

ARGAMASSAS DE RESTAURAÇÃO PARA REVESTIMENTO

Tema: tecnologia dos materiais.

THIAGO M. MENDES¹, MARCELO H.F. MEDEIROS², BERNARDINO, F.C.

¹Prof. Dr., UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná/UTFPR, thiagomendes@utfpr.edu.br

²Prof. Dr., PPGECC – Universidade Federal do Paraná/UPPR, medeiros.ufpr@gmail.com.br

RESUMO

Neste estudo foram avaliadas 4 formulações de argamassas para restauração de revestimentos em prédios históricos. Para composições contendo cal, cal e solo, cal e argila, e cal e cerâmica, o comportamento reológico foi avaliado pelo ensaio de *squeeze-flow*. Após 180 dias de cura, foram medidos o módulo de elasticidade, as resistências à flexão e de aderência. A microestrutura das composições foi avaliada por meio de difração de raio-X e análise termogravimétrica. Os resultados obtidos demonstram que o emprego de solo aumenta a água de amassamento, reduzindo a variabilidade no comportamento reológico. As formulações apresentam resistência à flexão próximas a 1 MPa. A formulação com cal apresentou o maior módulo de elasticidade. Enquanto a formulação com cal e argila apresenta a menor rigidez. A resistência de aderência das formulações de cal, e cal e cerâmica atingiram valores médios de 0,78 e 0,39 MPa, respectivamente. A formulação de cal e cerâmica apresentou a maior quantidade de C-S-H, devido a reação pozolânica. A carbonatação ocorreu em todas as formulações. As composições com cal, e cal e cerâmica são as mais indicadas para formulação de argamassas de restauração para revestimento.

Palavras-chave: comportamento reológico, módulo de elasticidade, resistência a flexão, aderência, microestrutura.

MORTAR OF RESTAURATION MORTAR FOR RENDERING

ABSTRACT

In this study four different formulations of mortars for restoration of rendering in historical buildings were evaluated. For mixtures containing lime, lime and soil, lime and clay, and lime and ceramic, the rheological behaviour was evaluated through squeeze-flow test. After 180 days, the static modulus of elasticity, the flexural and adherence strengths were measured. The microstructure of mortars was studied through X-ray diffraction and thermogravimetric analysis. The obtained results revealed that the use of soil, led to an increasing on the water demand, reducing the variability on the rheological behavior. The mortars presented a flexural strength around 1 MPa. The formulation of lime presented the higher modulus of elasticity. While the formulation with lime and clay presents the lower stiffness. The adherence strength of formulations of lime, and lime and ceramic present average values of 0.78 and 0.39 MPa, respectively. The mortar of lime and ceramic showed the higher amount of C-S-H, due to the pozzolanic reaction. The carbonatation occurred for all formulations. The compositions of lime, and lime and ceramic are the most indicated for the formulation of restoration mortar for rendering.

Key-words: rheological behavior, module of elasticity, flexural strength, adherence and microstructure.

1. INTRODUÇÃO

A manutenção e restauração de edifícios históricos é uma questão importante para patrimônio histórico, perpetuando a materialidade das fontes históricas através das construções. Neste sentido, o emprego de técnicas e materiais originais preserva a história da construção civil. Enquanto, a inserção de tecnologias atuais, acompanha a evolução dos materiais e técnicas construtivas empregadas nos edifícios históricos ^(1,2). Contudo, o desempenho do revestimento é a questão a ser considerada. Garantindo maior durabilidade ao edifício, reduzindo os custos de manutenção, e a interrupção das atividades, principal fim destes equipamentos públicos.

Considerando a caracterização de argamassas de revestimento extraídas da Escola Técnicas de Campinas, chamada de COTUCA ⁽³⁾. Pertencentes a um edifício histórico inaugurado em 1918 e projetado por Ramos de Azevedo. Com um teor médio de aglomerante de 16,6%, composto por: Calcita, Gehlenita (C₂AS), Quartzo, Caulinita, Etringita, silicatos e aluminatos de cálcio hidratados, hidróxidos e carbonatos de Cálcio e de Magnésio. Indicando o uso de cal em conjunto com outro ligante como solo, argila ou cerâmica moída. Este estudo tem como objetivo avaliar quatro formulações de argamassas de restauração para revestimento de prédios históricos considerando o comportamento reológico, desempenho mecânico e microestrutura.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

