

Efeito de Ciclos Higrotérmicos na Resistência à Adesão de Sistemas Placas Cerâmicas-Argamassas

S. C. B. Silva^{a,b}, A. Rodrigues^b, F. Pelisser^c, M. R. Rocha^b, O. R. K. Montedo^{b*}, E. Angioletto^b

^a Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI, Criciúma, SC, Brasil

^b Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – PPGCEM, Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma SC, Brasil

^c Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Campus Reitor João David F. Lima, Florianópolis, SC, Brasil

*e-mail: oscar.rkm@gmail.com

Resumo

Um dos problemas comuns na indústria da construção é a adesão de revestimentos cerâmicos em fachadas. Vários fatores prejudicam a sua adesão adequada, incluindo: inadequado preenchimento da placa cerâmica, perda de força de tensão de adesão, expansão por umidade da placa, ausência de movimento da junta para absorver a expansão térmica e diferenças mecânicas entre os materiais. Assim, um estudo de degradação acelerada de argamassas em placas cerâmicas aplicadas à fachadas foi proposto. Este estudo estabeleceu ciclos para variar a temperatura e umidade de placas de cimento e argamassas comerciais com quantidades variadas de polímero (PVA) e aditivos. Placas cerâmicas do grupo de absorção B1b, de acordo com a Norma Brasileira ABNT NBR 13818:1997, foram usadas. O estudo seguiu planejamento fatorial 2³ com um ponto central, cujas variáveis foram: quantidade de PVA (3, 5 e 7% em massa) na argamassa e tempo de exposição na máquina de envelhecimento acelerado de 20, 45 e 73 dias. Os resultados mostraram que o tempo de exposição e o teor de PVA na argamassa foram significantes. A resistência à adesão no tempo de exposição de 73 dias variou de 0,144 MPa (3% de PVA) para 0,591 MPa (7% de PVA).

Palavras-chave: fachada, PVA, revestimento cerâmico, argamassa colante.

1. Introdução

Revestimentos cerâmicos de fachada possuem preferência do mercado consumidor devido as suas vantagens em relação aos demais revestimentos utilizados¹. Pode-se destacar a durabilidade, valorização estética, facilidade na limpeza, pouca manutenção, melhoria de estanqueidade da vedação, maior conforto térmico e acústico e valorização econômica do imóvel. Apesar de amplamente utilizado, esse tipo de revestimento ainda apresenta dificuldades principalmente no que diz respeito à tecnologia de produção de fachadas provocando uma grande incidência de manifestações patológicas^{2,3}. Entre as principais causas naturais das patologias das fachadas podem ser citados o índice de precipitação pluviométrica, a variação de temperatura e a formação de gelo⁴.

De acordo com Ferreira et al.⁵ e Sanjuan et al.⁶, os revestimentos cerâmicos utilizados em fachadas podem ser definidos como “Conjunto monolítico de camadas (inclusive o emboço do substrato) aderidas à base suportante da fachada de edifício (alvenaria ou estrutura), cuja capa exterior é constituída de placas cerâmicas, assentadas e rejuntadas com argamassa ou material adesivo”. A Norma Brasileira ABNT NBR 13755:1996⁷ traz uma figura ilustrativa citando como principais componentes deste conjunto: camada de regularização, camada de fixação, as peças cerâmicas e as juntas.

Por outro lado apesar dos revestimentos cerâmicos serem amplamente utilizados na construção civil, verifica-se muitas questões que não estão totalmente elucidadas na literatura, principalmente no que se refere a testes e métodos rápidos de avaliação do desempenho dos materiais aplicados em fachadas externas⁸.

Com base neste cenário, realizou-se este estudo com objetivo de se estabelecer metodologia para avaliação de degradação acelerada de fachadas em laboratório. Assim, com base em outros trabalhos⁸⁻¹⁵ obteve-se informações e diretrizes que foram adaptadas e conduziram a definição do método de degradação acelerada. Esse método permitiu obter resultados qualitativos e quantitativos da resistência ao arrancamento apresentado pelo conjunto formado pelo substrato, argamassa e revestimento cerâmico.

