

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**PAOLA VOGELI RAMOS**

**AVALIAÇÃO DE ARGAMASSA HISTÓRICA DE REVESTIMENTO DA ESTAÇÃO  
FERROVIÁRIA DE ALEGRETE - RS**

**Alegrete - RS**

**2023**

**PAOLA VOGELI RAMOS**

**AVALIAÇÃO DE ARGAMASSA HISTÓRICA DE REVESTIMENTO DA ESTAÇÃO  
FERROVIÁRIA DE ALEGRETE - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia Civil  
da Universidade Federal do Pampa, como  
requisito parcial para obtenção do Título de  
Bacharel em Engenharia Civil

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Simone Dornelles  
Venquiaruto.

Coorientador: Prof. Me. Aldo Leonel Temp.

**Alegrete - RS**

**2023**

**PAOLA VOGELI RAMOS**

**AVALIAÇÃO DE ARGAMASSA HISTÓRICA DE REVESTIMENTO DA ESTAÇÃO  
FERROVIÁRIA DE ALEGRETE - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 26 de janeiro de 2023.

Banca examinadora:

Profa. Dra. SIMONE DORNELLES VENQUIARUTO - UNIPAMPA - Orientadora

Prof. Me. ALDO LEONEL TEMP - UNIPAMPA - Coorientador

Profa. Dra. FERNANDA BIANCHI PEREIRA DA COSTA - UNIPAMPA

Enga. Ma. CAROLINE GIORDANI - Membro externo



Assinado eletronicamente por **SIMONE DORNELLES VENQUIARUTO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 03/02/2023, às 19:27, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **Caroline Giordani, Usuário Externo**, em 06/02/2023, às 12:05, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **ALDO LEONEL TEMP, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/02/2023, às 20:29, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **FERNANDA BIANCHI PEREIRA DA COSTA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/02/2023, às 09:40, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1047471** e o código CRC **EABD1107**.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente à Deus, pela vida e por sempre se mostrar presente.

Aos meus pais, José Ramos e Carla Mey Ramos, por todo incentivo e apoio incondicionais, sendo os melhores pais que alguém poderia ter.

Ao meu irmão José Carlos, pelo carinho e companheirismo.

A minha irmã Priscila, que mesmo morando há um oceano de distância, sempre esteve presente me apoiando e auxiliando durante toda minha trajetória acadêmica.

Aos amigos que fiz durante toda a graduação, em especial ao Pablo Freitas, que me ajudou na coleta de amostras para a realização deste trabalho, e sempre esteve ao meu lado para o que precisasse.

Ao meu namorado Wesley de Moura, pelo companheirismo e apoio.

Aos professores, Simone Venquiaruto e Aldo Temp, por todos ensinamentos.

## RESUMO

As construções históricas são de grande importância para a sociedade, nos aportando informações de um meio de vida, de métodos construtivos e nos detalham preciosos conhecimentos sobre o passado. Na grande maioria, estas construções não contam com manutenções e se encontram em estado de degradação avançado, desta forma, a argamassa de revestimento perde sua função de proteger a estrutura e as vedações. Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo realizar a caracterização do revestimento de argamassa da Estação Ferroviária de Alegrete, no Rio Grande do Sul, que se trata de uma construção de valor histórico para a cidade de Alegrete/RS. Foram coletadas cinco amostras de argamassa de revestimento para verificar o teor de umidade e caracterizar e identificar os componentes, por meio da técnica de ataque químico e determinação da composição granulométrica do agregado, fluorescências de raios X (FRX) e microscopia eletrônica de varredura (MEV). As proporções encontradas através do ataque químico variaram a proporção de 1:1,92 até 1:4,99 (aglomerante:agregado, em massa), condizente com proporções de argamassas de construções históricas encontradas em outros trabalhos científicos, demonstrando que esta técnica é eficaz. A granulometria dos agregados miúdos é semelhante dos agregados miúdos naturais usados nesta região e derivados do rio Ibicuí. Os resultados dos ensaios de fluorescência indicam a probabilidade do ligante das argamassas ser à base de cal, em função do elevado percentual de óxido de Cálcio (CaO) identificado nas amostras. Pelas imagens captadas no microscópio eletrônico de varredura, foi possível concluir que a argamassa apresenta uma certa porosidade, baseada na sua distribuição, condizente com as argamassas históricas.

Palavras-Chave: argamassa histórica, caracterização de revestimento, ataque químico, Estação Ferroviária de Alegrete, fluorescência de raios X, microscopia eletrônica de varredura.

## ABSTRACT

Historic constructions are of great importance to society, providing us information about a way of life, construction methods and knowledge about the past. Most of these constructions do not have maintenance and are in an advanced state of degradation, in this way, the coating mortar loses its function of protecting the structure and sealing. In view of this, the present work aims to carry out the characterization of the mortar coating of the Alegrete Railway Station, in Rio Grande do Sul, which is a construction of historical value for the city of Alegrete/RS. Five samples of coating mortar were collected to characterize and identify the components, using the chemical attack technique and granulometric composition, X-ray fluorescence (FRX) and scanning electron microscopy (SEM). The proportions found through chemical attack ranged from 1:1.92 to 1:4.99 (binders:agregate, in mass), consistent with proportions of mortars in historic buildings found in other scientific works, demonstrating that this technique is effective. The results of the fluorescence tests indicate the probability that the mortar binder is lime-based, according to the percentage of Calcium Oxide (CaO) identified in the samples. The granulometry of the fine aggregates are similar to the natural fine aggregates used in this region and derived from the Ibicuí River. From the images captured in the scanning electron microscope, it was possible to conclude that the mortar has a certain porosity, based on its distribution, consistent with historic mortars.

Keywords: historic mortar, characterization of coatings, chemical attack, Alegrete Railway Station, X-ray fluorescence, scanning electron microscopy.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Difratoograma de uma amostra de argila com calcário .....	19
Figura 2 – Espectros de fluorescência de raios X .....	20
Figura 3 – Organograma do Programa Experimental.....	21
Figura 4 – Fotografia da primeira construção da Estação Ferroviária de Alegrete na década de 1910.....	22
Figura 5 – Fotografia da Estação Ferroviária de Alegrete na década de 30 .....	23
Figura 6 – Estação Ferroviária de Alegrete fotografada em 27 de julho de 2022.....	23
Figura 7 - Retirada das amostras .....	24
Figura 8 – Fachada frontal da estação com indicação dos pontos de extração das amostras.....	25
Figura 9 – Imagens dos pontos de coleta: (a) amostra A1; (b) amostra A2; (c) amostra A3; (d) amostra A4; (e) amostra A5.....	26
Figura 10 – Amostras secas.....	26
Figura 11 – Desagregação das amostras .....	27
Figura 12 – Amostras secas e desagregadas .....	28
Figura 13 – Etapas do ataque químico.....	29
Figura 14 – Coloração das argamassas após dissolução em ácido. (a) amostra A1; (b) amostra A2; (c) amostra A3; (d) amostra A4; (e) amostra A5. ....	32
Figura 15 – Distribuição granulométrica dos agregados .....	34
Figura 16 – Captura do MEV – Agregados miúdos .....	36
Figura 17 – Captura MEV – Poros .....	37

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Dados das amostras.....	25
Quadro 2 – Teor de umidade .....	31
Quadro 3 – Proporcionamento ligante/agregado.....	32
Quadro 4 – Diâmetro máximo e módulo de finura dos agregados. ....	33
Quadro 5 – Média dos resultados da FRX .....	35



## **LISTA DE SIGLAS**

CEPAL – Centro de Pesquisa e Documentação de Alegrete

DRX – Difração de raios X

FRX – Fluorescência de raios X

FT-IR – Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier

IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

MEV – Microscopia eletrônica de varredura

UNESCO – Organização das Nações Unidas

UNIPAMPA – Universidade Federal do Pampa

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>7</b>
1.1	Objetivo Geral.....	8
1.2	Objetivos específicos .....	8
1.3	Estrutura do Trabalho.....	8
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>9</b>
2.1	Construções históricas .....	9
2.2	Estado de degradação das construções históricas no Brasil e no Rio Grande do Sul .....	10
2.3	Revestimentos das construções históricas .....	12
2.4	Técnicas para a caracterização de argamassa histórica.....	15
2.4.1	Propriedades físicas.....	17
2.4.2	Propriedades hídricas .....	17
2.4.3	Propriedades mecânicas .....	17
2.4.4	Características petrográficas .....	17
2.4.5	Caracterização mineralógica .....	18
2.4.6	Caracterização química.....	19
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>21</b>
3.1	Descrição da edificação .....	22
3.2	Amostragem dos Revestimentos Argamassados .....	24
3.3	Técnicas de caracterização das amostras.....	28
3.3.1	Ataque químico.....	28
3.3.2	Fluorescência de raios X (FRX).....	30
3.3.3	Microscopia eletrônica de varredura (MEV) .....	30
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>31</b>
4.1	Teor de umidade.....	31
4.2	Ataque químico .....	31

4.3	Fluorescência de raios X (FRX).....	34
4.4	Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	35
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
	REFERÊNCIAS.....	39
	APÊNDICE A – Ficha para desenvolvimento de dados da amostra A1.....	45
	APÊNDICE B – Ficha para desenvolvimento de dados da amostra A2.....	46
	APÊNDICE C – Ficha para desenvolvimento de dados da amostra A3.....	47
	APÊNDICE D – Ficha para desenvolvimento de dados da amostra A4.....	48
	APÊNDICE E – Ficha para desenvolvimento de dados da amostra A5.....	49

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil e no mundo podemos observar que as distribuições das construções históricas guardam importantes informações locais e regionais. A presença destas construções nos aportam informações da sociedade, de um meio de vida, de métodos construtivos, enfim, nos detalham preciosos conhecimentos sobre o passado (CAVALCANTE *et al.*, 2016; GIORDANI, *et al.*, 2020).

É importante recordar que nem todas estas construções podem ser apreciadas no dia de hoje, pois simplesmente foram destruídas, outras foram abandonadas, transformando-se em escombros, e, ainda algumas que, por falta de manutenção, muitas vezes não cumprem a utilidade para que foram construídas, sendo poucas aquelas que encontram-se em bom estado de conservação. A degradação fica em evidência quando afeta a alvenaria estrutural da edificação, causando a perda de desempenho dos elementos, comprometendo a segurança (CAVALCANTE *et al.*, 2016).

Além do tempo, que é evidentemente o maior inimigo da conservação, os fatores climáticos também influenciam nas construções (GASPAR; BRITO, 2005; ASTE *et al.*, 2019).

Quando uma edificação é construída, e posteriormente vem a adquirir grande valor cultural, deve-se tomar um cuidado redobrado, no processo de realização de sua manutenção. O uso de materiais e técnicas não compatíveis com os empregados na sua construção podem prejudicar a sua preservação. Desta forma, para que a edificação continue cumprindo seu papel na sociedade com segurança, a manutenção correta destas edificações torna-se imprescindível. Para isto, deve-se escolher o método de reparo mais apropriado para cada caso. Deve-se conhecer os materiais utilizados na sua construção para que o material formulado para a manutenção seja o mais compatível com o original (CAVALCANTE *et al.*, 2016).

Para obter conhecimento da argamassa utilizada em construções históricas, deve-se realizar a reconstituição do traço e, para isso, existem diversas técnicas de caracterização, que são complementares entre si: físicas, hídricas, mecânicas, petrográficas, mineralógicas e químicas (ADRIANO *et al.*, 2007; KANAN, 2008; ASFORA, 2010; BALKSTEN *et al.*, 2019; ERGENÇ *et al.*, 2021).

A reconstituição do proporcionamento de revestimentos de argamassa em laboratório permitirá melhor escolha de materiais para a reprodução de traços,

evitando incompatibilidades com a argamassa existente. Em função do exposto, e considerando que todas as cidades possuem edificações de cunho histórico e cultural que precisam ser preservadas, o estudo de caracterização do revestimento da Estação Ferroviária de Alegrete, se torna relevante e justifica o desenvolvimento desta pesquisa.

### **1.1 Objetivo Geral**

Realizar a caracterização do revestimento de argamassa da Estação Ferroviária de Alegrete/RS.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Identificar a proporção entre os aglomerantes e agregados da argamassa;
- Verificar o teor de umidade da argamassa;
- Obter a curva granulométrica dos agregados da argamassa;
- Identificar o teor de óxidos do aglomerante utilizando-se a técnica de FRX;
- Verificar a porosidade por meio da microscopia eletrônica de varredura (MEV).

### **1.3 Estrutura do Trabalho**

O trabalho está organizado em 6 tópicos. O tópico 1 corresponde à introdução e à justificativa acerca do tema da pesquisa, e os objetivos gerais e específicos. Nos tópicos 2 e 3, a revisão da literatura e a metodologia da pesquisa são apresentadas, respectivamente. Nos tópicos 4 e 5 são apresentados os resultados e discussões e as conclusões e considerações finais. E, por fim, no tópico 6, as referências bibliográficas que embasaram o trabalho.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Nos itens a seguir, serão apresentadas informações relevantes ao trabalho, como o contexto histórico, revestimentos históricos e técnicas para caracterização de argamassas antigas.

### 2.1 Construções históricas

É de conhecimento de todos a importância histórica e cultural de edifícios que guardam a identidade de uma região. Segundo Cavalcante *et al.* (2016), construções históricas são bens que, de acordo com seu valor cultural, representam a essência de um período de tempo definido. São construções que podem ser encontradas dispersas tanto nas cidades como no campo (BRAGA, 2003).

Para monumentos, grupos de edifícios ou sítios, serem considerados patrimônio cultural, devem possuir grande valor histórico, sejam eles de cunho estético, arqueológico, científico, etnológico ou antropológico, como por exemplo, obras de arquitetura, escultura e pinturas monumentais (UNESCO, 2022).

