



Tópico 3 - Nº 22

INVESTIGAÇÃO DAS ARGAMASSAS ANTIGAS DE REVESTIMENTO DA REDUÇÃO JESUÍTICA GUARANI, SÃO MIGUEL ARCANJO, BRASIL

Paula N. Rodrigues (1,2); Geraldo Cechella Isaia (1); Márcio R. F. Soares (3)

(1) PPGEC, Universidade Federal de Santa Maria. Av. Roraima 1000, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil

(2) Faculdade da Serra Gaúcha. R. Os Dezoito do Forte 2366, 95020-472, Caxias do Sul, RS, Brasil

(3) CCET, Universidade de Caxias do Sul. R. Francisco Getúlio Vargas 1130, 95070-560 Caxias do Sul, RS, Brasil
paula.rodrigues@fsg.br

RESUMO

A Redução Guaranítica de São Miguel Arcanjo, um dos sete povos missioneiros que se instalaram no noroeste do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, por volta de 1687 no atual sítio, e parte de um dos trinta povos formados pela Companhia de Jesus. Dada a sua relevância histórica para o Brasil, este estudo tem como objetivo principal caracterizar analiticamente a constituição físico-química das argamassas originais, que ainda pontualmente são encontradas na Ruína, identificar seus principais materiais constituintes, bem como a existência ou não da cal e a forma com que esta se apresenta. Resultados obtidos, por microscopia eletrônica de varredura (MEV-EDS), difração de raios X (DRX), espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), análise granulométrica e análise por termogravimétrica (TG/DTG) indicam que a fonte principal de aglomerante era a cal. Cal, de origem animal ou pétreo, com a presença da cal calcítica em ambos os conjuntos de amostras. Os estudos mostram a presença da variação do carbonato de cálcio em aragonita nas amostras internas e de hidroxiapatita nas externas. Assim, com base neste estudo, busca-se de modo simplificado facilitar o trabalho de investigação de uma obra de restauro, com a criação de uma rotina básica para conhecimento e caracterização da matéria a ser restaurada se necessário para posterior intervenção.

Palavras-chave: *Argamassa histórica; caracterização físico-química; restauro*

1. INTRODUÇÃO

Nas edificações históricas a compatibilidade entre os materiais, o substrato antigo e a nova camada de reconstituição, torna a caracterização de argamassa antiga um assunto de grande importância, pois a preocupação com a preservação cultural, tem se tornado crescente nos últimos tempos. O uso de técnicas para a caracterização da microestrutura da argamassa auxilia na fundamentação teórica de um tipo de reconstituição de traço a ser adotado e chegar a um resultado com confiabilidade aceitável.

Para enfatizar a importância do tema das argamassas antigas utiliza-se nesse trabalho um monumento que possui reconhecimento como Patrimônio Nacional pelo IPHAN, e declarado como Patrimônio da Humanidade pela UNESCO, desde 1983. As ruínas de São Miguel Arcanjo, fazem parte dos Sete Povos das Missões que se localiza no, hoje, Estado do Rio grande do Sul. A redução formada por jesuítas e guaranis, em 1687, possui características visíveis na arquitetura, na arte religiosa e até mesmo nas cerâmicas, da mistura das duas culturas, a européia com os jesuítas e dos índios guaranis [1].

Ao estudar as origens e a evolução da Redução Jesuítica de São Miguel Arcanjo, constatou que em 1687 foi implantada no seu atual sitio, e somente em 1735 começou a construção da Igreja, hoje ruína. Sua construção foi realizada em quatro etapas [1], começando pela capela-mor, sacristia e contra sacristia e transepto. Uma observação de grande relevância é a data inscrita em



dos capitéis da Torre “1739 años”, indicando a provável época de sua construção. Tendo sido terminada com datas próximas a 1744 a 1747, algo em torno de 9 a 12 anos de construção, ou seja, 48 anos sem um espaço sagrado de grande monumentalidade, apenas com construções provisórias e secundárias com estrutura de madeira.

Relatos históricos indicam que o emprego da cal utilizada era pela calcinação da carapaça de caracol existente em abundância nos campos da região, e que esta cal era usada apenas para branquear. De acordo com Gutierrez [2], relata-se a descoberta de minas de cal na região por volta do ano de 1756, fato esse que facilita a primeira intervenção ocorrida entre 1762 e 1768, após o um incêndio provocado pela guerra guaraníca em 1756. Esta intervenção se deu na sacristia, mais precisamente na sua cúpula que antes era de madeira, transformou-se para tijolos e argamassa de cal [1]. Para o propósito deste trabalho cabe ainda ressaltar que em 1794 Bartolomé Coronil, administrador do Povo de São Miguel, requisitou a Buenos Aires ferramentas e material como cinco mil fanegas de cal (180.300 kg) para recuperação da Igreja, demonstrando obra de grande proporção a ser recuperada [3]. Em 1768 ocorreu a expulsão dos Jesuítas e a decadência das reduções, e em 1828 completo abandono e desocupação do povoado de São Miguel [3].

Contudo os revestimentos argamassados ainda sofrem algumas discriminações em um processo de restauro, pois são tratados sem nenhuma preocupação de registro do seu valor para sua permanência, como resultado do desconhecimento da constituição e da tecnologia envolvidos, faz com que técnicas ancestrais sejam perdidas. Logo há preocupação com o desenvolvimento de métodos e técnicas que permitam a conservação dos revestimentos ainda sobreviventes [4].