A Tabela 01 apresenta as argamassas avaliadas neste estudo, cuja a água de amassamento foi determinada experimentalmente por meio da mesa de consistência normal ⁽⁴⁾, para uma abertura de 22 +/- 1 cm. A caracterização reológica destas misturas foi avaliada por meio do ensaio de squeeze-flow ⁽⁵⁾. Para os ensaios de tração na flexão ⁽⁶⁾, foram moldados 6 corpos-de-prova prismáticos de 4 x 4 x 16 cm, desformados 15 dias após a moldagem. E mantidos ao ar sob temperatura ambiente durante 180 dias. Para o ensaio de aderência, foram moldados 3 prismas, de 02 tijolos cerâmicos unidos por uma camada de 2 cm de argamassa. A aderência das argamassas foi medida nos próprios primas e em pastilhas com 5 cm de diâmetro ^(7,8,9).

Tabela 01 – Argamassas estudadas (Traço)

Descrição	CAL	CAL + SOLO	CAL + ARGILA	CAL + CERÂMICA
Cal CHI	16,66%	10%	10%	10%
Solo laterítico	0	6,66%	0	0
Argila	0	0	6,66%	0
Cerâmica vermelha moída	0	0	0	6,66%
Areia quartzosa média	83,33%	83,33%	83,33%	83,33%

Para avaliar a microestrutura das argamassas, pequenos fragmentos das amostras foram moídos com almofariz e peneirados na malha # 100 (0,150 mm). A composição mineralógica das argamassas foi determinada por meio de difratometria de raios-X, empregando-se um difratômetro 2D Phaser Brucker, operando com corrente de 10 mA e potência de 30 kV, com tubo de cobre ($\lambda = 1.5402$ nm), $2\theta = 10$ a 70° , com passo angular de $0.1^\circ/s$. Para análise termogravimétrica, as amostras foram submetidas uma taxa de aquecimento de $10^\circ C/min$ até $950^\circ C$, sob fluxo de nitrogênio de 10 ml/min.

3. RESULTADOS

A Figura 1 (a) apresenta as curvas tensão x deslocamento dos ensaios de *squeeze-flow* das argamassas avaliadas. Nota-se que o comportamento reológico das argamassas de CAL apresenta uma grande variabilidade. Dispersão que também é observada para as argamassas CAL + ARGILA, e CAL + CERÂMICA. Todavia, a argamassa CAL + SOLO é a que apresenta menor variabilidade quanto ao comportamento reológico. Na Figura 1 (b) tem-se a água de amassamento necessária para uma consistência de 22 ± 1 cm. Pode-se observar que a argamassa CAL + SOLO é a que apresenta a maior relação água/materiais secos para atingir esse padrão de trabalhabilidade. E conseqüentemente, um maior volume de pasta, o que pode explicar a menor variabilidade durante os ensaios de *squeeze-flow*. Para argamassas de restauração formuladas com 10% de cal e 5% cerâmica, e consistência de 18 ± 1 cm. Aalil et al. 2019⁽¹⁰⁾ apresenta valores para água de amassamento de 18.7%. Para argamassas formuladas com 11% de cal e 5% de resíduo de polimento de porcelanato, Breitenbach et al. 2017⁽¹¹⁾ apresenta um aumento da água de amassamento para uma consistência de 26 ± 1 cm.