Para um bem ser conhecido com valor universal excepcional e entrar na lista de patrimônio mundial, deve cumprir no mínimo um critério de avaliação, como pertencer a um conjunto arquitetônico ou edifício com valor único e significativo para a humanidade ou uma região, manter boas condições de autenticidade e/ou integridade, e requisitos de proteção e gestão adequados (UNESCO, 2016; IPHAN, 2016).

Os edifícios históricos podem ser considerados fontes de informações quanto aos sistemas e subsistemas construtivos utilizados no passado, como: estrutural, vedação vertical, de cobertura, instalações, revestimento, acabamento e decoração (GIORDANI, *et al.*, 2020). Uma vez que, essa importância é reconhecida, faz-se necessária a manutenção adequada a fim de prolongar a vida útil das construções históricas (ABDUL-RASHID; AHMAD, 2011).

Esta manutenção é necessária devido à complexidade do contexto ambiental, e, dentre os fatores mais relevantes, destacam-se o tempo e o clima. A influência do tempo na degradação ocasiona a perda de desempenho dos elementos de construção (GASPAR; BRITO, 2005), e o clima desempenha um papel significativo na conservação ou degradação de edificações (ASTE *et al.*, 2019).

A manutenção é fundamental em obras históricas, pois, além dos fatores ambientais, a má conservação e a degradação dos materiais utilizados também são

fatores relevantes nos futuros desgastes provocados, que, por sua vez, podem acarretar o comprometimento da segurança dessas edificações (CAVALCANTE *et al.*, 2016). De acordo com os mesmos autores, o patrimônio histórico requer cuidado redobrado, usando medidas apropriadas de reparo.

Outra questão importante, relacionada à manutenção, é ter o conhecimento dos materiais a serem utilizados para reparos, tanto como complemento quanto como substituição, o que torna de suma importância o estudo de suas características químicas e físicas, como a identificação de traços adequados e a composição mineral (BOCHEN; LABUS, 2013).

Em construções de patrimônio cultural, a conservação e intervenções necessitam de especialistas de diversas áreas, envolvendo conhecimentos, como, por exemplo, de ensaios não destrutivos; de materiais como a alvenaria, cal e madeira; de técnicas de intervenção; de filosofia e ética da conservação. Porém, por envolver diversos especialistas, pode acarretar que informações valiosas sejam perdidas no processo e que, por vezes, sejam encontradas informações históricas mais antigas com mais facilidade do que informações mais recentes (LOURENÇO; PEÑA; AMADO, 2009). Segundo os mesmos autores, a preservação de informações de um patrimônio arquitetônico, quanto à manutenção e conservação do mesmo, é de responsabilidade do proprietário, governo, especialistas e usuários.

De acordo com Cavalcante *et al.* (2016), para preservar as características das construções históricas, os materiais empregados e as técnicas construtivas adotadas para sua manutenção devem estar de acordo com os materiais e as técnicas utilizadas na construção, evitando, assim, danos devido à incompatibilidade.

## **2.2 Estado de degradação das construções históricas no Brasil e no Rio Grande do Sul**

Segundo Rodrigues, Teixeira e Cardoso (2011), a deterioração é causada por dois agentes, a edificação e o meio ambiente. Logo após a construção, já começa de fato a deterioração, sendo esta, primeiramente invisível. Com o passar do tempo, já começa a se tornar visível e, nesta fase, se não houver alguma manutenção, a edificação pode vir a falhar e, ocasionalmente, ser abandonada.

O Brasil é um país que possui diversos exemplares de construções histórico-cultural, que representam vários períodos. Como, por exemplo, no estado de São Paulo, onde está localizada a fazenda “Santa do Maria Monjolinho”, declarada

patrimônio cultural, que dispõe de um conjunto arquitetônico construído no século XIX para grandes produções cafeeiras. Campos *et al.* (2013) avaliaram as condições sanitárias da antiga senzala dessa fazenda, onde, por meio de testes, foi possível identificar quais partes poderiam ser mantidas na forma original da edificação e quais apresentam um grau de deterioração muito alto a ponto de necessitar de substituição.

O estado do Ceará também possui um acervo reconhecido em edificações patrimoniais, datadas dos séculos XVIII, XIX e XX. Fontenele *et al.* (2021) avaliaram as fachadas de construções históricas cearenses, onde enfatizam que as informações de vulnerabilidade estrutural são de fundamental importância em planos de ação e identificação de situações que requerem intervenção.

No litoral paraibano, as construções históricas, em sua maioria, foram construídas com pedras calcárias encontradas na região e, por estarem em meio agressivo devido à proximidade do mar, apresentam uma considerável deterioração da pedra calcária, além de diversas patologias (MOURA, 2013). Costa, Ribeiro e Oliveira (2018) também observaram os danos causados pela proximidade do mar em vigas de concreto armado em um edifício histórico no Maranhão. Estas vigas foram revestidas com argamassas à base de cimento e argila, que análises *in loco* e testes de laboratório permitiram concluir que a qualidade do revestimento do concreto causou a corrosão das armaduras de aço da viga.

Em Juiz de Fora, Minas Gerais, Inocêncio e Barbosa (2022) destacam o patrimônio religioso vernacular, realizando diagnósticos do estado de conservação da capela Santa Terezinha do princípio do Século XX. As autoras evidenciam que, neste tipo de edificação, o mais recorrente são os problemas estruturais causados pelo recalque da fundação e sobrecarga devido à distribuição desigual dos esforços de cobertura. Ainda em Juiz de Fora, Barbosa *et al.* (2016) avaliaram o estado de conservação das pontes do município, estas que foram construídas no início do século XX e atualmente são atrações turísticas. Por meio das análises realizadas foi identificada a relação das manifestações patológicas, que foram aceleradas pela ação do ambiente.

Em Natal, nordeste do Brasil, Sousa (2014) avaliou o estado de conservação de uma escola construída no início do século XX, por meio de observações visuais e análises laboratoriais. A autora identificou fissuras, desprendimento do revestimento, sujidade, eflorescência, mofo, bolor e material inadequado à base de cimento. As manifestações patológicas foram atribuídas à falta de cobertura em alguns pontos e à



falta de manutenção preventiva e corretiva, visto que o edifício sofreu abandono já há alguns anos.

No Rio de Janeiro, o muito conhecido estádio do Maracanã, Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, também necessitou de pequenos reparos para atender a Copa do Mundo de 2014 no Brasil. Bournas (2016) relata que as estruturas existentes foram reforçadas com argamassa com fibras têxteis de carbono e poliparafenileno benzobisoxazol, aplicados em combinação com matrizes à base de cimento inorgânico.

Na região sul do Brasil, Costa, Silveira e Torres (2021) utilizaram indicadores para avaliar o estado de degradação de fachadas históricas em Pelotas. Os autores encontraram manchas de mofo, fungos e crosta negra como manifestações patológicas mais predominantes. No entanto, as fachadas históricas analisadas apresentaram bom estado de conservação.

Para fins de preservação, Bersch *et al.* (2020) analisaram duas edificações históricas na cidade de Porto Alegre, e estas apresentaram revestimentos diferentes, mesmo sendo construídas na mesma época. Na mesma cidade, Guerra *et al.* (2020) analisaram amostras de revestimento de argamassa obtidas de duas construções, o edifício comercial e residencial “Casa Frasca” (1911) e a Cúria Metropolitana de Porto Alegre (1888). Por meio de investigação visual, análises químicas e microestruturais, os autores forneceram informações que auxiliam na escolha de materiais compatíveis com o original, possibilitando futuras restaurações e prolongando a vida útil dos edifícios.

### **2.3 Revestimentos das construções históricas**

No que diz respeito às construções históricas, sabe-se que os revestimentos eram confeccionados de argamassa com diferentes composições (ELSEN, 2006). A argamassa é o resultado da mistura entre materiais que conferem uma massa moldável quando fresca e enrijecida quando seca. É composta de diferentes elementos, sendo eles, agregados, ligantes, adições e água. Cada um desses elementos, desempenham fundamental função: o agregado proporciona a compacidade; o ligante aglomera os constituintes; as adições potencializam a qualidade do ligante; e, a água desperta o processo químico (CARVALHO, 2006).

Historicamente, a argila e a cal eram os ligantes mais utilizados em construções (CARRAN *et al.*, 2012). Atualmente, os elementos ligantes mais conhecidos e

utilizados nas argamassas são a cal aérea e a cal hidráulica, além do cimento. O cimento é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, constituído de silicatos e aluminatos complexos, que, ao serem misturados com a água, hidratam-se, formando uma massa gelatinosa que, quando seca, oferece elevada resistência mecânica. Entretanto, a produção do cimento gera impactos sociais, ambientais e na saúde humana (REBMANN, 2011). Além disso, o uso do cimento como material de construção no Brasil iniciou, em larga escala a partir da implementação da primeira fábrica de cimento Portland, em 1926 (SNIC, 2023)

No caso das cales, sua principal característica é sua trabalhabilidade, além de possuir capacidade de reter água, bem como, desestimular a retração quando ocorre a secagem, evitando, portanto, a fissuração. A utilização da cal é recomendada na construção de obras e recuperação de antigas estruturas de alvenaria, as quais necessitam novos elementos adjacentes a paredes antigas. A sua aplicação deve-se a uma característica de proteção contra a umidade e contribuição à função mecânica (CARVALHO, 2006).

A cal, quando aplicada e exposta ao ar transforma-se de hidróxido de cálcio (solúvel em água) para carbonato de cálcio (insolúvel em água). Após essa transformação, ocorre o endurecimento de forma gradual, do exterior para o interior, melhorando as características e a rigidez ao longo do tempo (DÍAZ-RECASENS *et al.*, 2006).

Aliados aos ligantes, temos as adições, também chamadas de pozolanas, por suas características. Pozolanas são materiais silicosos ou silico-aluminosos que, quando triturados e misturados com água, reagem com a cal, formando compostos insolúveis estáveis que possuem as propriedades dos ligantes (BARROSO, 2011; MARGALHA, 2011).

No caso dos agregados na argamassa, a areia é a matéria-prima comumente utilizada. Para sua utilização, o grão de areia deve possuir características como forma arredondada, distribuição granulométrica bem graduada, baixa absorção de água e os elementos finos em baixa proporção. Cabe ressaltar, que a granulometria da areia está diretamente relacionada ao traço da argamassa. Para reunir todos os componentes mencionados, a água desempenha o papel de reator na argamassa. Como requisito para cumprir essa função, a água deve ser salubre, ou seja, não deve apresentar impurezas (CARVALHO, 2006).

É importante ressaltar que os materiais e seu proporcionamento na argamassa determinam sua eficácia, consistência, retenção de água e resistência à compressão (CARVALHO, 2006). Diante das variações apresentadas na composição da argamassa, ela pode ser usada para diversas finalidades, como revestimentos internos e externos, fundações, assentamento de tijolos, pisos e fins decorativos (ELSEN, 2006).

A parte mais visível e mais exposta de uma edificação são os revestimentos externos e, em construções históricas, eles geralmente eram constituídos de argamassas de cal aérea e areia. Até o cimento ser descoberto no século XIX, a cal aérea era praticamente o único ligante utilizado em argamassas de revestimento. (DÍAZ-RECASENS, *et al.*, 2006).

Os revestimentos externos têm a função fundamental de proteger a alvenaria da edificação contra choques mecânicos, ações climáticas e contaminação ambiental, ao mesmo tempo que condicionam o aspecto final da edificação. As paredes de construções antigas, geralmente, possuíam função estrutural, e o revestimento vinha a reforçar a resistência mecânica da alvenaria. Desta forma, os elementos de uma construção que mais apresentam degradação são os revestimentos externos, por sua exposição ao meio agressivo (VEIGA; AGUIAR, 2003).

Deve ser considerado que argamassas ao longo do tempo sofrem mudanças em sua composição, como a cristalização da microestrutura. Devido ao envelhecimento, esta argamassa pode estar desgastada e, mesmo sabendo que em relação com as argamassas atuais ela apresenta características mais heterogêneas, este desgaste dificulta sua caracterização (KANAN, 2008).

De acordo com estudos de Sousa (2014), as argamassas são manipuladas desde o antigo Egito, possuindo em sua constituição a cal, areia, fibras, pozolana, pó de tijolo, óleo e cinzas. Como exemplo de caracterização, Adriano *et al.* (2007), determinaram a composição de argamassas de três períodos históricos distintos, Romano, Árabe e Idade Média. Por meio dos ensaios, concluíram que no período Romano já havia uma seleção de materiais criteriosa, bem como um amplo conhecimento sobre os materiais, e neste mesmo período identificaram que as argamassas continham fragmentos cerâmicos e nódulos de cal arredondadas, que possivelmente sejam resultantes de uma extinção incompleta da cal. No período árabe, em uma amostra, as argamassas eram compostas de cal calcítica e agregados de natureza aluvionar, em outra, eram compostas de gesso, com pequenas

quantidades de cal, pó de tijolo e fragmentos de xisto. Já na idade média, foram encontrados dois tipos de argamassa, uma de natureza calcítica e outra provavelmente de origem dolomítica.

No Rio Grande do Norte, Sousa (2014) caracterizou as argamassas utilizadas na construção de uma escola construída em 1908, que apresentaram em sua constituição a cal de natureza calcítica e agregado silicoso, com presença de argila em algumas amostras. O reconhecimento de todos os componentes da argamassa representa parte fundamental para a eficiência nas manutenções e restaurações, pois este material deve-se apresentar compatível com o original para a obtenção do êxito (SOUSA, 2014).