Conforme Kuhl [5], o tratamento das superfícies é um problema de restauração que deve ser tratado como um ato histórico-crítico. A superfície é a “pele”, o “órgão de choque” do edifício, e não uma simples roupagem, mas sim testemunho do decorrer da história. Para Candeias [6], é clara a necessidade de desenvolver e sistematizar uma metodologia para caracterizar o estudo de argamassas antigas.

É proposta uma caracterização analítica das amostras, onde investigar a composição química e física é o foco da pesquisa, que visa identificar os principais materiais constituintes da argamassa, tanto o aglomerante como o agregado, verificando a existência ou não da cal e a forma na qual ela se apresenta nas amostras. Com base neste estudo se objetiva, de forma simplificada, facilitar a análise de investigação de obra de restauro com uma rotina básica para conhecimento e caracterização do material a ser restaurado para posterior intervenção, de modo prático e científico.

Muito embora se saiba que é impossível se chegar à mesma argamassa original, a preocupação em restaurar com uma argamassa o mais compatível com o substrato deve ser tratada com grande relevância em projetos de restauração.

2. METODOLOGIAS

Foram retiradas amostras das argamassas de revestimento na fachada e na Sacristia Antiga, formando dois conjuntos com três amostras da fachada Norte (conjunto 1) e quatro amostras da sacristia Antiga (conjunto 2), totalizando sete (07) amostras. O baixo número de amostras se deve à falta de material original no monumento e a postura de não realizar procedimentos destrutivos neste, limitando-se apenas ao mínimo necessário. A caracterização físico-química das argamassas antigas se deu pela utilização de técnicas analíticas como descritas na sequência. Difração de raios X (DRX) para identificar a fase cristalina das argamassas e determinar a composição mineralógica do aglomerante e agregado. O equipamento utilizado foi um *Diffraktometer D500* da Siemens com uma fonte Cu-K α , (17,5 mA, 40 kV e $\lambda = 1,54 \text{ \AA}$) e filtro monocromador de grafite, a identificação dos picos e padrões de difração foi através de padrões difratométricos do *International Center for Diffraction Data* (ICDD). Espectroscopia no infravermelho por reflexão total atenuada (ATR-IR), utilizando um espectrômetro de infravermelho



de transformada de Fourier (FTIR) – *PerkinElmer Spectrum 400*, a fim de complementar a identificação de compostos por difração. Microscopia Eletrônica de Varredura com EDS (MEV-EDS), para análise composicional microestrutural (morfologia e textura) e química das amostras. As observações foram realizadas em um microscópio eletrônico de varredura Jeol JSM-6360 com sonda EDS acoplada Noran. Análise termogravimétrica e termogravimétrica diferencial (TGA/DTG), foi utilizada essencialmente para a determinação do teor carbonatos presentes e na possível presença de argilominerais, [7]. O equipamento utilizado foi um *Shimadzu TGA-50*, em atmosfera de N_2 com fluxo de 40 mL/min, utilizando amostras com aproximadamente 40 mg e ensaios realizados com rampa de aquecimento de $10^\circ C/min$ na faixa de temperatura entre 23 a $910^\circ C$. Estas técnicas se complementam e respondem aos objetivos propostos deste trabalho, tais como verificar a origem da cal, natureza geológica (rocha) ou natureza animal (concha). Identificar e caracterizar o aglomerante e o agregado, e por último aproximar o conhecimento dos materiais utilizados na época. Embora o ensaio de análise química tenha relevância e descrito na grande parte de trabalhos com análise de argamassa, optou-se por não realizá-lo, pelos motivos a seguir: quantidade insuficiente de material para realizar o ensaio, e principalmente, devido ao fato que a determinação da relação da proporção de aglomerante e agregado não fazer parte dos objetivos desta pesquisa. Decidiu-se por sua caracterização quanto ao tipo, natureza, e origem, podendo ser constatado por outros métodos na investigação, como a composição granulométrica, e microscopia óptica. O estudo desenvolvido constituiu no levantamento e análise de campo, com fonte de entrevistas e pesquisa documental. Abaixo um panorama geral do monumento em 1846, Fig. 1a, e situação atual, Fig. 1b, planta da igreja denominada como Ruína de São Miguel Arcanjo/RS, Fig. 1c.