Neste estudo, a resistência à adesão, que é a força requerida para romper uma dada área de cobertura, foi também medida por meio de testes de resistência à adesão. Também foi investigada a microestrutura das interfaces dos materiais para avaliar a interferência de cada um dos componentes no desempenho da fachada.

2. Material e Métodos

Para a realização do estudo de degradação acelerada avaliou-se o conjunto substrato, argamassa e placa de

revestimento submetido a condições de temperatura e umidade controladas dentro de uma câmara construída para simular as condições climáticas selecionadas e que interferem no desempenho da fachada. Esse conjunto depois foi submetido à ciclos de degradação, que variaram de 0 a 1620 ciclos, correspondendo a 73 dias. Após degradação, a tensão de ruptura (N/mm^2) das amostras foi avaliada por meio de testes de resistência à adesão. Simultaneamente foram investigadas as características microestruturais das amostras onde realizou-se micrografias óticas e eletrônicas de varredura para identificar a formação de filmes poliméricos da argamassa e a estrutura de adesão formada entre as camadas constituintes da amostra. Análise dilatométrica dos materiais foi realizada com finalidade de verificar a existência de tensões que poderiam influenciar no desempenho dos materiais quando aplicados em conjunto na fachada. O planejamento experimental, que se caracterizou como um fatorial 2^3 , resultou em 12 amostras, sendo quatro de cada tipo de argamassa.

2.1. Ensaio de envelhecimento acelerado e arrancamento

O modelo do corpo de prova adotado para simular o sistema de revestimento cerâmica aderente a fachadas é formado por placas de cimento sobre as quais foram aplicadas placas cerâmicas do tipo semi-gres (Classe BIb; grupo de absorção de água $0,5\% < A.A. < 3\%$), conforme classificação definida na Norma Brasileira ABNT NBR 13818:2012¹⁶. Três formulações de argamassa foram empregadas para fixar estas placas cerâmicas às placas de concreto. Como substrato de cimento, foi utilizado o material padronizado da ABCP - conforme Norma Brasileira ABNT NBR 14081-2:2015¹⁷. As dimensões das placas foram $250\text{ mm} \times 500\text{ mm} \times 20\text{ mm}$. O arranjo utilizado está representado na Figura 1. As argamassas utilizadas neste estudo pertencem as classes ACII e ACIII, sendo somente estas recomendadas para aplicação em ambiente

externo, de acordo com a classificação definida na Norma Brasileira ABNT NBR 14081-1:2015¹⁸.

As três composições de argamassa seguiram os mesmos critérios de preparação de acordo com a recomendação do fabricante: material fixo composto de 20% de cimento e 80% de areia com 1% de HEC (Hidroxietyl Celulose) em relação a massa de cimento. Nesta mistura realizou-se as variações de PVA (Álcool PoliVinílico) de 3, 5 e 7% em relação a massa de cimento, gerando as misturas de argamassas. As peças foram limpas e secas e dispostas sobre a argamassa estendida com camada de $5 \pm 0,5\text{ mm}$. As placas cerâmicas foram distribuídas de modo que ficassem a uma distância de 5 cm entre elas. Cada peça cerâmica aplicada na placa foi carregada e centralizada com peso padrão de 2 kg durante 30 s. Durante 28 dias após o assentamento das placas, os substratos ficaram em cura em laboratório, com temperatura média de $24 \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$ e $65 \pm 1\%$ de umidade relativa do ar. Após esse período, as amostras foram submetidas a ensaios de envelhecimento acelerado em câmara com temperatura uniforme ($\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$). Este equipamento se baseou em sistemas de controle com aquecimento, resfriamento e patamares. O resfriamento foi realizado aspergindo-se água em toda a câmara, garantindo-se assim que a temperatura inferior também fosse uniforme. Seu funcionamento foi programado para temperatura: entre $30 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ e $70 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$; a vazão de água pulverizada foi de 4,2 L/min. O ciclo de envelhecimento acelerado foi dividido nos ciclo de chuva (resfriamento) e aquecimento; sendo os tempos em cada um destes ciclos definidos por estudos prévios, que chegaram a determinação de 10 min no aquecimento, 50 min no patamar em temperatura elevada e 5 min em resfriamento. Para esta definição foram empregadas informações como: premissa de tempo de durabilidade da fachada em 18 anos antes de requerer manutenção, índice pluviométrico médio regional de 1500 mm/ano, temperatura máxima de $70\text{ }^\circ\text{C}$ da cerâmica de fachada medida na região e ainda o tempo de secagem da amostra de 1 h determinado em estudo anterior e o período de meses