#### **2.4 Técnicas para a caracterização de argamassa histórica**

Antes de começar qualquer trabalho de restauro, é imprescindível uma análise minuciosa da degradação, bem como do valor artístico e histórico da construção (COELHO; TORRAL; JALALI, 2009). Deve ser realizada uma análise criteriosa do revestimento para averiguar se a degradação é superficial, desse modo, as operações de reparação devem ser pontuais. Nos casos em que a degradação é profunda, em que é necessário substituir o revestimento parcial ou totalmente, uma atenção especial para a compatibilidade com os elementos pré-existentes é imprescindível (VEIGA, 2009).

As argamassas utilizadas para reintegração e recuperação não serão iguais às originais, porém devem ser compatíveis quimicamente e adaptarem-se às necessidades, apresentando resistência aos agentes de degradação (KANAN, 2008). Veiga e Aguiar (2003), reiteram que essa compatibilidade é de difícil especificação e dependem de diversos fatores. Recena (2014), em obras de restauração, ressalta que também deve existir uma afinidade entre os materiais, tanto quanto à natureza, quanto principalmente à resistência mecânica.

Para ter um conhecimento mais abrangente sobre as técnicas de conservação das argamassas antigas, faz-se necessário múltiplas análises sobre reparo, restauro, tecnologias utilizadas na construção e, principalmente, os materiais empregados no patrimônio edificado. Caso seja executada uma restauração, antes da mesma, toda tecnologia e material empregado devem passar por rigorosos testes, comparações e experimentos (CARTA DE CRACÓVIA, 2000).

Para que haja uma maior precisão sobre a constituição da argamassa, é imprescindível que sejam utilizados mais de um método de análise. Primeiramente se realiza uma observação visual do componente para compreender as características do material, podendo ser realizada no local em que se encontra ou em laboratório, com instrumentos específicos (KANAN, 2008). Ergenç *et al.* (2021) destacam que a observação macroscópica detalhada utilizando uma lupa de ampliação pode revelar inúmeras informações quanto a argamassa, como, por exemplo: cor do ligante e agregado; presença ou ausência de grumos de cal; natureza, granulometria, forma e distribuição do agregado; porosidade; grau de coesão/adesão entre os componentes; entre outras.

Após essa primeira etapa estar concluída, faz-se necessária uma caracterização físico-química como requisito para estabelecer o traço, os tipos de constituintes e o estado de conservação da argamassa (ADRIANO *et al.*, 2007). A etapa da caracterização revela informações físicas, como microestruturas, porosidade e mineralogia; e químicas, referentes ao reconhecimento dos componentes da argamassa (KANAN, 2008). Nessa etapa, Ergenç *et al.* (2021) afirmam que, sempre que possível, uma melhor caracterização pode ser obtida analisando separadamente o ligante e os agregados. Essa separação pode ser por via química, utilizando ácido clorídrico (argamassas de cal aérea com agregados de sílica) ou ácido etilenodiaminotetracético (argamassas com agregados carbonáticos), ou por via mecânica, determinando o ponto em que a fração passa por uma peneira de 0,15 mm. Outros autores também indicam a separação por via mecânica utilizando uma peneira de 0,043 mm (JAPIASSÚ *et al.*, 2014).

Com relação à etapa de coleta de amostras para a investigação, o cuidado deve ser redobrado, para retirar somente a quantidade necessária para as análises posteriores, com o mínimo de danos, tanto para a estrutura da amostra quanto para ao patrimônio histórico (KANAN, 2008). Nessa etapa também é importante retirar amostras as mais íntegras possíveis, pois aquelas com umidade podem fornecer um traço muito pobre, por exemplo, pela lixiviação dos ligantes que pode ocorrer pela percolação e/ou lavagem por águas puras ou ligeiramente ácidas (LAPA, 2008). Após a coleta de amostras do edifício, no laboratório procede-se um conjunto de ensaios para a caracterização da argamassa. Pode ser realizada levando em consideração suas múltiplas propriedades: físicas, hídricas, mecânicas, petrográficas, mineralógicas e químicas.

#### 2.4.1 *Propriedades físicas*

A porosidade refere-se aos diferentes tamanhos e formas dos poros e pode ser caracterizada por meio de técnicas microscópicas e de análise de imagem. Relacionados a porosidade, encontram-se o teste da permeabilidade ao ar, que verifica os poros conectados disponíveis para o fluxo de fluidos, e o ensaio de capilaridade da água, importante na ascensão capilar em argamassas (ERGENÇ *et al.*, 2021).

Para verificar a estrutura interna de argamassas, também pode ser utilizada a tomografia computadorizada por raios X, que permite a visualização em 2D e 3D da estrutura (ERGENÇ *et al.*, 2021). Por meio dessa técnica, Bultreys *et al.* (2016) conseguiram monitorar o movimento da água.

#### 2.4.2 *Propriedades hídricas*

O movimento da água pode ser verificado por teste de absorção de água por capilaridade; absorção de água à pressão atmosférica, onde a amostra é submergida a uma profundidade determinada até adquirir peso constante; e absorção de água pelo método de tubulação, que simula a penetração da água sob uma pressão de água de chuva (ERGENÇ *et al.*, 2021).

#### 2.4.3 *Propriedades mecânicas*

Os testes de propriedades mecânicas são relacionados às características de resistência da argamassa (compressão, tração, cisalhamento), bem como à elasticidade (ERGENÇ *et al.*, 2021). Lee *et al.* (2021) investigaram experimentalmente os materiais utilizados em construções históricas coreanas e perceberam que a adição do cimento branco não apresentou influência quanto à resistência da argamassa, no entanto, a resistência foi mais pronunciada de aderência da argamassa ao tijolo.

#### 2.4.4 *Características petrográficas*

A petrografia oferece informações sobre a técnica de produção da cal e suas argamassas. Além disso, permite caracterizar os aditivos acrescentados a argamassa (BALKSTEN *et al.*, 2019). A estereomicroscopia possibilita uma observação minuciosa, podendo extrair informações sobre os poros, os agregados, as fissuras, contato entre camadas, bem como, uma estimativa da razão ligante/agregado

(ERGENÇ *et al.*, 2021). A relação ligante/agregado também pode ser obtida utilizando equipamentos de processamento de imagem (CARÒ; DI GIULIO; MARMO, 2006).

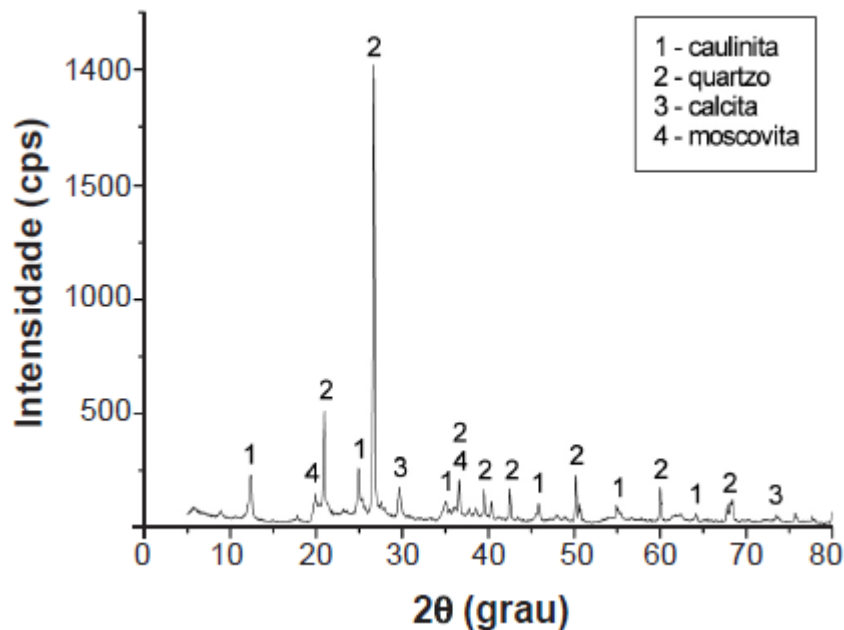
Por meio da microscopia ótica é possível detectar fibras de materiais, distinguir camadas e verificar a aparência do agregado. Na microscopia eletrônica de varredura (MEV), é possível observar a estrutura dos constituintes (ARAÚJO, 2020). Esmaeili, Aslani e Onuaguluchi (2020) utilizaram o MEV para avaliar rejeitos de minas de cobre para reaproveitamento em misturas de argamassa. Por meio do MEV, os autores identificaram a morfologia das partículas e a composição elementar dos rejeitos, informações que revelaram a demanda de água e a trabalhabilidade no processo de desenvolvimento das misturas de argamassa.

#### 2.4.5 Caracterização mineralógica

A difração de raios X (DRX), permite identificar um mineral presente na amostra e também verificar o seu grau de cristalinidade (BALKSTEN *et al.*, 2019; ARAÚJO, 2020; BERSCH *et al.*, 2020).

Na DRX é possível obter picos característicos dos feixes de raios X difratados, sendo o conjunto desses picos chamadas de difratograma (Figura 1). Mediante estes resultados, pode-se proceder a leitura dos ângulos e intensidades utilizando a Lei de Bragg. A intensidade relativa de cada pico é possível associar com o índice de Miller, determinando assim, a estrutura cristalina de um determinado mineral presente na amostra (MORAIS, CRUZ e REGO, 2016).

Figura 1 – Difratoograma de uma amostra de argila com calcário



Fonte: Soares, Castro e Nascimento, 2012

Gleize, Silva e Nappi (2000), caracterizando as argamassas de um palácio em Santa Catarina, utilizaram a DRX e identificaram o carbonato de cálcio como ligante principal, além de concluir que a argamassa foi composta de uma mistura de cal com pozolana importada. Santhanam e Ramadoss (2021), ao caracterizar a argamassa do Forte Alamparai, construído em meados do século XVII na Índia, observaram que, com a análise de DRX, foi possível retratar a velocidade do processo de carbonatação do cálcio presente na argamassa de cal analisada.

#### 2.4.6 Caracterização química

As análises térmicas monitoram as mudanças cristalográficas dos materiais submetidos a diferentes temperaturas. A análise termogravimétrica mede a mudança de massa e a análise térmica diferencial compara a amostra e a referência submetidos a ciclos térmicos iguais (ERGENÇ *et al.*, 2021). Bersch *et al.* (2020) caracterizaram as argamassas utilizadas em prédios históricos em Porto Alegre. A análise termogravimétrica identificou a perda de massa entre 0°C e 1000°C de temperatura, chegando a 3% de perda de peso.

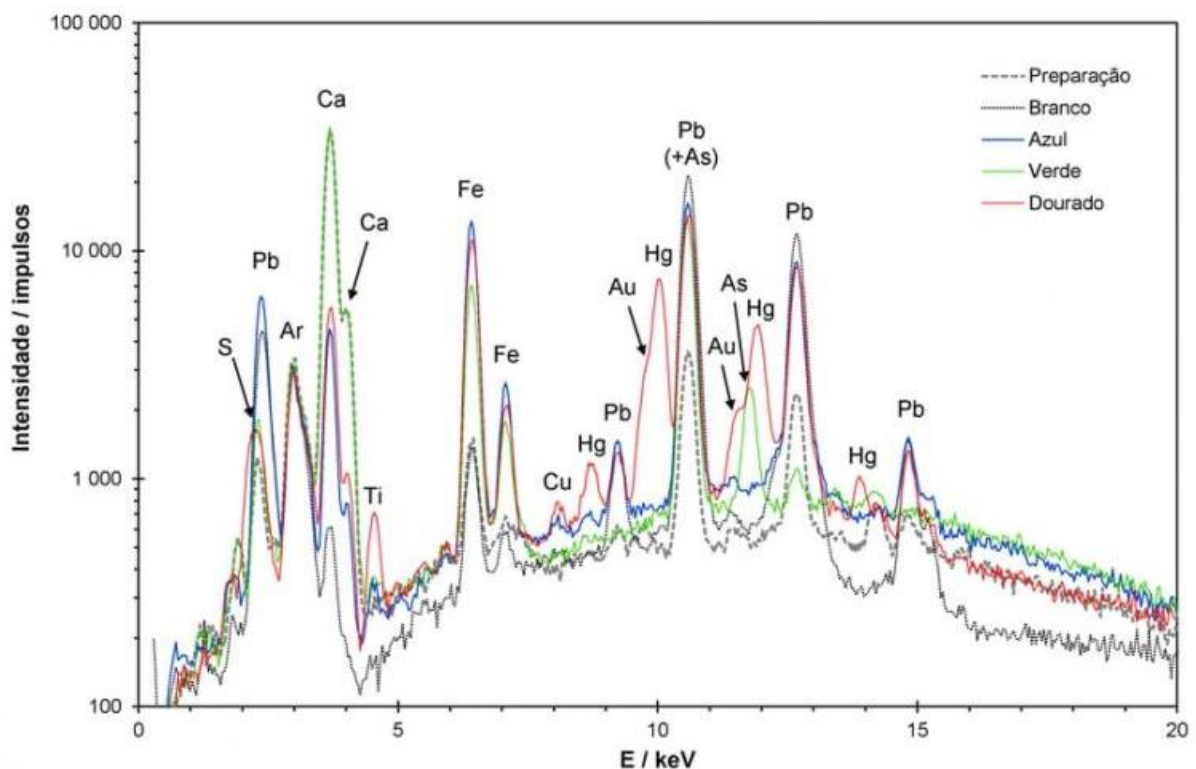
A Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FT-IR) possibilita a identificação de compostos orgânicos (ERGENÇ *et al.*, 2021). Além disso,



Cantisani *et al.* (2021) utilizaram a FT-IR para determinar a composição de argamassas de um campanário do século XIV na Itália e identificaram silicatos amorfos, mais especificamente, o polimorfo metaestável vaterita.