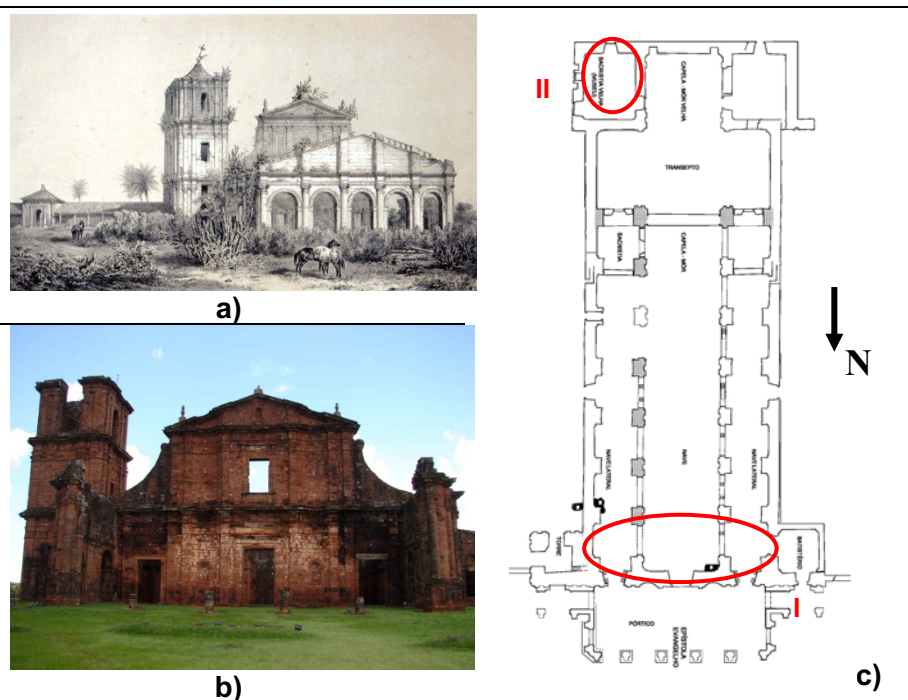


Figura 1 – a) Ruínas de São Miguel Arcanjo, 1846, Demersay (Fonte: Custódio [9]). b) Fachada principal da ruína 2011. c) Planta Baixa da Antiga Igreja e localização das amostras retiradas: pórtico (I) e sacristia velha (II)

As amostras extraídas todas de revestimento, continham uma camada de emboço, com espessuras variadas e uma fina camada de acabamento, contudo era visível a diferença de granulometria do agregado na massa, assim não sendo considerada apenas camada de



revestimento de pintura como muito autores sugerem a tabatinga (argila de barro branco ou esbranquiçado, encontrado junto aos córregos [1,9]). Com base em Veiga [4] e Nascimento [8], a Fig. 2 apresenta a rotina usada para a caracterização de argamassa antiga, utilizou-se destes modelos compondo um diagrama de procedimento e técnicas de acordo com as condições e recursos disponíveis para essa investigação, mostrando o mínimo necessário de técnicas destrutivas para uma investigação, apenas a TGA sendo destrutiva para amostra.

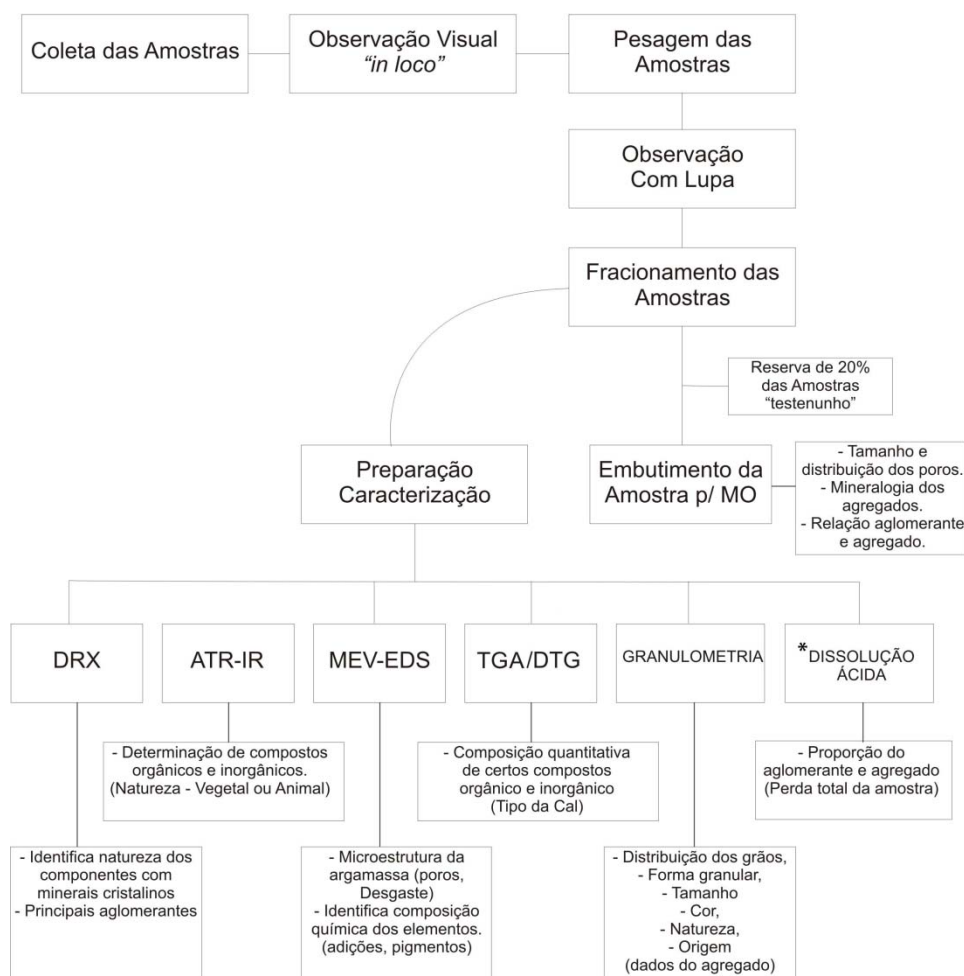


Figura 2 - Diagrama da rotina utilizada para a caracterização das argamassas de revestimento da Ruína de São Miguel Arcanjo. *Dissolução ácida não foi realizada por ser destrutiva. (adaptado Veiga [4] e Nascimento [8]).