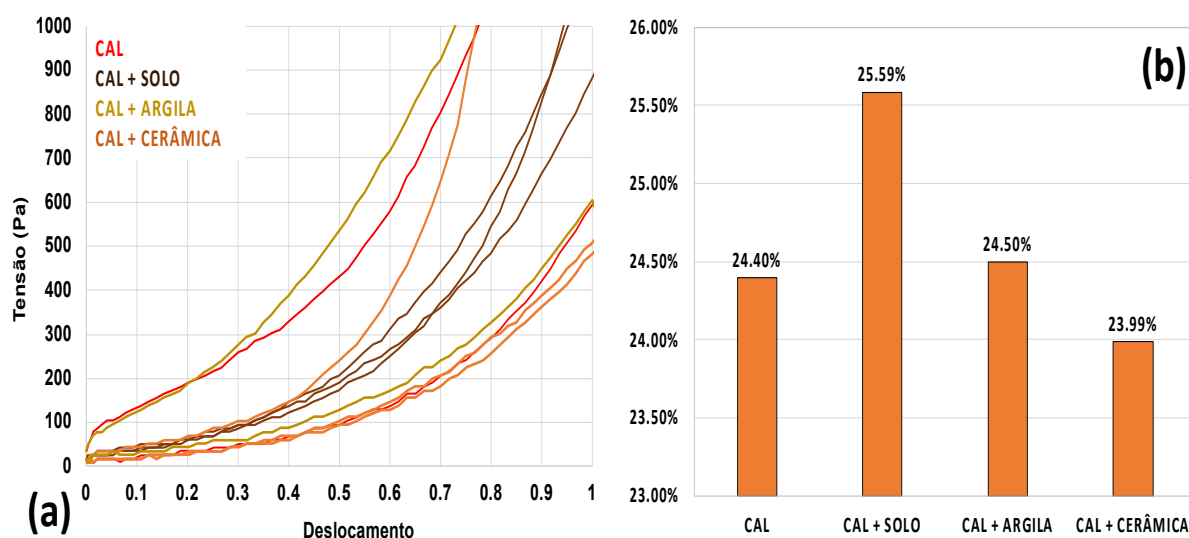


Figura 1 – (a) Ensaio de *squeeze-flow* (b) Água de amassamento



A Figura 2 (a) apresenta as curvas tensão x deformação das argamassas avaliadas, para as quais verifica-se que a argamassa de CAL apresenta o maior módulo de elasticidade, seguida pelas argamassas CAL + SOLO, CAL + CERÂMICA, e CAL + ARGILA. Para argamassas formuladas com cal e metacaulim, Aggelakopoulou et al. 2011 ⁽¹²⁾ apresenta uma redução no módulo de elasticidade em função da menor quantidade de metacaulim. Enquanto, Apostolopoulou et al. 2017 ⁽¹³⁾ apresenta um módulo de elasticidade para argamassas formuladas com cal e cerâmica, quanto comparadas às formulações com cal e metacaulim. Loureiro et al. 2020 ⁽¹⁴⁾ apresenta um módulo de elasticidade maior para argamassas de cal, quando comparadas à uma formulação com cal e metacaulim. Na Figura 3 (b) são apresentados os valores médios da resistência à tração na flexão, os quais apresentam a mesma tendência observada no módulo de elasticidade. A argamassa de CAL apresenta a maior resistência à flexão (1,15 MPa). Para argamassas de revestimento para restauração compostas por cal e areia, Salavessa et al. 2013 ⁽¹⁵⁾ apresenta valores entre 0,15 e 0,87 MPa. Enquanto, para formulações com 10 e 15% de cal de cascas de ovo calcinadas, Beck et al. 2010 ⁽¹⁶⁾ apresentou valores acima de 1,71 MPa.