A análise por fluorescência de raios X (FRX) é baseada na medição das intensidades dos raios X refletidos pelos elementos presentes na amostra, bem como determinar a concentração destes (MELO JÚNIOR, 2007). A amostra é atingida por raios X policromáticos que são absorvidos e, por meio dessa absorção, ocorre a excitação de partículas, gerando as curvas características, também chamadas de espectros. Com estas curvas é possível quantificar e qualificar os elementos presentes na amostra (Figura 2) (BUENO, 2022).

Figura 2 – Espectros de fluorescência de raios X



Fonte: Morais, Cruz e Rego, 2016

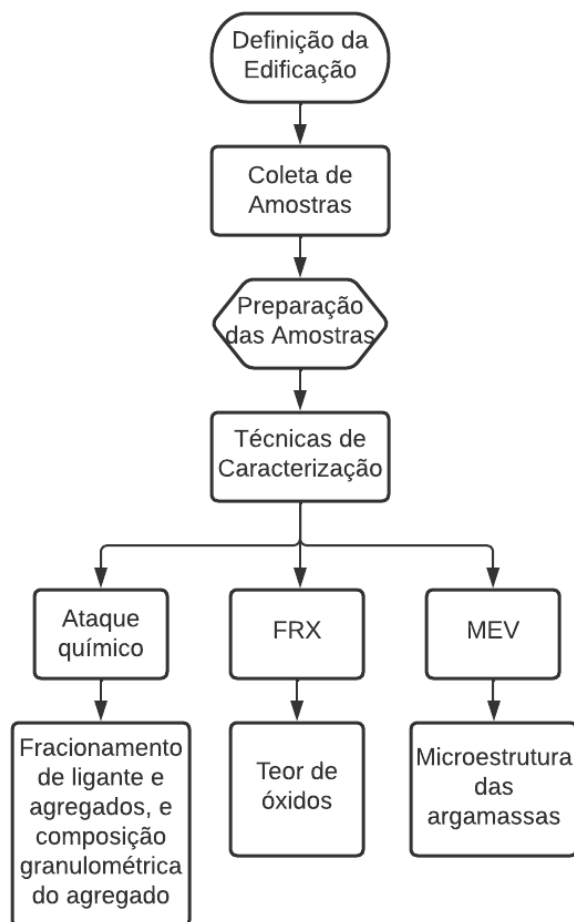
Todas as técnicas abordadas e outras mais específicas, que estão constantemente sendo investigadas, se complementam entre si, sendo recomendada uma combinação entre elas para entender melhor os resultados. Além disso, sempre que possível, os métodos não destrutivos são os mais indicados.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia empregada para a caracterização das argamassas desse estudo está descrita em quatro etapas. Na primeira etapa foi realizado um levantamento das edificações potenciais de estudo no município de Alegrete/RS e então definida a escolha da edificação com melhor potencial para a aplicação desta pesquisa. Na etapa dois, foi solicitada, junto aos órgãos públicos responsáveis, a devida autorização para acesso à edificação e para a coleta de amostras do revestimento de argamassa. Também foi feita uma pesquisa, em órgãos competentes, para maiores informações acerca da edificação escolhida. Na etapa 3 do programa experimental, foram coletadas amostras da fachada principal da edificação e, na etapa 4, estas amostras foram preparadas e caracterizadas.

O organograma da Figura 3 apresenta uma representação esquemática do Programa Experimental que foi desenvolvido.

Figura 3 – Organograma do Programa Experimental



### 3.1 Descrição da edificação

A edificação escolhida para o estudo foi a Estação Ferroviária de Alegrete/RS, localizada na Rua Cel. Cabrita nº 205, bairro centro, em Alegrete/RS, por apresentar forte valor histórico e cultural para a região e também por ter potencial turístico.

A Estação Ferroviária de Alegrete foi construída pelo 2º Batalhão de Engenharia, sob o comando do Tenente-Coronel Bento Manoel Ribeiro Carneiro Monteiro, para participar da linha férrea que ligava Porto Alegre à Uruguaiiana. A estação foi inaugurada em 22 de novembro de 1907, com uma edificação de menor porte (Figura 4). No início da década de 1930, a edificação (Figura 5) foi reconstruída no mesmo local da anterior e inaugurada em 1934, mantendo-se (Figura 6) até os dias atuais (ALMEIDA, 2019; GIESBRECHT, 2022). A linha com passageiros de Porto Alegre – Uruguaiiana parou de funcionar no dia dois de fevereiro de 1996. Em 2015 o edifício foi utilizado pela empresa América Latina Logística (ALL), que foi fechada em 2018. Atualmente a estação encontra-se em estado de total abandono (GIESBRECHT, 2022).

Figura 4 – Fotografia da primeira construção da Estação Ferroviária de Alegrete na década de 1910



Fonte: Giesbrecht, 2022

Figura 5 – Fotografia da Estação Ferroviária de Alegrete na década de 30



Fonte: Prati, 2013

Figura 6 – Estação Ferroviária de Alegrete fotografada em 27 de julho de 2022



Fonte: Arquivo pessoal

A estação férrea possui 503,46 m<sup>2</sup> de área construída, o sistema construtivo utilizado foi alvenaria portante de tijolos maciços, com esquadrias e forro em madeira, telhas cerâmicas, e argamassa de assentamento e reboco à base de cal (CARVALHO, 2016).

De acordo com o Centro de Pesquisa e Documentação de Alegrete (CEPAL), desde a construção da Estação Férrea, ocorreram algumas reformas pontuais e pequenas manutenções, como pinturas, porém não há registros destes procedimentos. O registro existente refere-se à última modificação realizada na edificação no ano de 1934, período que a edificação foi ampliada e ganhou o aspecto estético (Figura 6) que se encontra nos dias de hoje (ALEGRETE, 2022).

### 3.2 Amostragem dos Revestimentos Argamassados

A amostragem dos revestimentos de argamassa da fachada principal foi realizada em um único dia. As amostras foram retiradas com auxílio de uma talhadeira e uma marreta (Figura 7), as partes íntegras foram armazenadas em sacos plásticos e identificadas durante a coleta.

Figura 7 - Retirada das amostras



Fonte: Arquivo pessoal

Foram coletadas amostras em cinco (5) diferentes pontos da fachada principal (Figura 8). Os locais de coleta foram definidos em pontos específicos da edificação, que provavelmente não haviam passado por interferência/reparo desde sua construção.

Figura 8 – Fachada frontal da estação com indicação dos pontos de extração das amostras



Fonte: Elaboração própria

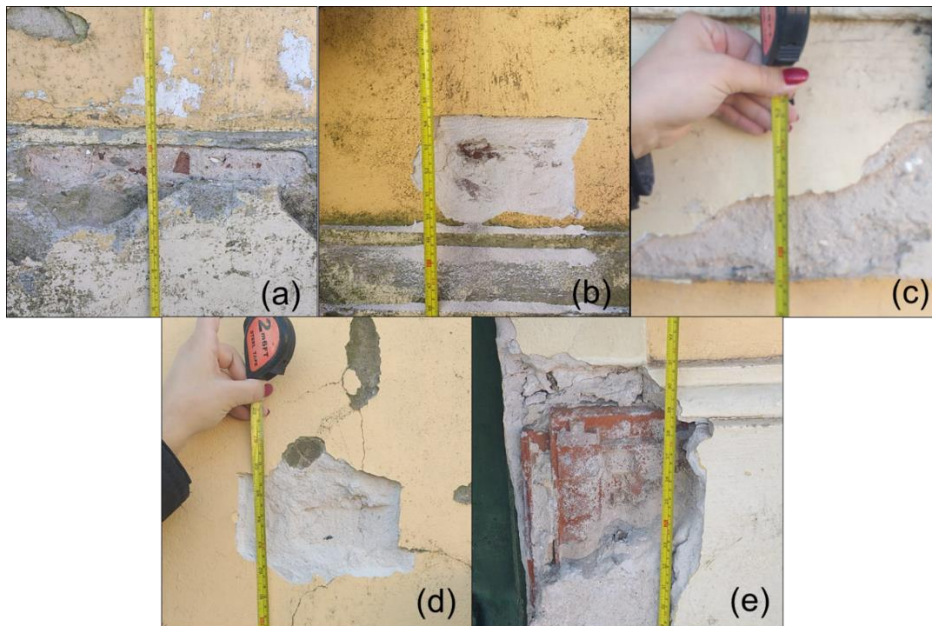
O Quadro 1 apresenta informações sobre a altura de retirada de cada amostra, a quantidade coletada em gramas e o local. A Figura 9 mostra os pontos de coleta de cada amostra.

Quadro 1 – Dados das amostras

Amostra	Altura de coleta (m)	Quantidade (g)	Local
1	0,58	177,80	Base
2	1,30	126,10	Lateral do acesso principal
3	1,30	369,30	Peitoril da esquadria
4	1,60	131,90	Lateral da esquadria
5	0,68	236,10	Lateral da porta de entrada

Fonte: Elaboração própria

Figura 9 – Imagens dos pontos de coleta: (a) amostra A1; (b) amostra A2; (c) amostra A3; (d) amostra A4; (e) amostra A5.



Fonte: Arquivo pessoal

Depois da coleta as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Química e Metalografia da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), campus Alegrete/RS. As amostras que continham tinta na superfície foram raspadas com auxílio de uma espátula até sua total remoção. Após este procedimento, as amostras foram pesadas e acondicionadas em almofariz de porcelana para, na sequência passarem por uma secagem em estufa à 75°C por aproximadamente 24 horas, objetivando a retirada da sua umidade interna. Após o período de 24 horas, as amostras foram retiradas da estufa, resfriadas ao ar e pesadas (Figura 10). Com este procedimento foi determinado a umidade inicial de cada amostra.

Figura 10 – Amostras secas



Fonte: Arquivo pessoal

Para a análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram separadas partes íntegras de cada amostra, com aproximadamente 5 mm de diâmetro, de acordo com o tamanho do porta amostras do microscópio. As amostras foram identificadas e guardadas em recipiente hermeticamente fechado até a realização da análise.

O preparo das amostras para as outras análises (ataque químico e FRX) consistiu em desagregar as amostras cuidadosamente em um almofariz com pistilo de porcelana (Figura 11), de modo a não quebrar os grãos dos agregados miúdos.

Figura 11 – Desagregação das amostras

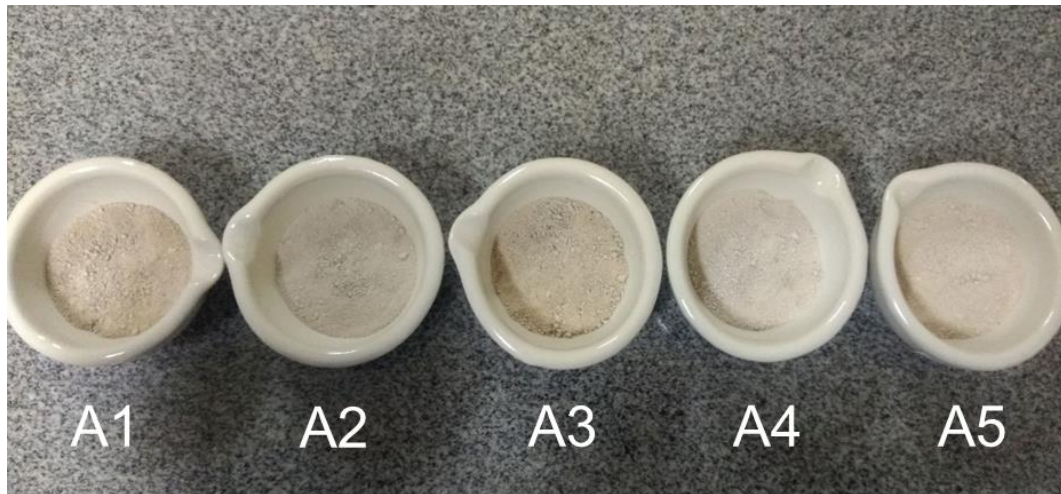


Fonte: Arquivo pessoal.

Após desagregar as amostras (Figura 12), as mesmas foram separadas em quantidade suficiente para serem utilizadas em cada técnica de caracterização selecionada para esta pesquisa. O material excedente ficou guardado para estudos posteriores.



Figura 12 – Amostras secas e desagregadas



Fonte: Arquivo pessoal

Para a análise de FRX, além desta etapa de desagregação, as amostras foram passadas pela peneira nº 200 de malha de 75  $\mu\text{m}$ , de acordo com as recomendações de Bersch *et al.* (2020).

### 3.3 Técnicas de caracterização das amostras

As técnicas utilizadas para a caracterização das amostras foram escolhidas com base na literatura, utilizando caracterização química, mineralógica e petrográfica (TEUTONICO,1988; KANAN, 2008; ASFORA, 2010; BALKSTEN *et al.*, 2019; ARAÚJO, 2020; BERSCH *et al.*, 2020 ERGENÇ *et al.*, 2021), referente à argamassas antigas.