3. RESULTADOS

3.1 Identificação e Caracterização do Aglomerante e Agregado

3.1.1 Aglomerante

A Fig. 3 abaixo apresenta resultados típicos de DRX para as argamassas de ambos os conjuntos estudados. Nela é possível observar o tipo de aglomerante e o agregado encontrado nas amostras [10,11]. Observa-se que no geral todas as amostras são basicamente constituídas de



carbonatos com variações da aragonita para o conjunto 2 e da hidroxiapatita (fosfato de cálcio cristalino de origem animal) para o conjunto 1, além do agregado silicioso (quartzo).

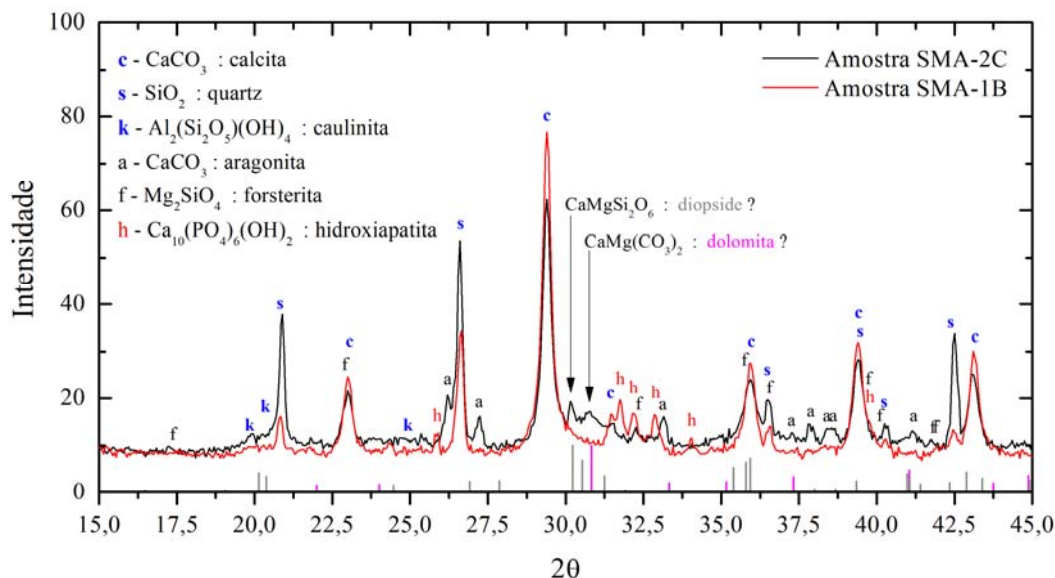


Figura 3 – Difratoograma Comparativo entre amostras típicas de cada conjunto e respectiva identificação dos picos: azul material comum entre amostras; preto somente no conjunto 2 e vermelho somente no conjunto 1.

A análise dos resultados obtidos por ATR-IR é apresentada na Fig. 4, e ratifica as observações feitas por DRX. Os principais picos dos espectros de infravermelho indicam a presença de calcita, aragonita e hidroxiapatita, além do agregado de quartzo, assim como observado nas análises de DRX [12,13,14,15].

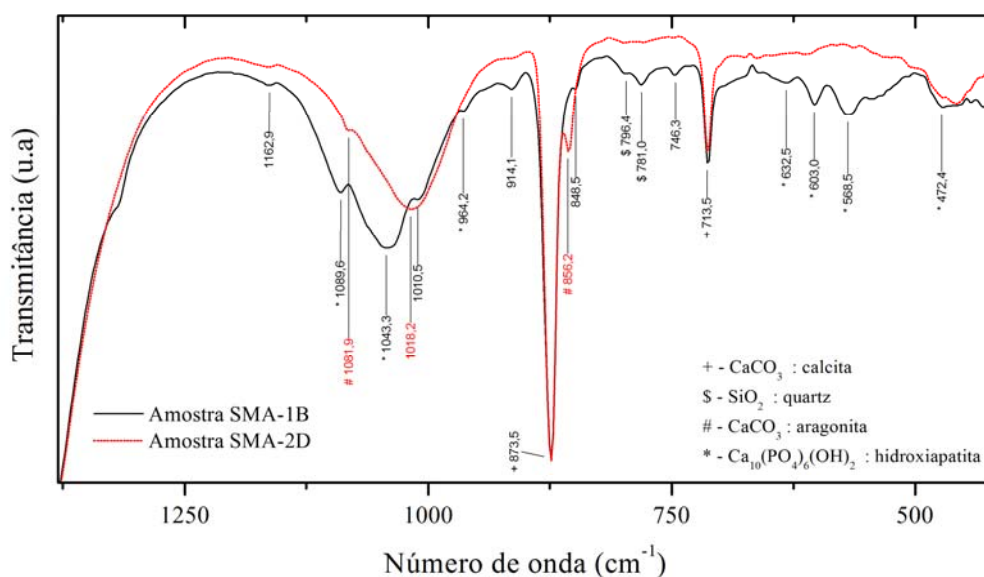


Figura 4 – Espectro característico do conjunto 1 e 2, indicadas com as amostras SMA-1B e SMA-2D. Principais compostos: calcita, aragonita e hidroxiapatita.



