderência à tração dos revestimentos.

4. CONCLUSÕES

A partir de ensaios de microtração e diferentes áreas de interface de substratos cerâmicos, foi possível avaliar a variabilidade da resistência de aderência à tração em um mesmo substrato e proveniente de um mesmo lote. Essa variabilidade observada na resistência de aderência em grande parte é decorrente da heterogeneidade dos substratos. Verificou-se coeficientes de variação para os substratos 3 e 4 as maiores variações nos valores de aderência, 38% e 33% respectivamente. No entanto, os substratos 3 apresentaram resistências de aderência médias maiores quando comparadas aos substratos da olaria 1, 2 e 4. Já os blocos cerâmicos da olaria 5, apresentaram RATM superiores aos demais substratos, no valor de 0,85 MPa e coeficiente de variação médio de 29%.

Contudo, é conhecido que os resultados de ensaios de tração são muito sensíveis à excentricidade da carga aplicada, dessa forma, uma vez que o procedimento utilizado não garante ausência de excentricidade nos ensaios de tração, a variabilidade dos resultados obtidos não deve ser atribuída somente ao substrato.

O estudo foi importante de forma a possibilitar a seleção de blocos cerâmicos que representem um menor coeficiente de variação da resistência de aderência à tração para determinado revestimento cimentício.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANTUNES, R. P. **Influência da reologia e da energia de impacto na resistência de aderência de revestimentos de argamassa.** 2005. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
2. ARAÚJO JR., J.M. **Contribuição ao estudo das propriedades físico-mecânicas das argamassas de revestimento.** 2004. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2004.
3. ARNOLD, D. C. M. **Contribuição ao estudo dos fatores intervenientes na aderência de revestimentos de argamassa: análise quantitativa da rugosidade de substratos cerâmicos.** 2021. Tese (Doutorado) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), São Leopoldo, Rio Grande do Sul, 2021.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração Parte 3: Aderência superficial.** Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
5. BELLEI, P; ARROMBA, J; FLORES-COLEN, I; VEIGA, R; TORRES, I. (2021). Influence of brick and concrete substrates on the performance of renders using *in-situ* testing techniques. **Journal of Building Engineering**, 43, 102871.
6. CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substrato porosos: Avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação.** 1996. Tese (Doutorado)- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.
7. CARASEK, H.; JAPIASSÚ, P.; CASCUDO, O.; VELOSA, A. Bond between 19th Century lime mortars and glazed ceramic tiles. **Construction & Building Materials**, [S. l.], v. 59, p. 85-98, 2014.
8. COSTA, E.B.C.; CARASEK, H. Influência dos parâmetros de ensaio na determinação da resistência de aderência de revestimentos de argamassa. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 17-35, out. /Dez. 2009.
9. COURARD, L. Parametric study for the creation of the interface between concrete and repair products. **Mat. Struct.** 33, 65–72 (2000).
10. DÉTRICHÉ, C. H.; MASO, J. C. Differential hydration in rendering mortars. **Cement and concrete research**, v. 16, n. 3, p. 429-439, 1986.
11. FLORES-COLEN, I.; DE BRITO, J.; BRANCO, F. In situ adherence evaluation of coating materials. **Experimental Techniques** May 2009, Volume 33, Issue 3, pp 51–60.
12. LAWRENCE, S. J., CAO, H. T. An Experimental Study of the Interface between Brick and Mortar. In: **AMERICAN MASONRY CONFERENCE**, 4th, 1987, Los Angeles. Proceedings ...Los Angeles, 1987. p48/1-48/14.



13. OLIVEIRA, V. C. D. (2022). **Análise quantitativa da influência da rugosidade e da área de interface entre substratos cerâmicos e revestimento cimentício na resistência de aderência à tração**. 2022. Tese (Doutorado) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, São Leopoldo, Rio Grande do Sul, 2022.
14. PALMER, L. A.; PARSONS, D. A. A study of the properties of mortars and bricks and their relation to bond. **Bureau of Standards Journal of Research** 12, 609–644 (1934).
15. PAVÍA, S.; HANLEY, R. Flexural bond strength of natural hydraulic lime mortar and clay brick. **Mater Struct**, [S. l.], n. 43, p. 913–22, 2010.
16. RILEM, T. C. RILEM recommendations for the testing and use of constructions materials. RC, v. 6, p. 218-220, 1994.
17. SANO, H., SHONO, T., SONODA, H., TAKATSU, T., CIUCCHI, B., CARVALHO, R., & PASHLEY, D. H. (1994). Relationship between surface area for adhesion and tensile bond strength—evaluation of a micro-tensile bond test. **Dental materials**, 10(4), 236-240.
18. SCARTEZINI, L. M. B. **Influência do tipo e do preparo do substrato na aderência de revestimentos de argamassa: estudo da evolução ao longo do tempo, influência da cura e avaliação da perda de água da argamassa fresca**. 2002. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, 2002.
19. TONIETTO, L. **Um novo método para avaliar os coeficientes de rugosidade e áreas de vale de superfícies adquiridas por scanner a laser**. 2021. Tese (Doutorado) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), São Leopoldo, Rio Grande do Sul, 2021.
20. TORRES, I; VEIGA, R.; FREITAS, V; Influence of Substrate Characteristics on Behavior of Applied Mortar. **Journal of Materials in Civil Engineering**, © ASCE, ISSN 0899-1561. 30(10): 04018254. 2018
21. VAZ, F. H. B.; CARASEK, H. Resistência de aderência de revestimentos de argamassa - contribuição por meio de mapeamento e revisão sistemática de literatura para futuras pesquisas no tema. **Cerâmica** 65 (2019) 303-318.
22. WINNEFELD, F.; KAUFMANN, J.; HACK, E.; HARZER, S.; WETZEL, A.; ZURBRIGGEN, R. Moisture induced length changes of tile adhesive mortars and their impact on adhesion strength. **Constr Build Mater**, [S. l.], v. 30, n. 13, p. 426-438, 2012.
23. YATES, M.; MARTIN-LUENGO, M. A.; CORNEJO, J.; GONZÁLES, V. The importance of the porosity of mortars, tiles and bricks in relation to their bonding strengths. **Studies in Surface Science and Catalysis**, [S. l.], v. 87, p. 781-790, 1994.