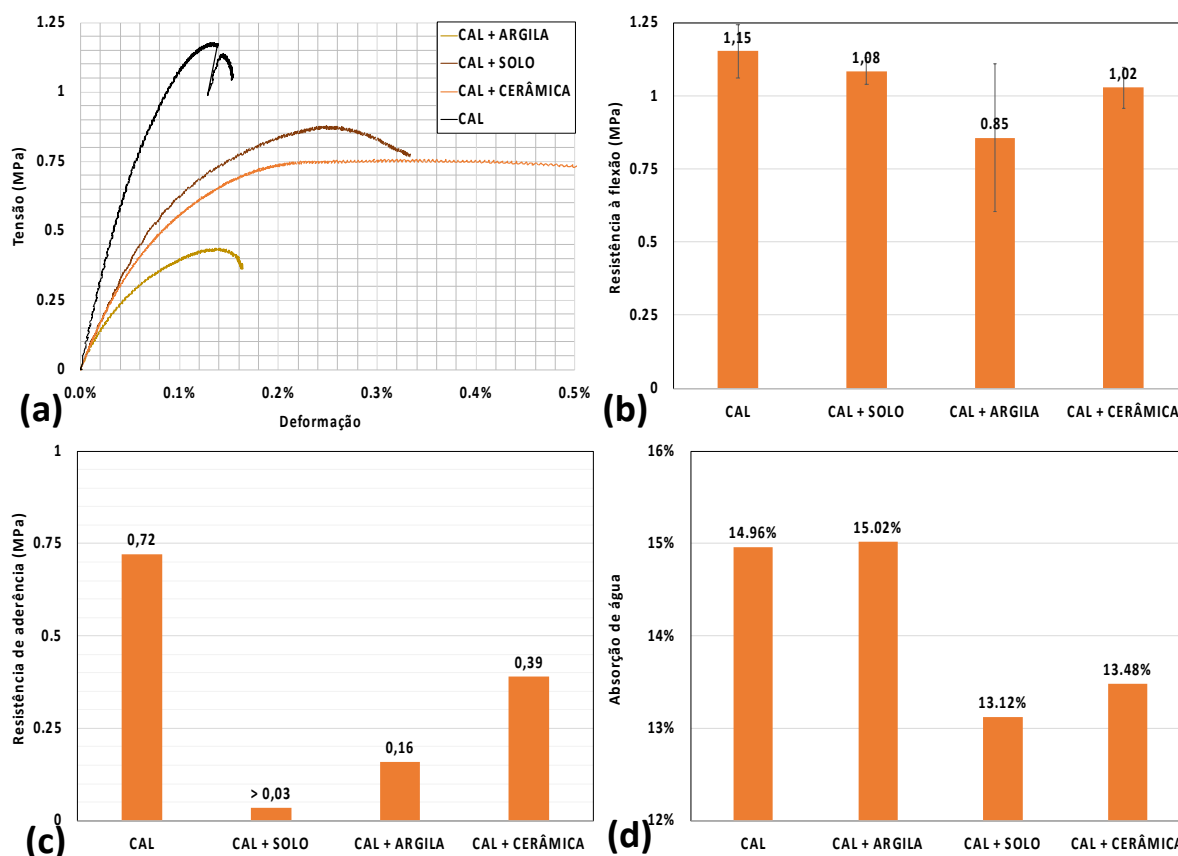


Figura 2 – (a) Curva Tensão deformação (módulo de elasticidade) (b) tração na flexão (c) aderência (d) absorção



Na Figura 3 (c) tem-se os valores da resistência de aderência das argamassas estudadas, das quais a argamassa de CAL apresentou o maior valor (0,72 MPa), seguido da formulação de CAL + CERÂMICA (0,39 MPa), e CAL + ARGILA (0,16 MPa). Para a argamassa de CAL + SOLO, as pastilhas suportaram o peso próprio do tijolo cerâmico + argamassa. Mas a ruptura ocorreu por cisalhamento durante a fixação dos pinos de arrancamento na prensa. Assim, assumiu-se um valor maior que o peso próprio do conjunto tijolo + argamassa. Breitenbach et al. 2017⁽¹¹⁾ avaliou o desempenho mecânico de argamassas formulados com 11,1% cal e 5% de resíduo de polimento de porcelanato, encontrou valores de resistência de aderência de 0,08 MPa aos 90 dias. Por fim, na Figura 3 (d) estão descritos os valores da absorção média de água dos corpos de prova dos ensaios de flexão. Nota-se que a argamassa formulada com CAL + SOLO é a que apresentou a menor porosidade aberta, seguida da formulação CAL + CERÂMICA, CAL e CAL + ARGILA. Santos et al. 2020⁽¹⁷⁾ avaliou argamassas de revestimento de uma construção do ano de 1908 no Piauí, com teores de aglomerante entre 4,15 e 15,2% em massa, e valores de absorção de água entre 11,83% e 16,2%.