Através da análise por termogravimetria (TGA/DTG) é possível observar três intervalos distintos de reação na maioria das amostras analisadas. Abaixo a Fig. 5 ilustra duas curvas particulares de TGA e DTG para cada um dos conjuntos de amostras. A perda de massa observada no intervalo de 50 a 130°C está relacionada à água fisicamente adsorvida ao material (i.e. água higroscópica). Entre 360 a 500°C devido a perda de água intersticial (zeolítica) das argilas, ou à desidratação de Ca(OH)_2 (portlandite – não observada nas análises de DRX), e entre 600 a 900°C, a decomposição de CaCO_3 (calcita).

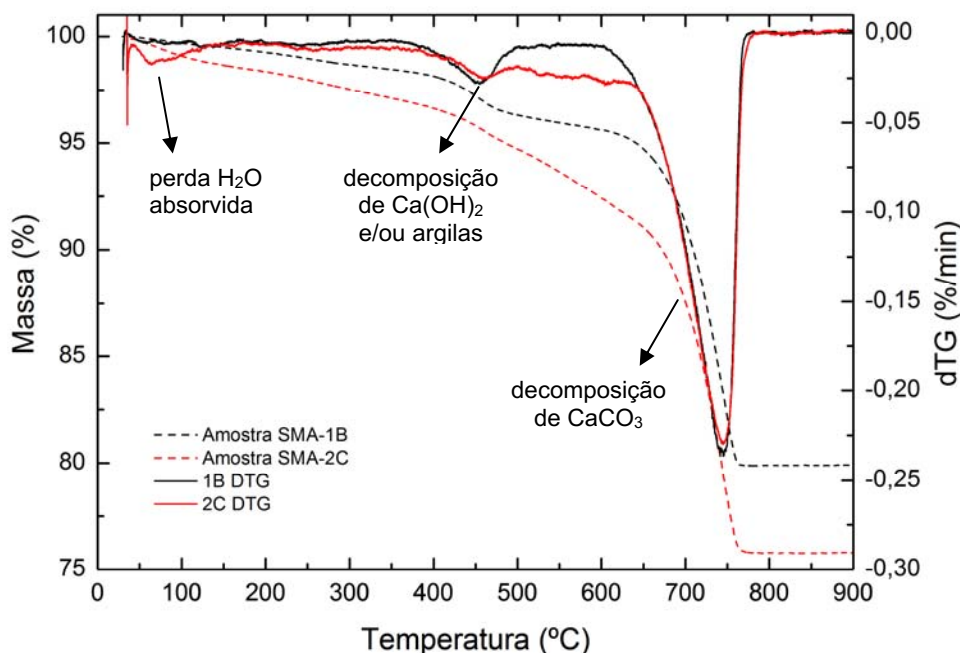


Figura 5– Curvas representativas das análises térmicas realizadas TGA/DTG.

A partir da Tabela 1, é possível obter a porcentagem de carbonato de cálcio presente em cada amostra analisada, calculada pelo fator de conversão entre a perda de CO_2 devida ao CaCO_3 , que é igual a 2,27.

Tabela 1 – Resultados de TGA/DTG. Perda de massa por intervalo de temperatura, e temperatura de pico obtida por DTG.

| Amostra | 50-130 °C | T _{p1} °C | 360-500 °C | T _{p2} °C | 600-900 °C | T _{p3} °C | Resíduo |
|---------|-----------|--------------------|------------|--------------------|------------|--------------------|---------|
| 1A | 0,5 % | - | 1,0 % | 444 | 28,4 % | 760 | 68,5 % |
| 1B | 0,5 % | - | 2,1 % | 455 | 16,0% | 746 | 80,0 % |
| 1C | 0,7 % | - | 0,8 % | - | 37,4 % | 767 | 60,0 % |
| 2A | 0,8 % | 62 | 0,9 % | - | 17,1 % | 750 | 79,0 % |
| 2B | 0,9 % | 61 | 0,8 % | - | 12,6 % | 741 | 83,2 % |
| 2C | 1,3 % | 75 | 2,3 % | 462 | 16,1 % | 746 | 75,8 % |
| 2D | 1,3 % | 60 | 1,4 % | 451 | 29,5 % | 764 | 64,2 % |

A Tabela 2 abaixo apresenta o teor de carbonato de cálcio presente em cada amostra.



Tabela 2 – Teor calculado de carbonato de cálcio presente em cada amostra.

| Amostra | % CO ₂ | % CaCO ₃ |
|---------|-------------------|---------------------|
| 1A | 28,4 | 64,4 |
| 1B | 16,0 | 36,1 |
| 1C | 37,4 | 84,8 |
| 2A | 17,1 | 38,7 |
| 2B | 12,6 | 28,7 |
| 2C | 16,1 | 36,6 |
| 2D | 29,5 | 67,1 |

Com base nestes resultados, a Fig. 6, apresenta a razão CO₂/H₂O_{hid} em relação à perda de %CO₂, juntamente com dados reportados por Moropoulou et al [16]. A razão CO₂/H₂O_{hid} basicamente expressa inversamente o caráter hidráulico de uma argamassa. Foram adicionados na figura os valores obtidos no trabalho.