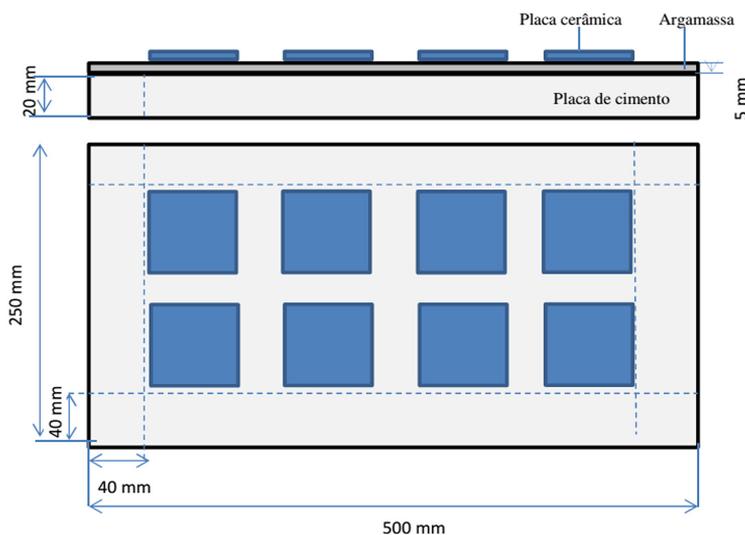


Figura 1. Representação do arranjo experimental utilizado.

que as fachadas são expostas a diferença de temperatura de 40 °C. Baseado nesta informação, os testes foram realizados para 1620 ciclos, alcançando um tempo total de teste de 1755 h (aproximadamente 73 dias). Após a conclusão da etapa de degradação acelerada, foi realizado o ensaio de arrancamento conforme a Norma Brasileira ABNT NBR 14081-2:2015¹⁷ para avaliar a interação entre as camadas constituintes do sistema de revestimento da fachada (substrato, argamassa e placa cerâmica). A partir dos resultados deste teste, o valor da resistência à adesão máxima foi determinado para o sistema de suporte e a interface deste sistema, que possui menor resistência às tensões dentro das camadas. Para a realização deste ensaio, foram coladas pastilhas metálicas na superfície dos revestimentos cerâmicos e, após a secagem da cola, as placas foram submersas em água por um período de 48 h. Com a utilização de um dinamômetro com capacidade de 5 kN e velocidade de 250 ± 50 N/s foi realizado o ensaio de arrancamento por tração. A força de ruptura, F em N, foi medida para cada amostra (8 peças para cada condição experimental). A resistência à adesão, σ_a em MPa, foi determinada a partir da razão entre F e a área da pastilha metálica, S em mm², como mostrado na Equação 1:

$$\sigma_b = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{F}{S} \right)_i}{n} \quad (1)$$

onde n é o número de amostras.