A Figura 3 apresenta as curvas da derivada da perda de massa em função da temperatura (DTG) para as amostras avaliadas após 180 dias de cura. Nota-se que a menor quantidade de cal hidratada das amostras contento CAL + SOLO, CAL + ARGILA e CAL + CERÂMICA, resulta em uma menor perda de massa total para estas amostras. Na Figura 4 (a) verifica-se que uma pequena quantidade de produtos de hidratação presente nas amostras, para a faixa de temperatura de até 300°C, referente aos silicatos de cálcio hidratados (C-S-H). Nesta mesma Figura, é possível observar a redução do pico de perda de massa relacionados à Portlandita em relação ao carbonato de cálcio, para temperaturas entre 400 e 600°C, e 600 a 950°C, respectivamente. Confirmando o processo de carbonatação das amostras. Para argamassas de revestimento de uma construção de 1899, Matta et al. 2020⁽¹⁸⁾ apresentam a ocorrência de alguns produtos de hidratação na faixa até 200°C, provavelmente etringita devido à exposição ambiental e principalmente carbonato de cálcio. Não há evidência de hidróxido de cálcio na amostra, demonstrando a carbonatação da cal.

Para a formulação CAL + SOLO, cuja a análise termogravimétrica é apresentada na Figura 3 (b), a perda de massa até 300°C inclui a perda da água quimicamente ligada aos argilo minerais presentes no solo (Caulinita, Ilita, Montmorilonita) assim como da Gipsita (Al_2OH_3) e Hematita, cujos os picos característicos de decomposição podem ser observados para as faixas de temperatura de 200 a 250°C e de 600 a 650°C, respectivamente. A Figura 3 (c) apresenta a derivada da perda de massa da formulação com CAL + ARGILA, para a qual destacam-se os picos da decomposição da Portlandita e da Calcita. Para argamassas de restauração formuladas com 25% cal e 5% de metacaulim, Aggelakopoulou 2011⁽¹²⁾ constataram a presença de C-S-H. Mas diferente dos resultados obtidos aqui, as amostras dos autores não apresentam perda de massa do hidróxido e carbonato de cálcio. Que pode em partes ser explicada pela maior reatividade do metacaulim. Loureiro et al. 2020⁽¹⁴⁾ avaliou o uso de argamassas de cal e metacaulim, apresentando um pico perto de 200°C, e sem a



presença do pico característico do hidróxido de cálcio depois de 90 dias. Somente o pico da Calcita, indicando a carbonatação do hidróxido de cálcio e a reação pozolânica do metacaulim com a cal.