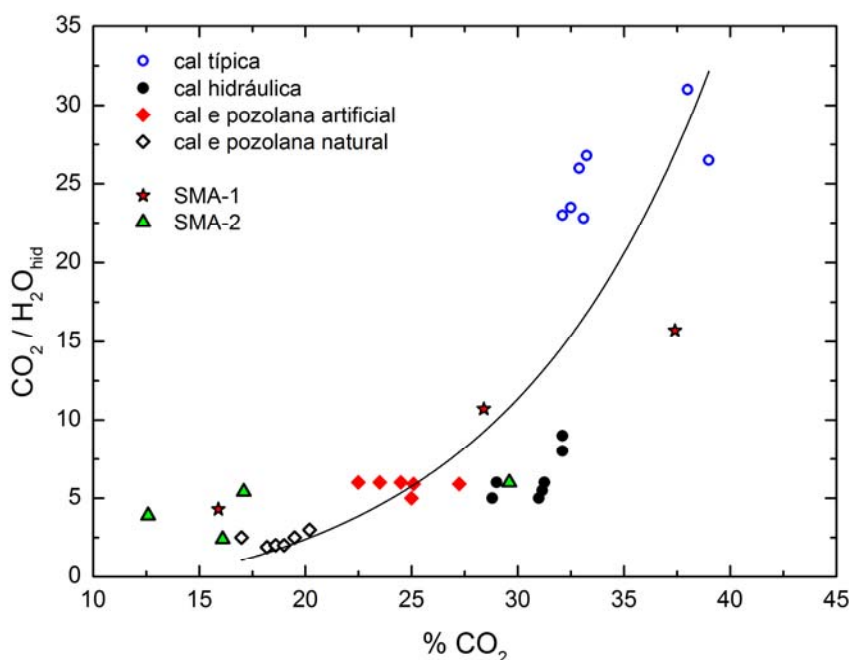


Figura 6 – Razão CO₂/H₂O_{hid} em relação à perda de %CO₂ para as amostras do conjunto 1 (SMA-1) e conjunto 2 (SMA-2), em comparação com dados e classificação da cal reportados por Moropoulou et al [16].

A análise microestrutural e composicional realizadas por MEV-EDS, indicam para ambos os conjuntos 1 e 2 de amostras uma característica de argamassa calcítica, com vestígios microscópicos de fibras em sua mistura e a presença de alumínio e magnésio. Onde, para estes últimos, acredita-se ter proveniência da argila contida na mistura, muito comum ao solo da região. A Fig. 7a e Fig. 7b indicam a presença de fibras em ambos os conjuntos de amostras. A respectivas Fig. 7c e Fig. 7d caracterizam o aglomerante tipicamente a base de cálcio. As Fig. 7e e 7f indicam a presença do agregado silicioso.