2.2. Caracterização física e microestrutural

A análise de dilatação térmica foi utilizada para a determinação do coeficiente de expansão térmica (CET) das três composições de argamassa, da placa cerâmica e do substrato. As amostras foram submetidas ao ensaio em um dilatômetro NETZSCH modelo DIL 402C, com taxa de aquecimento de 7,5 °C.min⁻¹ e em um intervalo de temperatura de 20 a 1000 °C, utilizando ar sintético. A análise microestrutural foi realizada nas amostras para o primeiro e último ciclos. As amostras selecionadas foram embutidas em resina polimérica, lixadas e polidas com pasta de alumina com granulometria de 1 µm. Após polimento, as amostras foram submetidas a um ataque ácido em uma solução contendo 2% em volume de HF por 25 s e recobertas com uma fina camada de ouro. A microestrutura foi analisada em um microscópio eletrônico de varredura (MEV) PHILIPS modelo X'PERT, para se micrografias da interface entre o revestimento, o polímero e o substrato das respectivas amostras.

3 Resultados e Discussão

A análise das amostras indicou que o tempo de exposição ao calor e resfriamento e o tipo de argamassa exerceram efeito significativo nos resultados obtidos.

A Figura 2 mostra a resistência à adesão das amostras em função do tempo de exposição na câmara de envelhecimento acelerado.

As amostras preparadas com argamassa tipo 1, correspondente ao tipo AC I e que possuía a menor concentração de polímero, teve a menor resistência à

adesão. A composição de argamassa com 7% de PVA, classificada como tipo AC III, mostrou resultados dentro dos valores especificados para argamassas colantes aplicadas em fachadas externas (≥ 0,5 MPa). De forma geral, concentrações mais elevadas de PVA nas argamassas resultaram em maiores valores de resistência à adesão. Tal resultado é similar ao encontrado por Wagner¹⁹. A resistência à adesão de argamassas sem aditivos é geralmente baixa, com valores próximos de zero.

Nas amostras com baixa concentração de PVA, argamassa tipo 1 (3% de PVA), a exposição à câmara de envelhecimento acelerado promoveu a perda da adesão da placa cerâmica. Tal efeito resultou da ação do HEC, conforme comportamento similar identificado em outros trabalhos²⁰⁻²², que demonstraram que este polímero modifica a viscosidade da fase aquosa das argamassas e retarda as reações de hidratação nas primeiras idades. No entanto, os mesmos autores citam que o polímero promove maior maturidade das pastas cimentícias em idades mais avançadas, devido a maior retenção de água no sistema. Tal comportamento foi observado neste estudo para as amostras que permaneceram na câmara de envelhecimento até o tempo de exposição de 73 dias.

As amostras de argamassa tipo 2 (5% de PVA) apresentou reduzida resistência à adesão, com valores próximos a zero, indicando que a quantidade de aditivo não foi suficiente para promover condições ótimas para a hidratação do cimento e formação do filme polimérico neste mesmo tempo de exposição. Entretanto, quando as amostras foram submetidas a tempos de exposição mais longos na câmara de envelhecimento, a resistência à adesão aumentou, alcançando resultados similares aos obtidos na condição inicial. Os resultados demonstraram que: a) a argamassa tipo 1 (3% de PVA) teve sua resistência à adesão diminuída em 18% quando comparada à condição inicial; b) a argamassa tipo 2 (5% de PVA) teve sua resistência aumentada em 19,5%; c) a argamassa tipo 3 (7% de PVA) teve sua resistência aumentada em 14,9%.

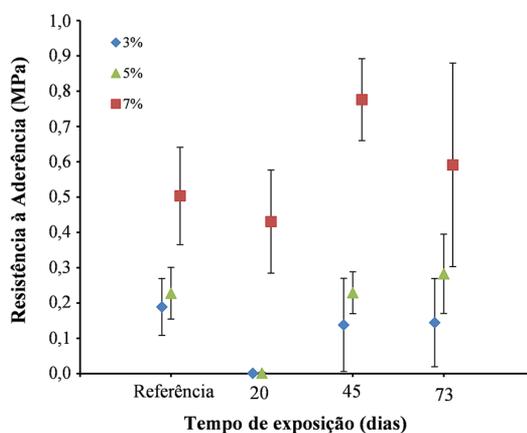


Figura 2. Resistência à adesão das amostras para diferentes teores de PVA. As amostras referência não foram expostas à câmara de envelhecimento.