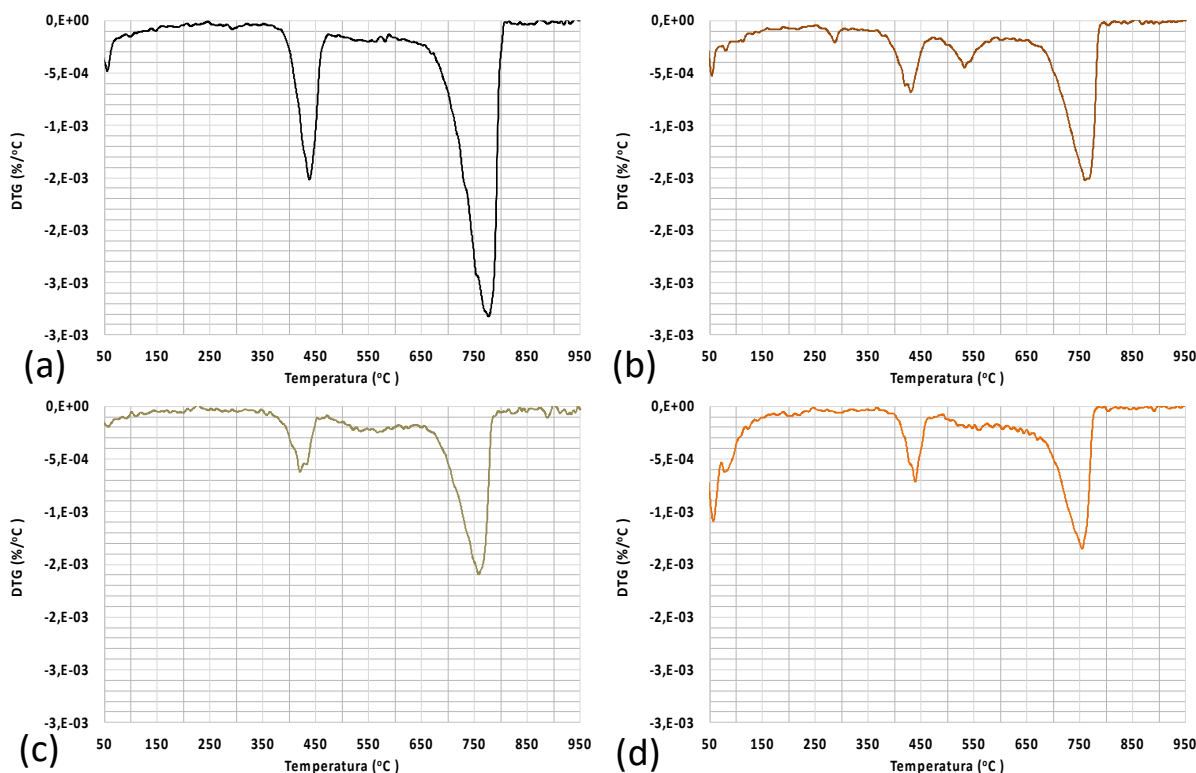


Figura 3 – (a) Derivada da perda de massa em função da temperatura (a) CAL (b) CAL + SOLO (c) CAL + ARGILA (d) CAL + CERÂMICA

Por fim, a Figura 3 (d) ilustra a maior quantidade de produtos de hidratação, decorrentes da reação pozolânica entre a cal e a cerâmica moída. Resultando em uma menor quantidade de calcita, dado o maior consumo de Portlandita na formação de C-S-H. Moropoulou et al. 2000⁽¹⁹⁾ avaliou argamassas de revestimento de antigas construções gregas, compostas com tijolos moídos, nas quais identificou a presença de Quartzo, Calcita, Dolomita, silicatos hidratados de cálcio, gesso e Tobermorita. Os autores apresentam um teor de aglomerantes (0,063 mm) de 25% em média, e valores de relação CO_2/H_2O na ordem de 5.66 a 5.89 e perdas de massa consideráveis no intervalo de 0 a 200°C, indicando a presença de silicatos de cálcio hidratados (C-S-H) e gesso. Moropoulou et al. 2005⁽²⁰⁾ avaliou argamassas para restauração compostas por cal + agregados e cal, cerâmica moída e areia, cuja a água quimicamente ligada de 2,86% para argamassas com cal e cerâmica moída, contra 1,26% da argamassa com cal e areia, indicando a reação pozolânica. Cerca de 15% de Portlandita e 77% de Calcita para argamassa de cal e areia, enquanto a argamassa formulada com cerâmica moída o conteúdo



de Portlandita é de 6.3% e 47% de CaCO_3 , indicando o consumo do hidróxido de cálcio na reação pozolânica.

A Figura 4 (a) apresenta o padrão de difração de raios-X da amostra formulada com CAL, para as quais destacam-se os picos de Quartzo (Q), Calcita (CaCO_3), Portlandita (CH), Tobermorita (C-S-H), e Gheglinita (C_2AS). Damas et al. 2018 ⁽²¹⁾ avaliou argamassas para assentamento de azulejos em Portugal, identificou a presença de cales Calcítica e Dolimítica, argilo-minerais, aluminados de cálcio hidratados (C-A-H), e gesso. Na Figura 4 (b), formulada com CAL + SOLO, pôde-se identificar a presença da Caulinita, Hematita e Vermiculita, além do quartzo (Q), Calcita (CaCO_3), Portlandita (CH), Tobermorita (C-S-H), e Gheglinita (C_2AS).