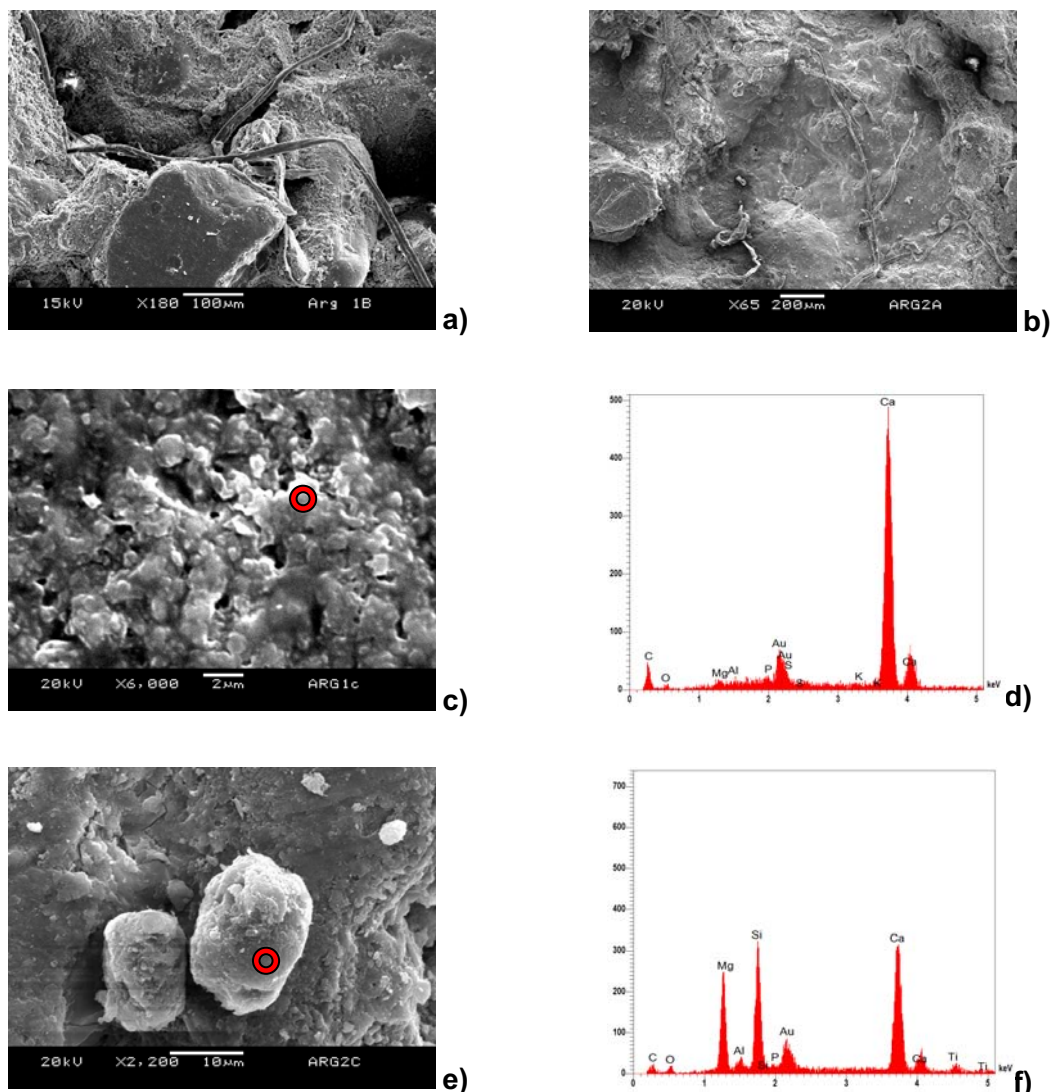


Figura 7 – a) e b) microestrutura que evidenciando fibras, amostra SMA-1B, e SMA-2A. c) e d) microestrutura da região do barramento da amostra SMA-1C indicando a presença da calcita e respectivo EDS. e) e f) microestrutura da região do emboço da amostra SMA-2C indicando a presença da calcita e agregado silicioso e respectivo EDS.

3.1.2 Agregado

A composição mineralógica do agregado possui grande importância na sua relação com o aglomerante na formação da argamassa. Além da origem, a distribuição, forma e tamanho do grão também influenciam na argamassa, uma vez que, quando necessário o que se tenta recuperar em uma nova argamassa é a textura superficial e cor. A análise granulométrica revelou que o agregado presente nos dois conjuntos de amostras apresenta, através de sua curva granulométrica – Fig. 8, com características de distribuição de grãos predominantemente contínua, indicando um menor índice de vazios no material analisado, com prováveis finos de natureza argilosa. Observa-se na fig. 8 que as curvas granulométricas dos dois conjuntos são praticamente paralelas, ou seja, apresentam aproximadamente a mesma distribuição de grãos e, ainda, formam dois grupos distintos: as curvas das amostras do conjunto 1 (fachada norte) são de gradação mais fina do que as do conjunto 2 (sacristia), menos fina.