#### 3.3.1 Ataque químico

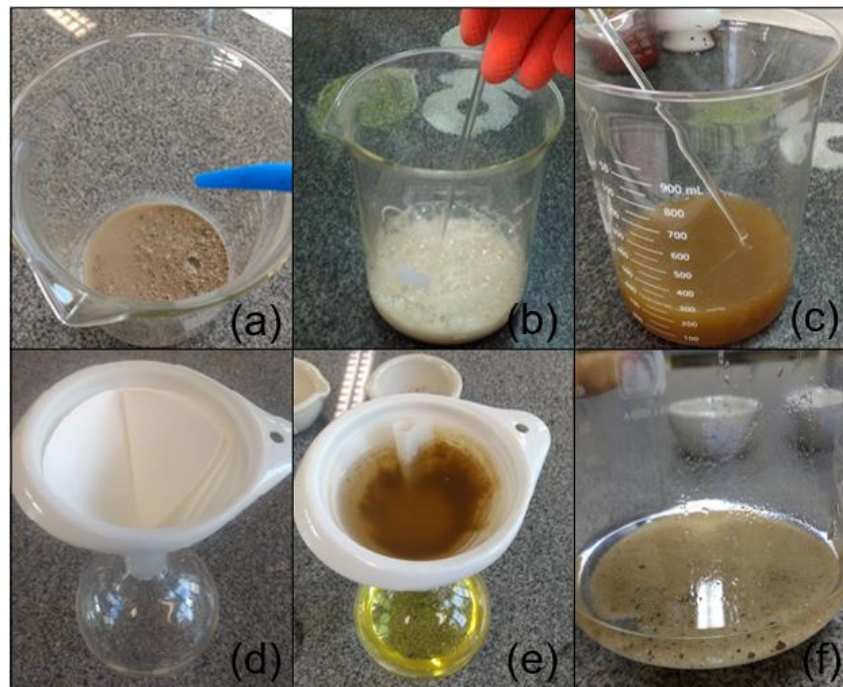
Esta técnica foi realizada no Laboratório de Química e Metalografia da UNIPAMPA – Campus Alegrete/RS e seguiu as recomendações metodológicas de Teutonico (1988).

Para o ataque químico, foram utilizadas amostras de 35 a 45 gramas, inicialmente destorroadas e secas em estufa como descrito anteriormente no item 3.2. Após a pesagem das amostras secas, deu-se início ao procedimento. Cada amostra seca foi inserida em um Becker de vidro e foi levemente umedecida com água desmineralizada (Figura 13.a). O Becker foi posicionado dentro da capela e na sequência, uma solução de 1:4 de ácido clorídrico e água desmineralizada, foi

adicionada aos poucos na amostra (Figura 13.b). Durante este processo, a solução foi revolvida com um bastão de vidro até a total dissolução dos ligantes (Figura 13.c). Para a próxima etapa do ensaio, um papel filtro quantitativo foi dobrado em 4 partes, pesado e inserido dentro de um funil que foi conectado a um erlenmeyer de vidro (Figura 13.d). Na sequência, o papel filtro foi levemente umedecido com água desmineralizada. Com a amostra não apresentando mais nenhuma efervescência, ela foi aos poucos lavada com água desmineralizada e filtrada (Figura 13.e). A amostra foi lavada até não ter resquício de ácido, apresentando-se com a água cristalina (Figura 13.f). O papel filtro onde os materiais finos da amostra ficaram retidos, e os agregados restantes no Becker, foram colocados em cadinhos de porcelana e levados para estufa por 24 horas a 75°C. Após as 24 horas, os agregados e o papel filtro foram pesados, para a determinação da relação entre aglomerante e agregados.

Para estimar a relação de aglomerante, que foi dissolvido pelo ácido, e os agregados, foi calculada a diferença da massa das amostras de antes e depois do ataque químico.

Figura 13 – Etapas do ataque químico



Fonte: Arquivo pessoal

Posteriormente, foi realizada a composição granulométrica dos agregados de acordo com a ABNT NBR 248/2003: Agregados – determinação da composição

granulométrica do agregado miúdo. Para o ensaio, foi utilizado um conjunto de peneiras com aberturas de malhas igual a 4,75, 2,36, 1,18, 0,60, 0,30 e 0,15 mm.

Por fim, os agregados secos foram caracterizados de acordo com a NBR 7211 (2009).

Para cada amostra foram elaboradas fichas para o desenvolvimento dos dados, estas fichas encontram-se nos Apêndices.

### 3.3.2 *Fluorescência de raios X (FRX)*

Para esta técnica foram utilizadas cinco (5) amostras em pó secas, com massa de aproximadamente quatro (4) a cinco (5) gramas. A análise de FRX foi executada em um espectrômetro de raios X Bruker S1 turbo SD, no Laboratório de Lavra e Tratamento de Minérios da Unipampa – Campus Caçapava do Sul.

Segundo Bueno (2022), esta análise é importante porque permite quantificar e qualificar os elementos presentes nas amostras.

### 3.3.3 *Microscopia eletrônica de varredura (MEV)*

O ensaio foi realizado no microscópio eletrônico de varredura da marca Zeiss, modelo EVO MA10, instalado no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura – Campus Alegrete/RS. Para esta etapa do Programa Experimental foram utilizadas cinco (5) amostras, as quais passaram inicialmente pelo processo de metalização a ouro.

Para a execução do ensaio, as amostras foram incubadas na câmara do microscópio a vácuo controlado, permitindo as capturas de imagem. Através das imagens, foram obtidas informações quanto à microestrutura dos constituintes da argamassa.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, nos itens 4.1 a 4.4, serão apresentados e discutidos os resultados de caracterização das argamassas históricas coletadas.

### 4.1 Teor de umidade

A partir dos teores de umidade (Quadro 2), verificou-se que a amostra com maior teor de umidade (7,50%), foi a amostra A1, retirada na base da edificação com a menor altura de coleta. As demais amostras apresentaram teores de umidade variando de 1,79% a 2,65%.

Quadro 2 – Teor de umidade

Amostra	Peso amostra úmida (g)	Peso amostra seca (g)	Teor de umidade (%)
A1	177,80	165,40	7,50
A2	126,10	123,10	2,44
A3	369,30	368,80	1,79
A4	131,90	128,50	2,65
A5	236,10	231,10	2,16

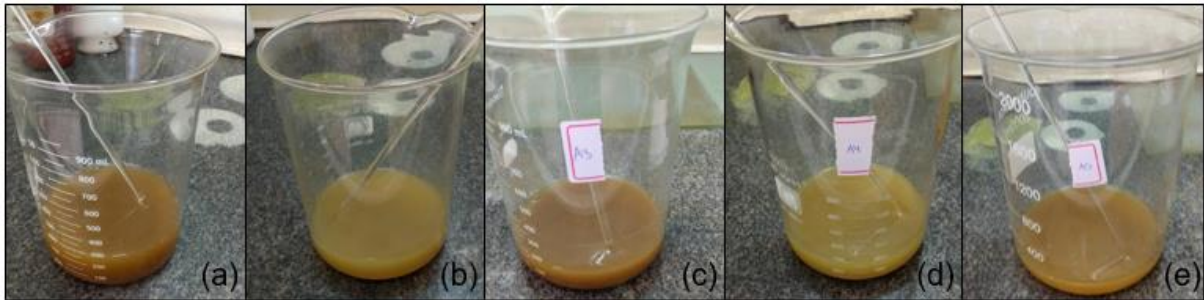
Fonte: Elaboração própria

### 4.2 Ataque químico

De acordo com a metodologia já descrita, com o ataque químico foi possível determinar a quantidade de aglomerante e agregado nas amostras.

Durante o ataque as amostras apresentaram cores semelhantes, em tons de marrom (Figura 14). As amostras também se assemelham em duas tonalidades, um tom mais claro de marrom, nas amostras A2 e A4, e, nas amostras A1, A3, e A5, um tom mais escuro.

Figura 14 – Coloração das argamassas após dissolução em ácido. (a) amostra A1; (b) amostra A2; (c) amostra A3; (d) amostra A4; (e) amostra A5.



Fonte: Arquivo pessoal

Foram calculadas as porcentagens de ligante, finos e agregados das amostras, e então obtidos os traços prováveis para cada uma delas (Quadro 3).

As amostras variaram a proporção em massa de 1:1,92 até 1:4,99 (ligante+finos:agregado). Estes resultados foram semelhantes aos obtidos por Guerra *et al.* (2019). Os autores avaliaram uma edificação de 1907 na cidade de Porto Alegre/RS e observaram que as amostras de argamassas analisadas apresentaram proporções em massa variando de 1:2 até 1:5,4. Moropoulou, Bakolas e Anagnostopoulou (2005) sustentam que as relações ligante/agregado em edifícios históricos variam entre 1:1 e 1:4.

Quadro 3 – Proporcionamento ligante/agregado

Amostra	Amostra seca (g)	Agregados secos (g)	Finos (g)	Ligante (g)	Ligante + finos (g)	% Ligante	% Finos	% Agregado	Agregado/Ligante + Finos (g)	Traço provável (em massa)
	(A)	(B)	(C)	D= (A- B- C)	E= (D+C)	(E/ 100) *A	(C/100) *A	(B/100) *A	(B/E)	
A1	37,90	24,90	1,31	11,69	13,00	30,84	3,46	65,69	1,92	1:1,92
A2	40,30	33,23	0,41	6,66	7,07	16,53	1,02	82,46	4,70	1:4,70
A3	42,40	30,20	1,51	10,69	12,20	25,20	3,57	71,23	2,48	1:2,48
A4	40,70	33,90	0,92	5,88	6,80	14,45	2,26	83,29	4,99	1:4,99
A5	40,50	30,20	1,04	9,26	10,30	22,87	2,57	74,57	2,93	1:2,93

Fonte: Elaboração própria

Da mesma maneira em que ocorreram semelhanças de cor entre as amostras A2 e A4 (Figura 14), também foram encontradas similaridades em seus traços (Quadro 3). Em suma, as amostras com cores mais claras da dissolução (amostras A2 e A4), apresentaram traços com maior quantidade de agregados, são provenientes de

alturas semelhantes na edificação, próximas entre si, podendo ser de um mesmo “lote”.

O Quadro 4 e a Figura 15 apresentam os resultados da análise das propriedades físicas dos agregados.

Quadro 4 – Diâmetro máximo e módulo de finura dos agregados.

Amostra	Diâmetro máximo (mm)	Módulo de finura
A1	2,36	1,95
A2	0,60	1,57
A3	2,36	1,67
A4	0,60	1,54
A5	2,36	1,56

Fonte: Elaboração própria

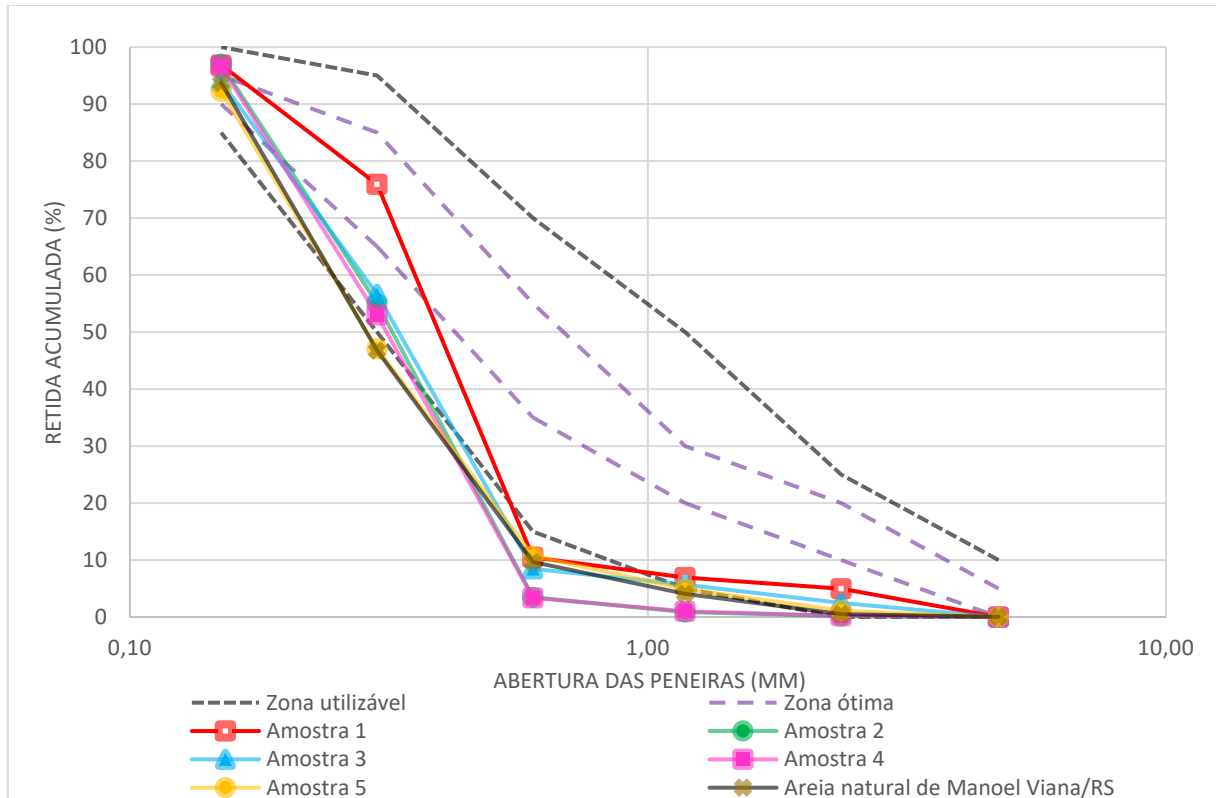
Neste estudo, o módulo de finura variou entre 1,54 (amostra A4) e 1,95 (amostra A1). A amostra A1 apresentou o maior módulo de finura, o que pode ter contribuído a este resultado, é o fato desta amostra ter sido coletada na base da edificação e ter apresentado o maior teor de umidade que as demais, o que contribui para a deterioração da argamassa, diminuindo a presença finos.

Os módulos de finura mais elevados foram obtidos para as amostras A1 e A3, enquanto que as amostras A2, A4 e A5 apresentaram módulo de finura similares (em torno de 1,5). De acordo com Bauer (2008) os agregados miúdos testados se caracterizaram como areia fina, por apresentarem módulo de finura entre os limites de 1,71 a 2,85.