A resistência à adesão das argamassas aumentou com o teor de PVA. A resistência à adesão média no tempo de exposição de 73 dias foi 0,144 MPa para a argamassa tipo 1, 0,283 MPa para a argamassa tipo 2 e 0,591 MPa para a argamassa tipo 3.

O aumento da resistência à adesão para os tempos de exposição maiores pode ser explicado pelo fato que os polímeros afetaram as reações de hidratação do cimento. O polímero interfere na capacidade de retenção de água e na flexibilidade da argamassa no estado fresco, que pode propiciar maior resistência mecânica e durabilidade no estado endurecido²¹.

A recuperação da resistência à adesão após a exposição aos ciclos de envelhecimento pode ser atribuída à tensão superficial da água nos capilares da matriz cimentícia. Como a absorção do semi-gres é baixa (3%), a pasta de cimento da argamassa não é absorvida para dentro dos capilares superficiais e um acúmulo de água na interface forma uma fina película por efeito de parede. Após a secagem, a formação de filme polimérico nesta interface garante a aderência do sistema²¹. Duas forças opostas agem na resistência à adesão. A primeira força aparece devido à tensão térmica criada porque os materiais utilizados possuem CET diferentes. Teoricamente, com o passar do tempo ou com maiores ciclos, a resistência à adesão tende a diminuir.

Por outro lado, Fischer et al.²³ estabeleceram que com o passar do tempo a resistência dos artefatos cimentícios aumenta cerca de 10-30% ao ano, dependendo do cimento, devido a uma série de reações que ocorrem no corpo de prova. Após estas reações ocorrerem, o processo de

hidratação fornece menor ganho de resistência. Baseado nos resultados obtidos, a tensão térmica supera as reações químicas até o segundo ciclo de exposição. Com o passar do tempo, o aumento da resistência devido a “cura” da argamassa resulta em um aumento na resistência ao descolamento.

Trabalhos similares^{22,23} também têm relatado tal comportamento, que estabelece uma normatização segura para testes de degradabilidade acelerada para conjuntos de “fachada externa”.

A microestrutura das amostras foi avaliada para confirmar as hipóteses desenvolvidas baseadas nos resultados de resistência à adesão. Corpos de prova foram avaliados na condição inicial (tempo de exposição zero) e na condição final para os diferentes tipos de argamassa e tempo de exposição. O objetivo foi verificar o efeito da concentração de polímero, do tempo de exposição, da umidade e da temperatura na microestrutura e na interação entre os materiais.

Estas tendências de comportamento não puderam ser verificadas em trabalhos similares, tais como o de Jenni et al.²¹, que descreve que o polímero (látex) disperso homogeneamente na matriz de cimento melhora a coesão e a adesão finais.

A avaliação da microestrutura das amostras não permitiu qualquer conclusão sobre a influência da concentração de polímero na formação de poros na estrutura ou relação entre a porosidade e a resistência à adesão. Comparando-se as Figuras 3a e 3c, pode-se ver que a exposição ao ciclos não alterou de forma significativa a microestrutura da argamassa. As micrografias mostram a formação de uma