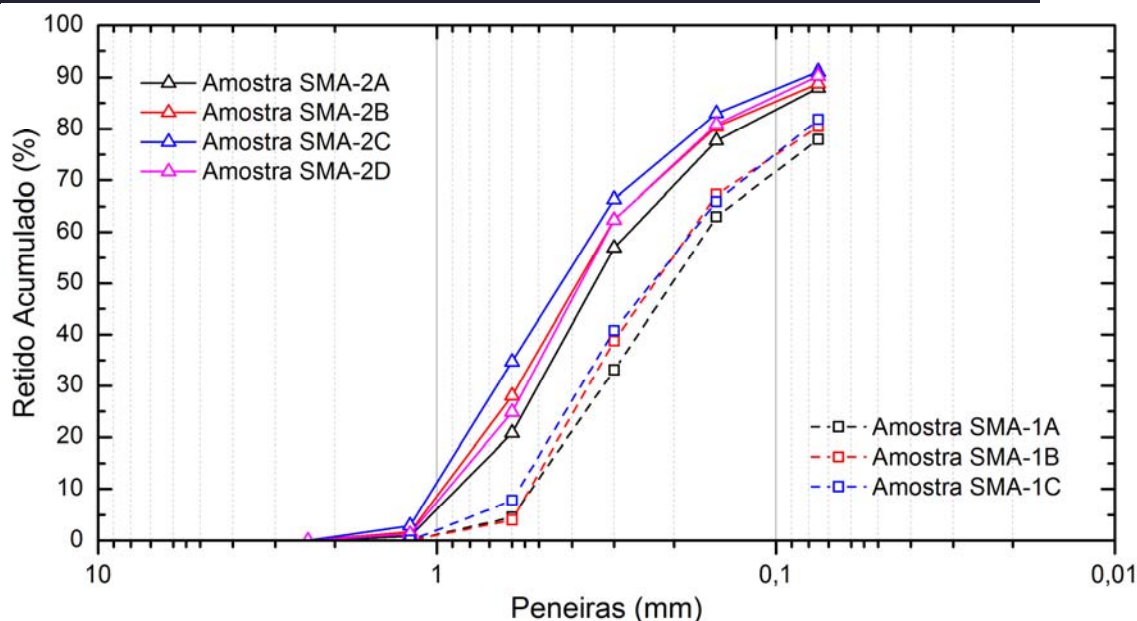


Figura 8. Curvas granulométricas do conjunto 1 e conjunto 2

4. CONCLUSÕES

Com as técnicas utilizadas de caracterização das argamassas das ruínas de São Miguel Arcanjo, através da análise de DRX e ATR-IR foi possível verificar o uso de argamassa de natureza calcítica, como também a presença de aragonita no conjunto 2 (amostras internas) e hidroxiapatita no conjunto 1 (amostras externas). De acordo com o histórico do monumento existe uma probabilidade do carbonato de cálcio ser, na variação da aragonita, originado da carapaça do caramujo molusco *Physa* SP [17]. Embora a região a qual se encontra o monumento não seja uma região com calcarias para extração de material, pode-se com base nos resultados, inferir que o material aglomerante era de natureza calcítica e não dolomítica. Sendo esta última de acordo com levantamento das jazidas de calcário do Rio Grande do Sul, na sua maioria dolomíticas. A presença de magnésio (na forma de forsterita) aparece na maioria das amostras do conjunto 2, e o agregado de quartzo (silicioso) ocorre na maioria das amostras. O caulim presente na análise de difração de raios X (DRX), com um pico fraco sugere uma contaminação do substrato, pois o tijolo era de argila local. Com as imagens obtidas por MEV e EDS, constatou-se a presença de fibras orgânicas (Fig. 7a e 7b) e de um ligante rico em cálcio (Fig. 7c). As análises granulométricas revelaram que todas as amostras continham areia fina, com módulos de finura médios de 1,09 para o conjunto 1 e de 1,71 para o conjunto 2, com dimensões máximas características de 0,6 mm e 1,2 mm, respectivamente. Por fim, coloca-se que uma rotina de caracterização e a utilização de técnicas em conjunto fornecem respostas para conhecer os materiais e misturas utilizadas no passado, são importantes para a preservação e conhecimento da história e do patrimônio.

REFERENCIAS

- [1] Stello, Vladimir Fernando. "Sitio Arqueológico de São Miguel Arcanjo: Avaliação Conceitual das Intervenções 1925-1927 e 1938-1940". *Dissertação Mestrado*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 177f. (2005).
- [2] Gutierrez, Ramón. "As Missões Jesuíticas dos Guaranis". Ed. UNESCO, 110 p. (1982).
- [3] Leal, Fernando Machado. "São Miguel das Missões – estudo de estabilização e conservação das ruínas da igreja". Revista no IPHAN, nº 19, Rio de Janeiro, (1984).



- [4] Veiga, M.R., Aguiar, J., Santos, Silva, A., Carvalho, F. "Methodologies for characterisation and repair of mortars of ancient buildings". *Proceedings of the 3rd International Seminar on Historical Constructions*, Guimarães, 353-362, (2001)
- [5] Kuhl, B. M. O "Tratamento das Superfícies Arquitetônicas com Problema Teórico da Restauração". *An. mus. paul.*, vol.12, n.1, pp. 309-330. (2004)
- [6] Candeias, A.E., Nogueira, P., Mirão, J., Santos Silva, A., Veiga, R., Gil Casal, M., Ribeiro, I., Seruya, A.I. "Characterization of ancient mortars: present methodology and future perspectives". *Ext. Abs. of CERC3 Workshop on Chemistry in the Conservation of Cultural Heritage*, EU-ARTECH, (2006). (disponível em http://www.eu-artech.org/files/Ext_ab/candeias.pdf).
- [7] Moropoulou, A., Bakolas, A., Bisbikou, K., 1999. "Investigation of the technology of historic mortars". *Journal of Cultural Heritage* 1, 45–58. (2000).
- [8] Nascimento, C. B. do; Oliveira, M. C. B. de; Quarcioni, V. A.; Katinsky, J. R. Silva, H.A.A. "Método de Caracterização de Argamassas Históricas: Proposição e Estudos de Caso". 1er. Congreso Iberoamericano y VIII Jornada "Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio"– La Plata, Buenos Aires, Argentina. (2009).
- [9] Custódio, Luiz Antônio Bolcato. "Caderno de História - Missões Jesuíticas - Arquitetura e Urbanismo". 21. ed. Porto Alegre: Memorial do Rio Grande do Sul, v. 2000. 30p. (2006).
- [10] Bleicher, L.; Sasaki, J. M. "Apostila de Introdução a Difração de Raios X em Cristais". UFC, (2000).
- [11] Candeias A. E., Silva A. S., Pais A. C., Nogueira P. M. "Caracterização de Argamassas do Conjunto Monumental do Castelo de Viana do Alentejo". *Conservar Património*, ARP nº 1, pp 21- 32. (2005).
- [12] Biscontin, Guido; Birelli, Marta Pellizon; Zendri, Elisabetta. "Characterization of binders employed in the manufacture of Venetian historical mortars". *Journal of Cultural Heritage*. v.3, pag 31-37. (2002).
- [13] Bakolas, A.; Biscontin, G.; Moropoulou, A.; Zendri, E. "Characterization of the lumps in the mortars of historic masonry". *Thermochimica Acta* 269/270, pag 809-816. (1995).
- [14] Genestar, Catalina; Pons, Carmen. "Ancient covering plaster mortars from several convents and Islamic and Gothic palaces in Palma de Mallorca (Spain). Analytical characterisation". *Journal of Cultural Heritage*. v.4, pag 291-298. (2003).
- [15] Wang, Chengyu; Zhao, Jingzhe; Zhao, Xu; Bala, Hari; Wang, Zichen. "Synthesis of nanosized calcium carbonate (aragonite) via a polyacrylamide inducing process". *Powder Technology*. v.163, pag. 134-138. (2006).
- [16] Moropoulou, A.; Bakolas, A.; Anagnostopoulou, S. "Composite Materials in Ancient Structures". *Cement and Concrete Composites*. ISSN 0958-9465. 2005, vol. 27, nº2, pp. 295-300. (2004).
- [17] Paula, Silvia Maria de. "Uma abordagem de parâmetros da biomineralização em um sistema constituído por carbonato de cálcio". Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo, Instituto de Física, São Paulo. 174f. (2006).