Pode ser observado no Quadro 4 que as amostras A1, A3 e A5 e as amostras A2 e A4 apresentaram os mesmos valores para o diâmetro máximo, 2,36 mm e 0,60 mm, respectivamente.

A Figura 15 apresenta a composição granulométrica dos agregados miúdos obtidos da caracterização das argamassas históricas e a composição granulométrica da areia natural utilizada na região.

Figura 15 – Distribuição granulométrica dos agregados



Fonte: Elaboração própria

As composições granulométricas dos agregados miúdos indicam que as amostras A2, A3, A4 e A5 são bastante análogas. A amostra A1 apresenta menor porcentagem retida na peneira 0,15 mm e maior na peneira 0,3 mm. Em geral as curvas da composição granulométrica obtidas da reconstituição de traços são semelhantes a curva da composição granulométrica da areia natural comumente encontrada na região, cuja origem é do rio Ibicuí - município de Manoel Viana/RS. Pesquisadores como Beche (2021) e Pereira (2022) apresentam a caracterização do agregado miúdo proveniente do rio Ibicuí em suas pesquisas, permitindo a comparação dos resultados. Em função do exposto, é provável que na composição das argamassas da Estação Ferroviária tenha sido utilizado esse agregado.

### 4.3 Fluorescência de raios X (FRX)

A partir dos dados obtidos pela análise de fluorescência de raios X, foi obtido teor de óxidos presentes nas amostras. Cada amostra foi analisada em triplicata, e estão apresentadas em média (Quadro 5). Em todas amostras o composto mais significativo encontrado foi o óxido de Cálcio (CaO), que indica a composição do

ligante à base de cal. O segundo óxido encontrado em quantidades mais significativas foi o óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), que designa que na composição contém areia. Nas pesquisas de Guerra, *et al.* (2019) e Bersch *et al.* (2020) em edifícios históricos, esses compostos também foram os mais encontrados. Outros componentes foram encontrados nas amostras, como o óxido de Magnésio ( $\text{MgO}$ ) com porcentagens variando de 6,79% a 10,36% e óxido de Alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) com porcentagens de 4,19% a 7,30%. Os componentes com menores porcentagens presentes nas amostras foram óxidos de Ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e Potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ), com porcentagens variando de 1,36% a 2,28% e 0,43% a 1,22%, respectivamente. Na análise foram encontrados também outros óxidos, mas em pequenas proporções, devido a este fato, não se tornaram relevantes para este estudo.

Quadro 5 – Média dos resultados da FRX

Amostras	Compostos (%)					
	MgO	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{K}_2\text{O}$	CaO	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
A1	8,40	6,13	13,27	1,22	43,30	2,28
A2	10,36	4,19	12,77	0,50	45,97	1,36
A3	7,74	5,38	11,07	0,68	49,37	1,94
A4	11,11	4,98	16,93	0,43	42,50	1,64
A5	6,79	7,30	13,60	1,72	57,90	1,51

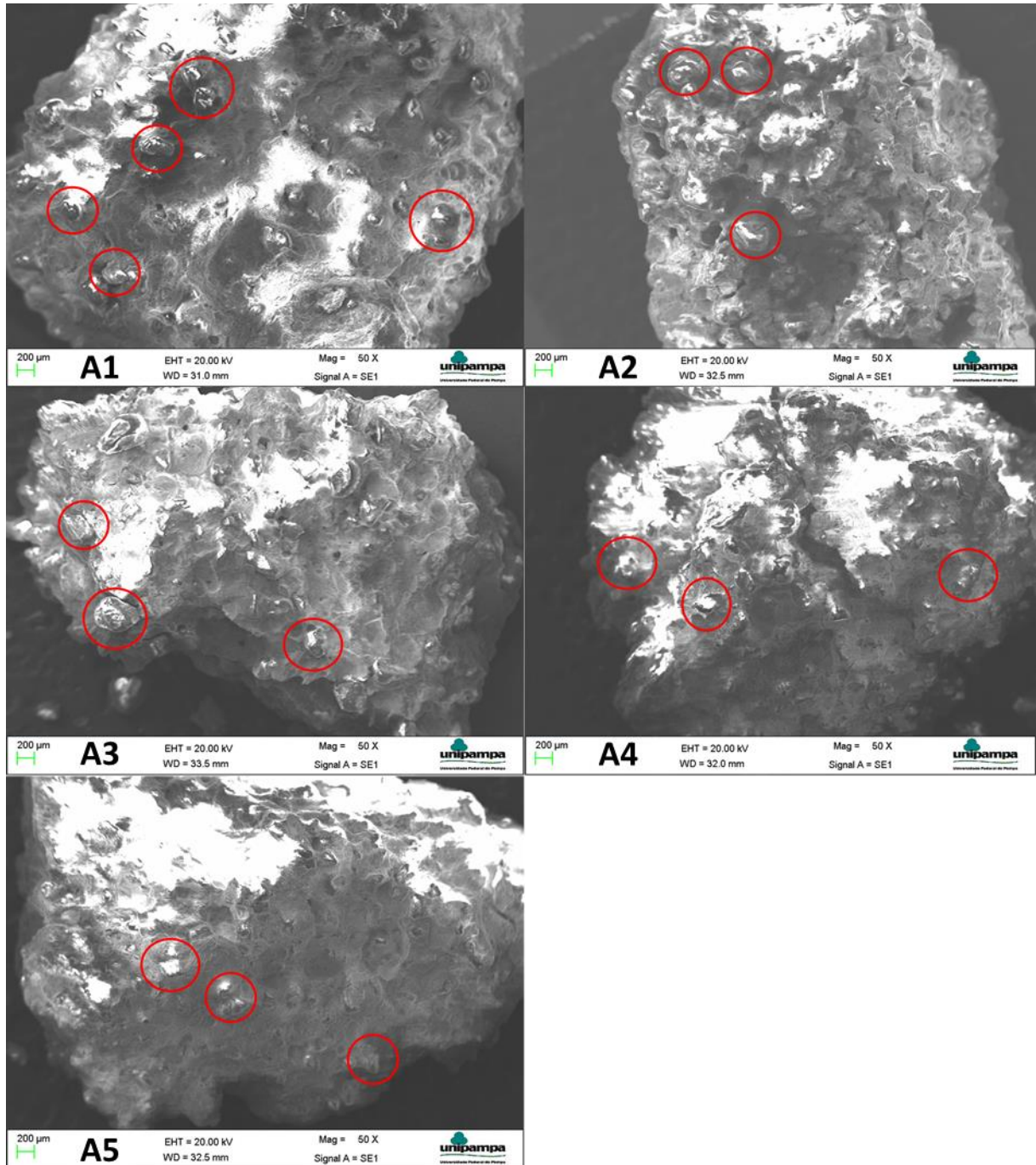
Fonte: Elaboração própria

#### 4.4 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A partir das capturas de imagens realizadas pelo microscópio eletrônico de varredura (MEV), com 50 X de magnitude de ampliação, verificou-se a presença e a distribuição dos agregados miúdos em cada amostra. Os agregados apresentaram formatos circulares e de superfície rugosa. Na Figura 16 estão em destaque alguns agregados, para melhor observação. Com 100 X de magnitude foram identificados poros (Figura 17). Os poros possuem diferentes dimensões, em formatos irregulares e estão distribuídos ao longo da amostra de maneira dispersa, nessa análise não foram verificadas as dimensões dos poros. Desta forma, pode constatar-se que a argamassa tem uma certa porosidade por meio das características da distribuição da porosidade, o que condiz com argamassas de construções históricas (VEIGA; AGUIAR, 2003).

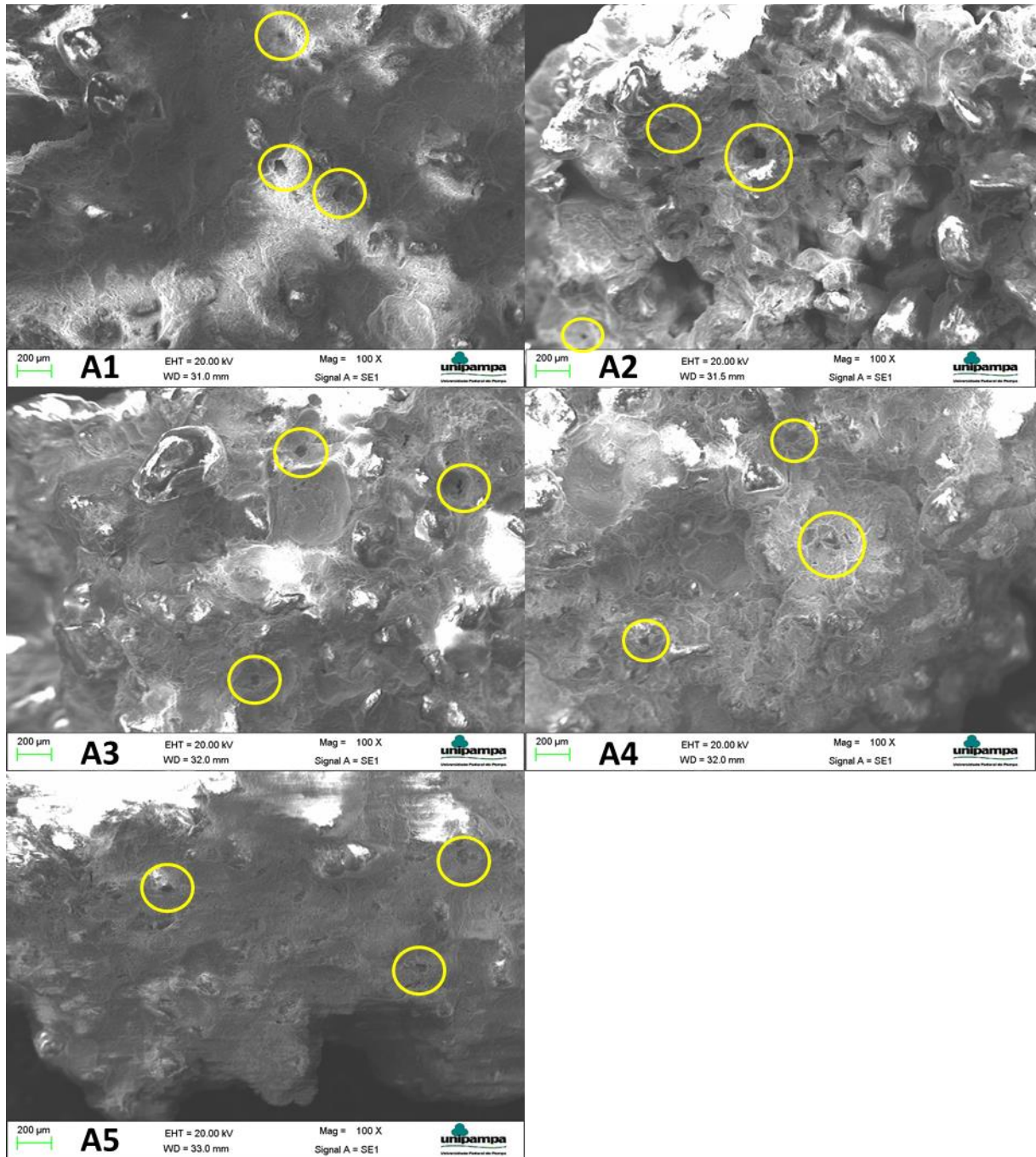


Figura 16 – Captura do MEV – Agregados miúdos



Fonte: Elaboração própria

Figura 17 – Captura MEV – Poros



Fonte: Elaboração própria

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho realizou a caracterização do revestimento argamassado da fachada da Estação Ferroviária de Alegrete/RS, edificação com valor histórico para a região. Foram analisadas cinco amostras de argamassa e, a partir dos resultados encontrados, são apresentadas as considerações finais.

O proporcionamento entre ligante/agregado da argamassa de revestimento da Estação Ferroviária de Alegrete, obtido pela técnica de ataque químico, condiz com proporções de construções históricas encontradas em outros trabalhos científicos, demonstrando que esta técnica proporciona resultados coerentes.

A amostra A1 apresentou um traço rico, as amostras A2 e A4, traços mais pobres, enquanto as demais apresentaram proporções intermediárias. A granulometria foi semelhante para quase todas as amostras, exceto A1. Além disso, essa foi a amostra com maior teor de umidade quando coletada.

Através da análise de fluorescência de raios X, foi identificado uma alta porcentagem de óxido de cálcio presente nas amostras, indicando que o ligante da argamassa é à base de cal. O óxido de silício, também encontrado em maior porcentagem, aponta que os agregados miúdos são compostos por areia natural de origem silicosa. Tais características reiteram, desta forma, que se trata de uma argamassa histórica.

A partir das imagens capturadas pelo microscópio eletrônico de varredura, foi possível concluir que a argamassa possui certa porosidade, a partir da sua distribuição entre ligante e agregados, condizente com argamassas históricas.

A caracterização das argamassas foi fundamental para obter informações de materiais e traços utilizados da época em que foi executada, desta forma, intervenções futuras na edificação estudada, poderão ser feitas com as técnicas e materiais adequados.