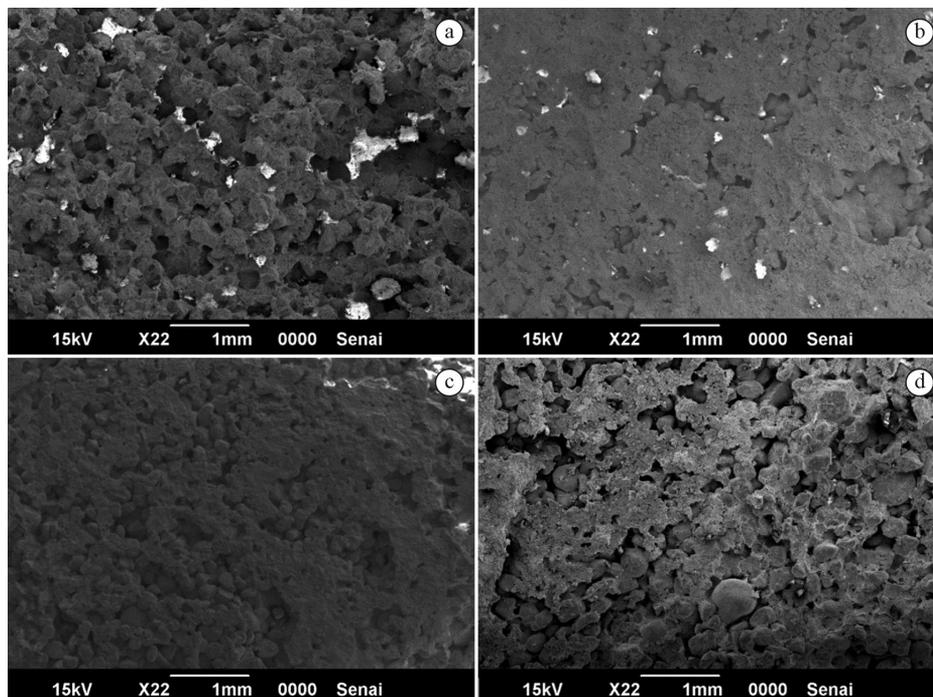


Figura 3. Micrografias das amostras de argamassa: (a) 3% de PVA a 0 dias de tempo de exposição; (b) 7% de PVA a 0 dias de tempo de exposição; (c) 3% de PVA a 73 dias de tempo de exposição; e (d) 7% de PVA a 73 dias de tempo de exposição.

fase contínua e dispersa ("pequenas ilhas") distribuídas ao longo da superfície e relacionadas ao polímero. Essa fase dispersa aumentou com o aumento do teor de polímero na argamassa.

4. Conclusões

Este estudo avaliou a degradação acelerada de sistemas placas cerâmicas/argamassa. A metodologia aplicada no estudo atendeu as normas Brasileiras que estabelecem os critérios de aplicação e avaliação de desempenho dos componentes de fachada. O tempo de ensaio do estudo não foi suficiente para determinar o tempo de vida útil da fachada, que foi estimado ser superior a 18 anos. As amostras submetidas à degradação apresentaram baixos valores de resistência à adesão após 20 dias, mas após 45 dias de exposição mostraram um comportamento reversível, onde a resistência à adesão aumentou novamente. A resistência à adesão aumentou com o aumento do teor de PVA. A resistência à adesão média a 73 dias de exposição variou de 0,144 MPa (3% e PVA) para 0,591 MPa (7% de PVA). Entretanto, as argamassas com as concentrações de PVA inferiores a 7% não atenderam o padrão especificado para a resistência à adesão. Com o aumento do teor de polímero, alterações na porosidade não foram observadas.

Agradecimentos

Ao SENAI/SC pela concessão de bolsa de estudo conforme edital 2013/1 para a pesquisadora Simone Campos Bitencourt da Silva para a realização deste trabalho.