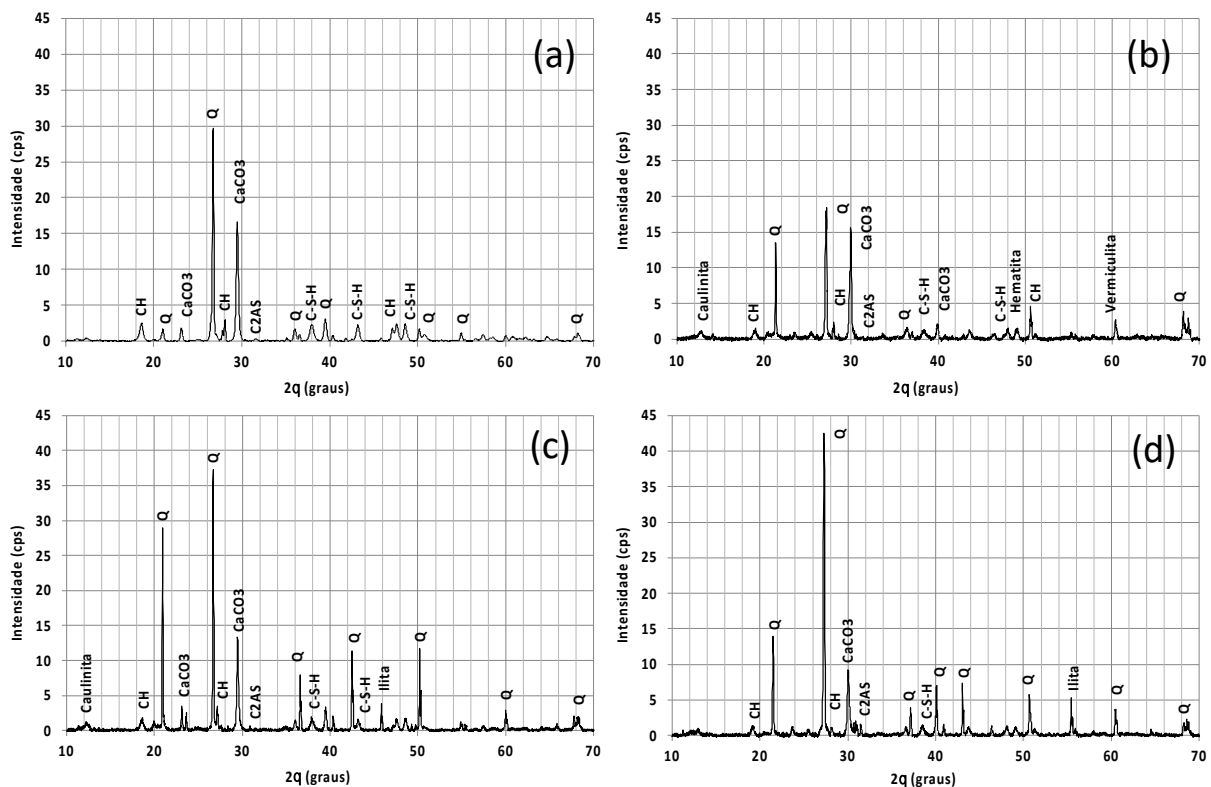


Figura 4 – Difratomogramas (a) CAL (b) CAL + SOLO (c) CAL + ARGILA (d) CAL + CERÂMICA

A Figura 4 (c) apresenta a composição mineralógica da argamassa formuladas com CAL + ARGILA, para a qual além dos picos de quartzo (Q), calcita (CaCO_3), Portlandita (CH), Tobermorita (C-S-H), Gheglinita (C_2AS), identifica-se os picos da Caulinita e da Ilita. Morillas et al. 2018⁽²²⁾ apresenta a caracterização mineralógica de uma argamassa de revestimento empregada na restauração de um forte na Espanha. Na amostra nota-se a presença de Calcita, Portlandita e Mulita. Por fim, a Figura 4 (d) apresenta os minerais identificados na formulação CAL + CERÂMICA, cuja a presença da Ilita se soma aos demais descritos para as outras formulações: quartzo (Q), calcita (CaCO_3), Portlandita (CH), Tobermorita (C-S-H), e Gheglinita



(C₂AS). Maravelaki-Kalaitzaki et al. 2005 ⁽²³⁾ identificou a presença de Calcita, Quartzo, Magnesita, Dolomita, Halite (NaCl), Ilita, e Muskovita em argamassas formuladas com cal e cerâmica moída e de cal magnesiana e tijolo moído.

4. CONCLUSÕES

As composições com CAL e CAL + CERÂMICA são as mais indicadas para a formulação de argamassas de restauração de revestimentos em edifícios históricos, considerando as propriedades mecânicas, o comportamento reológico e a microestrutura.