## REFERÊNCIAS

- ABDUL-RASHID, R.; AHMAD, A. G. The Implementation of Maintenance Works for Historical Buildings: A Review on the Current Scenario. **Procedia Engineering**. v. 20, p. 415-424, 2011.
- ADRIANO, P. *et al.* Determinação da Composição de Argamassas Antigas. **ResearchGate**. Portugal, 2007. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/228725321\\_Determinacao\\_da\\_Composicao\\_de\\_Argamassas\\_Antigas](https://www.researchgate.net/publication/228725321_Determinacao_da_Composicao_de_Argamassas_Antigas). Acesso em: 05 jul. 2022.
- ALEGRETE. **Centro de Pesquisa e Documentação de Alegrete – CEPAL**. 2022.
- ALMEIDA, A. Prefeitura consulta DNIT para cercar plataforma da Estação Férrea de Alegrete. **Prefeitura de Alegrete**, 2019. Disponível em: <https://www.alegrete.rs.gov.br/?bW9kdWxvPTAmYXJxdWI2bz1tb3N0cmFub3RpY2lhLnBocCZjb250PTk4ODlmbWVudT01NCZtdWRhdGVtcGxhdGU9dGVtcGxhdGUvdGVtcGxhdGVfcHJIZmVpdHVyYTIucGhw>. Acesso em: 15 jul. 2022.
- ARAÚJO, C. M. **Caracterização de argamassas históricas: estudo de caso da ponte da pedra lavrada**. Orientador: Janaina Salustio da Silva. 2020. 46 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, 2020.
- ASFORA, V. K. **Fluorescência de Raios X por dispersão de energia aplicada à caracterização de tijolos de sítios históricos de Pernambuco**. 2010. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas Nucleares, Universidade Federal de Pernambuco, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248/03 Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- ASTE, N. *et al.* Microclimatic monitoring of the Duomo (Milan Cathedral): Risks-based analysis for the conservation of its cultural heritage. **Building and Environment**, p. 240-257, 2019.
- BALKSTEN, K. *et al.* Petrography of historic mortar materials: polarising light microscopy as a method for characterising lime-based mortars. **Proceedings of the 5th Historic Mortars Conference**. HMC 2019. Navarra, Spain, 2019.
- BARBOSA, M. T. *et al.* Bridges in Juiz de Fora City. **8th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, IABMAS 2016**. Foz do Iguaçu, p. 1658-1663, 2016.
- BARROSO, T. R. **Estudo da Atividade Pozolânica e da Aplicação em Concreto de Cinzas do Bagaço de Cana-de-Açúcar com Diferentes Características Físico-**

**Químicas**. 2011. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2011.

BAUER, F. L. A. **Materiais de Construção**. 5ª ed. revisada. Rio de Janeiro: LTC, p.471, 2008.

BECHE, R. **Avaliação de desempenho de argamassas modificadas com areia de pet e fibras de polipropileno**. Orientador: Simone D. Venquiaruto. 2021. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, 2021.

BERSCH, J. D. *et al.* Diagnosis of Pathological Manifestations and Characterization of the Mortar Coating from the Facades of Historical Buildings in Porto Alegre — Brazil: A Case Study of Château and Observatório Astronômico. **International Journal of Architectural Heritage**. v.15, p. 1145-1169, 2020.

BOCHEN, J.; LABUS, M. Study on physical and chemical properties of external lime-sand plasters of some historical buildings. **Construction and Building Materials**. p. 11-19, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061813002961>. Acesso em: 23 mai. 2022.

BOURNAS, D. Strengthening of existing structures: Selected case studies. **Textile Fibre Composites in Civil Engineering**. p. 389-410, 2016.

BRAGA, M. **Conservação e Restauro**. Arquitetura. Livro 03, Editora Rio, 2003.

BUENO, N. Diferenças entre DRX e FRX. **Minas Jr**, 2022. Disponível em: <https://www.minasjr.com.br/diferencas-entre-drx-e-frx/>. Acesso em: 27 jul. 2022.

BULTREYS, T. *et al.* Fast laboratory-based micro-computed tomography for pore-scale research: illustrative experiments and perspectives on the future. **Adv Water Resour**. V. 95, p. 341-351, 2016. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/348628379\\_Fast\\_micro-computed\\_tomography\\_data\\_of\\_solute\\_transport\\_in\\_porous\\_media\\_with\\_different\\_heterogeneity\\_levels](https://www.researchgate.net/publication/348628379_Fast_micro-computed_tomography_data_of_solute_transport_in_porous_media_with_different_heterogeneity_levels). Acesso em: 23 mai. 2022.

CAMPOS, A. F. *et al.* Evaluation of health conditions of wooden structures of the former slave quarters of farm Santa Maria do Monjolinho, located in the state of São Paulo, Brazil. **Advanced Materials Research**. v. 778, p. 1096-1101, 2013.

CANTISANI, E. *et al.* The mortars of Giotto's Bell Tower (Florence, Italy): raw materials and Technologies. **Construction and Building Materials**. v. 267, 2021.

CARÒ, F.; DI GIULIO, A.; MARMO, R. Textural analysis of ancient plasters and mortars: reliability of image analysis approaches. **Geomaterials in Cultural Heritage**. v. 257, p. 337-345, 2006.

CARRAN, D. *et al.* A Short History of the Use of Lime as a Building Material Beyond Europe and North America. **International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis, and Restoration**. p. 117-146, 2012.

CARTA DE CRACÓVIA. **Princípios para a conservação e o restauro do patrimônio construído**. Polônia, 2000. Disponível em: <http://www.patrimoniocultural.gov.pt/media/uploads/cc/cartadecracovia2000.pdf>. Acesso em: 24 mai. 2022.

CARVALHO, B. R. **A matéria como instrumento da concepção arquitectónica: as alvenarias resistentes nas técnicas tradicionais portuguesas**. Dissertação (Mestrado em Construção de Edifícios) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2006. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/12652?locale=pt>. Acesso em: 24 mai. 2022.

CARVALHO, L. Z. **Levantamento de manifestações patológicas de edificações do Patrimônio Cultural do município de Alegrete-RS**. Orientador: Aldo Leonel Temp. 2016. 96 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, 2016.

CAVALCANTE, A. M. *et al.* Caracterização dos danos em construções históricas de alvenaria vernacular: casos de estudo. **Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções – CBPAT 2016**. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/294876813\\_Caracterizacao\\_dos\\_danos\\_em\\_construcoes\\_historicas\\_de\\_alvenaria\\_vernacular\\_casos\\_de\\_estudo](https://www.researchgate.net/publication/294876813_Caracterizacao_dos_danos_em_construcoes_historicas_de_alvenaria_vernacular_casos_de_estudo). Acesso em: 25 mai. 2022.

COELHO, A. Z. G.; TORGAL, F. P.; JALALI, S. **A cal na construção**. Portugal: TecMinho, 2009.

COSTA, E. C.; RIBEIRO, D. M. L.; OLIVEIRA, L. A. P. de. Evaluation of reinforced concrete beams of a building situated in the historical center of são luís – Ma. **Construction Pathology, Rehabilitation Technology and Heritage Management, Rehabend Congress**, Caceres, Spain, p. 1006-1013, 2018.

COSTA, V. S.; SILVEIRA, A. M.; TORRES, A. S. Evaluation of Degradation State of Historic Building Facades through Qualitative and Quantitative Indicators: Case Study in Pelotas, Brazil. **International Journal of Architectural Heritage**, p. 1-24, 2021.

DÍAZ-RECASENS, G. *et al.* Os revestimentos antigos e a identidade dos edifícios. **Arquitectura Ibérica**. Reabilitação, nº 12, 2006. Editora Caleidoscópico, 2006. Disponível em: <http://cathedral.Inec.pt/publicacoes/a1.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2022.

ELSEN, J. Microscopy of historic mortars - a review. **Cement and Concrete Research**, v. 36, p. 1416-1424, 2006.

ERGENÇ, D. *et al.* Mortars and plasters - How to characterize aerial mortars and plasters. **Archaeological and Anthropological Sciences**, v. 13, n. 197, 2021.

ESMAEILI, J.; ASLANI, H; ONUAGULUCHI, O. Reuse Potentials of Copper Mine Tailings in Mortar and Concrete Composites. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 32, n. 5, 2020.

FONTENELE, A. *et al.* Structural vulnerability assessment of facades of Ceará historic cities. **Journal of Building Engineering**, v. 42, n. 102461, 2021.

GASPAR, P. L.; BRITO, J. Assessment of the overall degradation level of an element, based on field data. **International Conference On Durability of Building Materials and Components**. Lyon, France, 2005.

GIESBRECHT, R. M. Alegrete. **Estações Ferroviárias do Brasil**, 2022. Disponível em: [http://www.estacoesferroviarias.com.br/rs\\_uruguaiana/alegrete.htm](http://www.estacoesferroviarias.com.br/rs_uruguaiana/alegrete.htm). Acesso em: 27 jul. 2022.

GIORDANI, C. *et al.* Historical mortar coating characterization for recording and restoration proposal. **Construction Pathology, Rehabilitation Technology and Heritage Management, Rehabend Congress**. Granada, Spain, p. 1416-1424, 2020.

GLEIZE, P.; SILVA, D. A.; NAPPI, S. Ancient rendering mortars from a Brazilian palace: Its characteristics and microstructure. **Cement and Concrete Research**. n. 30, p. 1609-1614, 2000.

GUERRA, F. L. *et al.* Biodeterioration of mortar coating in historical buildings: Microclimatic characterization, material, and fungal community. **Building and Environment**, v. 155, p. 195-209, 2019.

GUERRA, F. L. *et al.* Physicochemical Characterization of Historical Coating Mortars – Case Studies in South Brazil. **International Journal of Architectural Heritage**, v. 16, p. 242-260, 2020.

INOCÊNCIO, C. R.; BARBOSA, M. T. G. Research About the Techniques Sustainable to be Adopted in Conservation the Santa Teresinha Chapel. **International Conference on Protection of Historical Constructions, PROHITECH 2021**, v. 209, p. 1030-1053, 2022.

JAPIASSÚ *et al.* Caracterização da interface azulejo/argamassa de fachadas históricas. **Revista ALCONPAT**. v. 4, 2014.

KANAN, M. I. C. **Manual de Conservação e Intervenção em Argamassas e Revestimentos à Base de Cal**. Cadernos Técnicos 8. IPHAN/Programa Monumenta, Brasília, 2008.

LAPA, J. S. **Patologia, Recuperação e Reparo das Estruturas De Concreto**. 2008. 56 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

LEE, G. *et al.* Experimental Investigation of Traditional Clay Brick and Lime Mortar Intended for Restoration of Cultural Heritage Sites. **Appl. Sci**, n. 6228, p. 1-16, 2021.

LOURENÇO, P. B.; PEÑA, F.; AMADO, M. A document management system for the conservation of cultural heritage buildings. **International Journal of Architectural Heritage**, v. 5, p. 101-121, 2011.

MARGALHA, G. M. Argamassas. **Conservação e Recuperação do Patrimônio**. Universidade de Évora – Engenharia Civil. Portugal, 2011.

MELO JÚNIOR, A. S. **Análise quantitativa do material particulado na região de Campinas através das técnicas de microfluorescência de raios-X e reflexão total usando radiação síncroton**. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2007.

MORAIS, A. C. S.; CRUZ, A. J.; REGO, C. 2016. O contributo da conservação e restauro para o conhecimento da história de um objecto: o caso de um biombo com características orientais em madeira policromada. **Revista internacional de investigación en mobiliario y objetos decorativos**, v. 5, nº. 6, 2016.

MOROPOULOU, A.; BAKOLAS, A.; ANAGNOSTOPOULOU, S. Composite materials in ancient structures. **Cement & Concrete Composites**, v. 27, p. 285-300, 2005.

MOURA, P. G. T. **Reabilitação com argamassa projetada em construções históricas de pedra no litoral paraibano**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal da Bahia e Universidade Federal da Paraíba, Salvador, 2013.

PEREIRA, E. C. **Resistência à compressão de concretos microfissurados: influência da incorporação de vidro cominuído e do tipo de cura**. Orientador: Simone D. Venquiaruto. 2022. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, 2022.

PRATI. Fotos Antigas – Álbuns Cidades. **Prati**, 2013. Disponível em: <https://prati.com.br/fotosantigas/albuns>. Acesso em: 15 jul. 2022.

REBMANN, M. S. **Durabilidade de concretos estruturais com baixo consumo de cimento portland e alta resistência**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

RECENA, F. A. **Técnicas Aplicáveis a Trabalhos de Restauração de Prédios de Interesse Histórico e Cultural**. Porto Alegre: IPSDP, 2014.

RODRIGUES, M. F.; TEIXEIRA, J. M. C.; CARDOSO, J. C. P. Buildings envelope anomalies: A visual survey methodology. **Construction and Building Materials**, v. 25, p. 2741-2750, 2011.

SANTHANAM, K.; RAMADOSS, R. Investigation on Alamparai Fort by utilization of organic materials for improvement of stability of heritage structure. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-19, 2021.



SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **História**. São Paulo: SNIC, 2023.

SOARES, R. A. L.; CASTRO, R. J. S.; NASCIMENTO, R. M. Estudo da potencialidade da aplicação de uma argila contaminada com calcário na produção de placas cerâmicas. **Cerâmica**, v. 68, p. 475-480, 2012.

SOUSA, A. K. D. **Argamassa do Grupo escolar Augusto Severo/RN: caracterização e incidência de manifestações patológicas**. 2014. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

TEUTONICO, J. M. 1988. **Manual de laboratório para conservadores arquitetônicos**: Centro Internacional para o Estudo da Preservação e Restauração de Bens Culturais (ICCROM). Roma, Itália, 1988.


UNESCO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Patrimônio mundial no Brasil**. Brasília, DF: UNESCO, 2022. Disponível em: <https://pt.unesco.org/fieldoffice/brasil/expertise/world-heritage-brazil>. Acesso em: 10 jun. 2022.

UNESCO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS; INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL (Brasil). **Gestão do patrimônio mundial natural**, Brasília, DF: UNESCO, IPHAN, 2016.

VEIGA, M. R.; AGUIAR, J. Definição de estratégias de intervenção em revestimentos de edifícios antigos. **1º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios**. Porto, 2003. Disponível em: <http://conservarcal.lnec.pt/pdfs/RV-JA-Patorreb.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2022.