Referências

1. EDIS, E.; FLORES-COLEN, I.; BRITO, J. Passive thermographic detection of moisture problems in façades with adhered ceramic cladding. **Construction & Building Materials**, v. 51, p. 187-197, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.085>.
2. WETZEL, A.; ZURBRIGGEN, R.; HERWEGH, M. Spatially resolved evolution of adhesion properties of large porcelain tiles. **Cement and Concrete Composites**, v. 32, n. 5, p. 327-338, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.02.002>.
3. SILVESTRE, J. D.; DE BRITO, J. Ceramic tiling in building façades: Inspection and pathological characterization using an expert system. **Construction & Building Materials**, v. 25, n. 4, p. 1560-1571, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.09.039>.
4. BLOCKEN, B.; DEROME, D.; CARMELIET, J. Rainwater runoff from building façades: a review. **Building and Environment**, v. 60, p. 339-361, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.10.008>.
5. FERREIRA, L. et al. Causes of the fall of tiles applied in exteriors walls of buildings from 1850 to 1920. In: MEETING ON PATHOLOGY AND REHABILITATION OF BUILDINGS: PATORREB, 3., 2009, Porto, Portugal. **Proceedings...**
6. SANJUAN, C. et al. Energy performance of an open-joint ventilated facade compared with a conventional sealed cavity façade. **Solar Energy**, v. 85, n. 9, p. 1851-1863, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2011.04.028>.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **ABNT NBR 13755:1996**: revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante: procedimento. Rio de Janeiro, 1996.
8. SILVA, A.; BRITO, J.; GASPAR, P. Service life prediction model applied to natural stone wall claddings (directly adhered to the substrate). **Construction & Building Materials**, v. 25, n. 9, p. 3674-3684, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.03.064>.
9. HOVDE, P. Factor methods for service life prediction. In: INTERNATIONAL COUNCIL FOR BUILDING – CIB. **CIB W080/RILEM 175 SLM**: service life methodologies prediction of service life for buildings and components: performance based methods of service life prediction. Norway, 2004. p. 1-51.
10. SÁ, A. V. Metodologia para a avaliação da durabilidade de cimentos-cola em revestimentos cerâmicos aderentes a fachadas. In: CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 1., 2005, Porto. Porto: Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade de Porto, 2005.
11. GASPAR, P.; BRITO, J. Mapping defect sensitivity in external mortar linings. **Construction & Building Materials**, v. 19, n. 8, p. 571-578, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.01.014>.
12. GASPAR, P.; BRITO, J. Quantifying environment effects on cement-rendered façades: a comparison between different degradation indicators. **Building and Environment**, v. 43, n. 11, p. 1818-1828, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.10.022>.
13. FREITAG, S. et al. Lifetime prediction using accelerated test data and neural networks. **Computers & Structures**, v. 87, n. 19-20, p. 1187-1194, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruc.2008.12.007>.
14. GASPAR, P. **Service life of constructions: development of a methodology to estimate the durability of construction elements**: application to renders in current buildings. 2009. Tese (Doutorado)–Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2009.
15. BORDALO, R. et al. Service life prediction modelling of adhesive ceramic tiling systems. **Building Research and Information**, v. 39, n. 1, p. 66-78, 2011. <http://dx.doi.org/10.1080/09613218.2010.532197>.
16. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **ABNT NBR 13818:1997**: placas cerâmicas para revestimento: especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 1997.
17. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **ABNT NBR 14081-2:2015**: argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 2: execução do substrato-padrão e aplicação da argamassa para ensaios. Rio de Janeiro, 2015.
18. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **ABNT NBR 14081-1:2015**: argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 1: requisitos. Rio de Janeiro, 2015.
19. WAGNER, H. B. Compressive strength of polymer-modified hydraulic cements. I & EC Product. **Research for Development**, v. 5, n. 2, p. 149-152, 1966.

20. SILVA, D. A.; ROMAN, H. R. Caracterização microestrutural de pastas de cimento aditivadas com polímeros HEC e EVA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIAS DAS ARGAMASSAS, 4., 2001, Brasília. **Anais...** Brasília: UnB- PECC/ANTAC, 2001. p. 15-41.
21. JENNI, A. et al. Changes in microstructures and physical properties of polymer-modified mortars during wet storage. **Cement and Concrete Research**, v. 36, n. 1, p. 79-90, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.06.001>.
22. MARANHÃO, F. L.; SILVA, A. J. C.; SICHIERI, E. The influence of moisture on the adhesive performance. In: QUALICER – WORLD CONGRESS ON CERAMIC TILE QUALITY, 10., 2008, Castellon. 2008. **Proceedings...**
23. FISCHER, I. et al. Compressive strength of cement paste as a function of loading rate: Experiments and engineering mechanics analysis. **Cement and Concrete Research**, v. 58, p. 186-200, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2014.01.013>.