5. REFERENCIAS

1. KALAITZAKI, P.M; BAKOLAS, A; KARATASIOS, I; KILIKOGLU, V. Hydraulic lime mortars for the restoration of historic masonry in Crete. Cement and Concrete Research, v.35, n.8, p. 1577-1586, 2005. <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.09.001>
2. SCHUEREMANS, L. et al. Characterization of repair mortars for the assessment of their compatibility in restoration projects: Research and practice. Construction and Building Materials, 25, 4338-4350, (2011). <http://doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.01.008>
3. MENDES, T.M. RIBEIRO DE FARIA, J.P. TIRELLO, R.A. BERNARDINO, F.C. Characterization of historic mortars from Campinas (Brazil). In: XII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. São Paulo, 2017.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT 13276: Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro. 2016.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT 15839: Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Caracterização reológica pelo método *squeeze-flow*. Rio de Janeiro. 2010.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT 13279: Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão. Rio de Janeiro. 2005.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT 13528-1: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro. 2019.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT 13528-2: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Parte 2: Aderência ao substrato. Rio de Janeiro. 2019.



9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT 13528-2: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Parte 2: Aderência superficial. Rio de Janeiro. 2019.
10. AALIL, I. et al. Valorization of crushed bricks in lime-based mortars. *Construction and Building Materials*, 226, 555-563 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.265>
11. BREITENBACH, S.B. et al. Adição de resíduo de polimento de porcelanato em argamassas à base de cal. *Cerâmica*, 63, 395-401, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132017633672182>
12. AGGELAKOPOULOU, E. BAKOLAS, A. MOROPOULOU, A. Properties of lime-metakaolin mortars for the restauration of historic masonries. *Applied Clay Science*, 53, 15-19, 2011. <http://doi:10.1016/j.clay.2011.04.005>
13. APOSTOLOPOULOU, M. et al. A methodological approach for the selection of compatible and performable restauration mortars in seismic hazard areas. *Construction and Building Materials*, 155, 1-14, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.210>
14. LOUREIRO, A.M.S. PAZ, S.P. VEIGA, M.R. ANGÉLICA, R.S. Assessment of compatibility between historic mortars and lime-METAKAOLIN restoration mortar made from industrial waste. *Clay Applied Science*, 198, 105843, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2020.105843>
15. SALAVESSA et al. Historical plasterwork techniques inspire new formulations. *Construction and Building Materials*, 48, 858-867, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.07.064>
16. BECK, K. BRUNETAUD, X. MERTZ, J. AL-MUKHTAR, M. On the use of eggshell lime and tuffeau powder to formulate an appropriate mortar for restoration purposes. *In: Limestone in the Built Environment: Present-Day Challenges for the Preservation of the Past*. Geological Society, London, Special Publications, 331, 137–145. DOI: 10.1144/SP331.12 0305-8719/10/ The Geological Society of London 2010.
17. SANTOS, et al. Caracterização das argamassas históricas de revestimento do Cemitério em Francisco Santos-PI. *Brazilian Journal of Development*, 6(9). 68969-68982, 2020. DOI:10.34117/bjdv6n9-370
18. MATTA, S.L. et al. Characterization of the old rendering mortar of a Brazilian Historical Building. *International Journal of Development Research*, 10 (6), 36334-36342, 2020. <https://doi.org/10.37118/ijdr.18884.06.2020>
19. MOROPOULOU, A. BAKOLAS, A. BISBIKOU, K. Investigation of the technology of historic mortars. *Journal of Cultural Heritage*, 1, 54-58, 2000.



-
20. MOROPOULOU, A. et al. Strength development and lime reaction in mortars for repairing historic masonries. *Cement and Concrete Composites*, 27, 289-294, 2005. <https://doi:10.1016/j.cemconcomp.2004.02.017>
21. DAMAS, A.L. VEIGA, M.R. FARIA, P. SILVA, A.S. Characterization of old azulejos setting mortars: A contribution to the conservation of this type of coatings. *Construction and Building Materials*, 171, 128-139, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.103>
22. MORILLAS, H. VAZQUEZ, P. MAGUREGUI, M. MARCAIDA, I. SILVA, L.F.O. Composition and porosity study of original and restoration materials included in a coastal historic construction. *Construction and Building Materials*, 178, 384-392, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.168>
23. MARAVELAKI-KALAITZAKI, P. BALOKAS, A. KARATASIOS, I. KILIKOGLU, V. Hydraulic lime mortars for the restoration of historic masonry in Crete. *Cement and Concrete Research*, 35, 1577-1586, 2005. <https://doi:10.1016/j.cemconres.2004.09.001>