VEIGA, M. R. **Conservação e reparação de revestimentos de paredes de edifícios antigos** – Métodos e materiais. Teses e Programas de Investigação LNEC. 1 e. Lisboa, 2009.

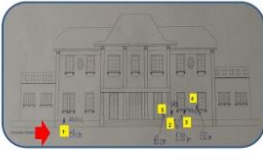
## APÊNDICE A – Ficha para desenvolvimento de dados da amostra A1



**Material Ensaiado**  
**Argamassa de Revestimento**

Altura de coleta **0,58 m**

Amostra  
**01**



Local Coleta  
*Antiga Estação Ferroviária de AlegreteRS*

---

### RECONSTITUIÇÃO DE TRAÇOS DE REVESTIMENTOS

Amostra seca (g)	Agregados secos (g)	Finos (g)	Ligante (g)	Ligante + finos (g)	% Ligante	% Finos	% Agregado	Agregado/ Ligante + Finos (g)	Traço provável (em massa)
37,90	24,90	1,31	11,69	13,00	34,30	3,46	65,70	1,92	1:1,92
<i>Preencher</i> Cálculo automático <i>Preencher</i>									

---

### DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

NM 248 -2003

*Preencher*

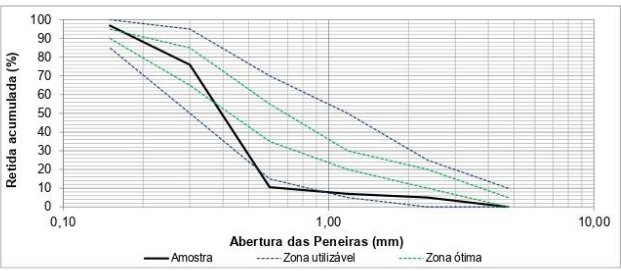
Peneira (mm)	Material (g)	Porcentagem Retida (%)	Porcentagem Retida Acumulada (%)	Módulo de Finura (MF)
4,75	0	0,00	0,00	0,00
2,36	1,24	4,98	4,98	4,98
1,18	0,49	1,97	6,95	11,93
0,6	0,88	3,54	10,49	22,42
0,3	16,29	65,45	75,93	98,35
0,15	5,21	20,93	96,87	195,22
Fundo	0,78	3,13	100	
Massa total (g)	24,89	100	Módulo de Finura	1,95

Diâmetro Máximo = 2,36 mm  
 Módulo de Finura 1,95  
*Preencher*

---

### DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO

NM 248 -2003




---

### LIMITES GRANULOMÉTRICOS

Peneira com abertura de malha (mm)	Porcentagem, em massa, retida acumulada (%)				Agregado
	Limites Inferiores		Limites Superiores		
	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Ótima	Zona Utilizável	
4,75	0	0	5	10	0,00
2,36	0	10	20	25	4,98
1,18	5	20	30	50	6,95
0,60	15	35	55	70	10,49
0,30	50	65	85	95	75,93
0,15	85	90	95	100	96,87

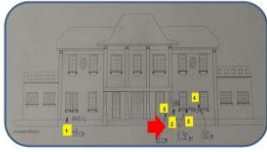
## APÊNDICE B – Ficha para desenvolvimento de dados da amostra A2



Universidade Federal do Pampa

Amostra

**02**



Local Coleta  
Antiga Estação Ferroviária de AlegreteRS

**Material Ensaiado**

Argamassa de Revestimento

Altura de coleta 1,30 m

### RECONSTITUIÇÃO DE TRAÇOS DE REVESTIMENTOS

Amostra seca (g)	Agregados secos (g)	Finos (g)	Ligante (g)	Ligante + finos (g)	% Ligante	% Finos	% Agregado	Agregado/ Ligante + Finos (g)	Traço provável (em massa)
40,30	33,23	0,4099	6,66	7,07	17,54	1,02	82,46	4,70	1:4,68
Preencher <span style="margin-left: 150px;">Cálculo automático</span> <span style="float: right;">Preencher</span>									

### DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

NM 248 -2003

Preencher

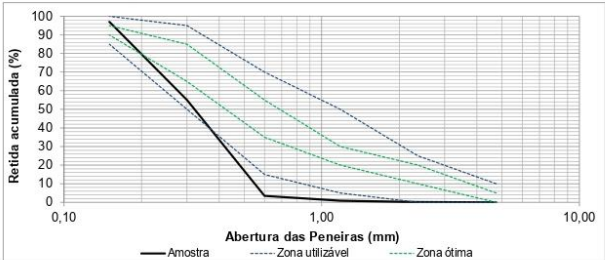
Peneira (mm)	Material (g)	Porcentagem Retida (%)	Porcentagem Retida Acumulada (%)	Módulo de Finura (MF)
4,75	0	0,00	0,00	0,00
2,36	0,06	0,18	0,18	0,18
1,18	0,23	0,69	0,87	1,05
0,6	0,86	2,59	3,46	4,52
0,3	17,13	51,57	55,03	59,54
0,15	13,95	41,99	97,02	156,56
Fundo	0,99	2,98	100	
Massa total (g)	33,22	100	Módulo de Finura	1,57

Diâmetro Máximo = 0,6 mm  
 Módulo de Finura = 1,57

Preencher

### DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO


NM 248 -2003



### LIMITES GRANULOMÉTRICOS

Peneira com abertura de malha (mm)	Porcentagem, em massa, retida acumulada (%)				Agregado
	Limites Inferiores		Limites Superiores		
	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Ótima	Zona Utilizável	
4,75	0	0	5	10	0,00
2,36	0	10	20	25	0,18
1,18	5	20	30	50	0,87
0,60	15	35	55	70	3,46
0,30	50	65	85	95	55,03
0,15	85	90	95	100	97,02

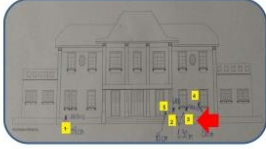
## APÊNDICE C – Ficha para desenvolvimento de dados da amostra A3



Material Ensaiado  
**Argamassa de Revestimento**

Altura de coleta **1,30 m**

Amostra  
**03**



Local Coleta  
Antiga Estação Ferroviária de AlegreteRS

### RECONSTITUIÇÃO DE TRAÇOS DE REVESTIMENTOS

Amostra seca (g)	Agregados secos (g)	Finos (g)	Ligante (g)	Ligante + finos (g)	% Ligante	% Finos	% Agregado	Agregado/ Ligante + Finos (g)	Traço provável (em massa)
42,40	30,20	1,51	10,69	12,20	28,77	3,57	71,23	2,48	1:2,48
<i>Preencher</i> Cálculo automático <i>Preencher</i>									

### DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

NM 248 -2003

*Preencher*

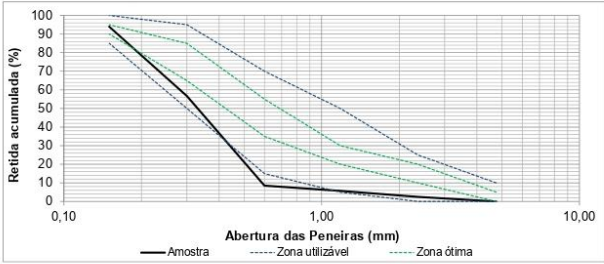
Peneira (mm)	Material (g)	Porcentagem Retida (%)	Porcentagem Retida Acumulada (%)	Módulo de Finura (MF)
4,75	0	0,00	0,00	0,00
2,36	0,74	2,47	2,47	2,47
1,18	0,96	3,21	5,69	8,16
0,6	0,83	2,78	8,46	16,62
0,3	14,41	48,19	56,66	73,28
0,15	11,15	37,29	93,95	167,22
Fundo	1,81	6,05	100	
Massa total (g)	29,9	100	Módulo de Finura	1,67

Diâmetro Máximo = 2,36 mm
Módulo de Finura 1,67

*Preencher*

### DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO


NM 248 -2003



### LIMITES GRANULOMÉTRICOS

Peneira com abertura de malha (mm)	Porcentagem, em massa, retida acumulada (%)				Agregado
	Limites Inferiores		Limites Superiores		
	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Ótima	Zona Utilizável	
4,75	0	0	5	10	0,00
2,36	0	10	20	25	2,47
1,18	5	20	30	50	5,69
0,60	15	35	55	70	8,46
0,30	50	65	85	95	56,66
0,15	85	90	95	100	93,95


## APÊNDICE D – Ficha para desenvolvimento de dados da amostra A4



Universidade Federal de Pampa

Amostra

**04**



Local Coleta  
Antiga Estação Ferroviária de AlegreteRS

Material Ensaado

**Argamassa de Revestimento**

Altura de coleta

1,60 m

### RECONSTITUIÇÃO DE TRAÇOS DE REVESTIMENTOS

Amostra seca (g)	Agregados secos (g)	Finos (g)	Ligante (g)	Ligante + finos (g)	% Ligante	% Finos	% Agregado	Agregado/ Ligante + Finos (g)	Traço provável (em massa)
40,70	33,90	0,92	5,88	6,80	16,71	2,26	83,29	4,99	1:4,99
<i>Preencher</i>		<i>Cálculo automático</i>						<i>Preencher</i>	

### DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

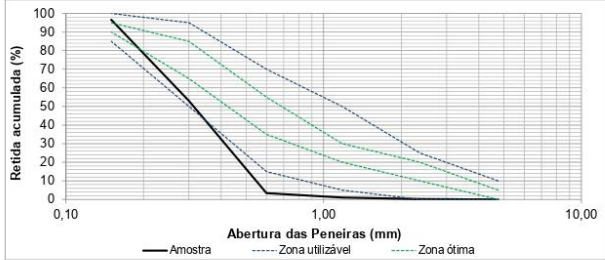
NM 248 -2003

Peneira (mm)	Material (g)	Porcentagem Retida (%)	Porcentagem Retida Acumulada (%)	Módulo de Finura (MF)
4,75	0	0,00	0,00	0,00
2,36	0,08	0,24	0,24	0,24
1,18	0,26	0,77	1,00	1,24
0,6	0,8	2,36	3,37	4,61
0,3	16,79	49,62	52,98	57,59
0,15	14,76	43,62	96,60	154,20
Fundo	1,15	3,40	100	
Massa total (g)	33,84	100	Módulo de Finura	1,54

Diâmetro Máximo = 0,6 mm  
Módulo de Finura 1,54  
*Preencher*

### DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO


NM 248 -2003



### LIMITES GRANULOMÉTRICOS

Peneira com abertura de malha (mm)	Porcentagem, em massa, retida acumulada (%)				Agregado
	Limites Inferiores		Limites Superiores		
	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Ótima	Zona Utilizável	
4,75	0	0	5	10	0,00
2,36	0	10	20	25	0,24
1,18	5	20	30	50	1,00
0,60	15	35	55	70	3,37
0,30	50	65	85	95	52,98
0,15	85	90	95	100	96,60

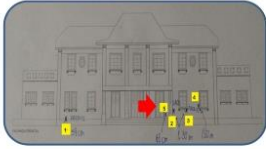
## APÊNDICE E – Ficha para desenvolvimento de dados da amostra A5



Universidade Federal de Pampa

Amostra

05



Local Coleta  
Antiga Estação Ferroviária de AlegreteRS

**Material Ensaado**

Argamassa de Revestimento

Altura de coleta 0,68 m

### RECONSTITUIÇÃO DE TRAÇOS DE REVESTIMENTOS

Amostra seca (g)	Agregados secos (g)	Finos (g)	Ligante (g)	Ligante + finos (g)	% Ligante	% Finos	% Agregado	Agregado/ Ligante + Finos (g)	Traço provável (em massa)
40,50	30,20	1,04	9,26	10,30	25,43	2,57	74,57	2,93	1:2,93
Preencher <span style="margin-left: 150px;">Cálculo automático</span> <span style="float: right;">Preencher</span>									

### DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

NM 248 -2003

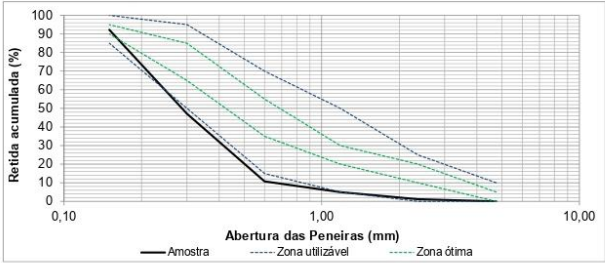
Peneira (mm)	Material (g)	Porcentagem Retida (%)	Porcentagem Retida Acumulada (%)	Módulo de Finura (MF)
4,75	0	0,00	0,00	0,00
2,36	0,34	1,13	1,13	1,13
1,18	1,14	3,79	4,92	6,05
0,6	1,75	5,82	10,75	16,80
0,3	10,92	36,33	47,07	63,87
0,15	13,57	45,14	92,22	156,09
Fundo	2,34	7,78	100	
Massa total (g)	30,06	100	Módulo de Finura	1,56

Diâmetro Máximo = 2,36 mm  
 Módulo de Finura = 1,56

Preencher

### DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO

NM 248 -2003



— Amostra
- - - Zona utilizável
- - - - Zona ótima

### LIMITES GRANULOMÉTRICOS

Peneira com abertura de malha (mm)	Porcentagem, em massa, retida acumulada (%)				Agregado
	Limites Inferiores		Limites Superiores		
	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Ótima	Zona Utilizável	
4,75	0	0	5	10	0,00
2,36	0	10	20	25	1,13
1,18	5	20	30	50	4,92
0,60	15	35	55	70	10,75
0,30	50	65	85	95	47,07
0,15	85	90	95	100	92,22