

INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS, CAMPUS OURO PRETO  
CURSO DE TECNOLOGIA EM CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO  
DE BENS CULTURAIS

Camila Lana Verardo

**ANÁLISE DO TRAÇO DA ARGAMASSA DO MUSEU DA INCONFIDÊNCIA, OURO  
PRETO/MG: identificação dos materiais constituintes para propostas de intervenção  
futuras**

Ouro Preto

2025

CAMILA LANA VERARDO

**ANÁLISE DO TRAÇO DE ARGAMASSA DO MUSEU DA INCONFIDÊNCIA, OURO  
PRETO/MG: identificação dos materiais constituintes para propostas de intervenção  
futuras**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Tecnóloga em Conservação e Restauração de Bens Culturais, no Instituto Federal de Minas Gerais - campus Ouro Preto.

Orientador: Larissa Camilo de Souza Lima e Silva  
Coorientador: Gustavo Dias Ramos

Ouro Preto

2025

---

V476a Verardo, Camila Lana.  
Análise do traço da argamassa do Museu da Inconfidência, Ouro Preto/  
MG [manuscrito]: identificação dos materiais constituintes para propostas  
de intervenção futuras/ Camila Lana Verardo. – 2025.  
103 f: il.

Orientadora: Larissa Camilo de Souza Lima e Silva.  
Coorientador: Gustavo Dias Ramos.  
Trabalho de Conclusão de Curso (tecnologia) – Instituto Federal de  
Minas Gerais. *Campus* Ouro Preto, 2025.

1. Argamassa. 2. Museu da Inconfidência. 3. Patrimônio Cultural. I.  
Silva, Larissa Camilo de Souza Lima e. II. Ramos, Gustavo Dias. III.  
Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus* Ouro Preto. IV. Título.

CDU: 727:069

---


Catálogo: Kelly Cristiane Santos Morais - CRB-6/3217

Camila Lana Verardo

**ANÁLISE DO TRAÇO DE ARGAMASSA DO MUSEU DA INCONFIDÊNCIA, OURO  
PRETO/MG:  
IDENTIFICAÇÃO DOS MATERIAIS CONSTITUINTES PARA PROPOSTAS DE  
INTERVENÇÃO FUTURAS**


Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Tecnóloga em Conservação e Restauração de Bens Culturais, no Instituto Federal de Minas Gerais - campus Ouro Preto.

Aprovado em: 28/08/2025 pela banca examinadora:

Documento assinado digitalmente  
 **LARISSA CAMILO DE SOUZA LIMA E SILVA**  
Data: 04/09/2025 16:46:53-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

---

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Larissa Camilo de Souza Lima e Silva - IFMG (Orientadora)**

Documento assinado digitalmente  
 **GUSTAVO DIAS RAMOS**  
Data: 04/09/2025 10:44:29-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>


---

**Me. Gustavo Dias Ramos - UFOP (Coorientador)**

Documento assinado digitalmente  
 **ANA PAULA DE MORAES**  
Data: 04/09/2025 16:24:12-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

---

**Prof.<sup>a</sup> Me. Ana Paula de Moraes - IFMG**

Documento assinado digitalmente  
 **ALBA NELIDA DE MENDONÇA BISPO**  
Data: 03/09/2025 23:10:16-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

---

**Dr.<sup>a</sup> Alba Nélida de Mendonça Bispo - Escola de Ofícios Tradicionais de Mariana**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a toda minha família, pelo apoio em todos os meus sonhos, especialmente aos meus pais e minha irmãzinha, que foram fundamentais na minha permanência em Ouro Preto, e minhas tias Dadá e Didi que sempre me acompanharam em todas as fases da minha vida. Agradeço ao Gustavo pelo incentivo e por estar ao meu lado em todos os momentos.

Agradeço à professora Dra. Larissa Camilo por toda paciência, sabedoria e disponibilidade para compartilhar de forma generosa seu conhecimento. Sua orientação, suporte e dedicação foram essenciais ao longo deste projeto.

Agradeço ao professor Gustavo Dias pela coorientação e por ter me desafiado a ir além do que eu achava ser possível. Foi um projeto desafiador, mas sua visão, sabedoria e conhecimento foram inestimáveis e contribuíram significativamente para o sucesso dessa pesquisa.

Agradeço ao grupo de pesquisa Ative-UFOP pelo suporte e colaboração durante minha atuação no laboratório, em especial aos membros Dr. José Agenor e Me. Matheus Henrique Dellacosta pela ajuda nos ensaios, ao Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMC<sup>2</sup>) pelo acesso aos recursos e equipamentos, e ao professor Dr. Guilherme Jorge Brigolini Silva por disponibilizar toda a infraestrutura necessária.

Agradeço a todos os meus amigos que me apoiaram e apoiam até hoje, aos amigos do IF que tive a oportunidade de conhecer e viver momentos únicos, e aos amigos da FAOP pelo apoio e cafês na padaria. Agradeço em especial aos que me acolheram como família em Ouro Preto: Marina, Claudinha, Paulete e Aishinha.

Agradeço ao Instituto Federal de Minas Gerais, campus Ouro Preto, pelo ensino e conhecimento adquiridos nesses quatro anos de aprendizado, em especial aos professores pelas conversas, conselhos e apoio no decorrer do curso.

Por fim, agradeço a Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) por todo aparato utilizado no decorrer dessa pesquisa, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) por todos os recursos investidos nos laboratórios que atuei. Ressalto a importância da educação brasileira e do papel das agências de fomento em incentivar e ampliar a pesquisa científica e tecnológica em nosso país.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AFQ -	Análise Física e Química
$Al_2O_3$ -	Alumina
$CaCO_3$ -	Cal Aérea
$Ca_6C_6O_{18}$ -	Calcita
$CaCO_3$ -	Carbonato de Cálcio
$CaMg(CO_3)_2$ -	Dolomita
$(Ca,Mg)CO_3$ -	Calcita Magnesiana
$CaO$ -	Cal Cálctica
$CaSO_4$ -	Gipsita
$CO_2$ -	Dióxido de Carbono Atmosférico
$Ca(OH)_2$ -	Cal Aérea Ácido Clorídrico
DRX -	Difração de Raios X
$Fe_{11.4}Ho_{0.36}O_{18}$ -	Hematita
$Fe_2O_3$ -	Óxido de Ferro
FTIR -	Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier
HCl -	Ácido Clorídrico
IBRAM -	Instituto Brasileiro de Museus
ICOMOS -	Conselho Internacional de Monumentos e Sítios ( <i>International Council on Monuments and Sites</i> ).
IPHAN -	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
KBr -	Brometo de Potássio
$K_2O$ -	Óxido de Potássio
MG -	Minas Gerais
$MgO$ -	Óxido de Magnésio
$Mg_{12}Si_{16}O_{48}$ -	Talco
$Mg_{6.55}Fe_{3.46}Al_{5.29}Ti_{1.34}Si_{11.36}K_4O_{48}$ -	Biotita
Mi -	Massa Inicial Seca

Micro-CT -	Microtomografia Computadorizada
MPa –	Mega Pascal
Ms -	Massa Seca
Mss -	Massa Saturada
NBR -	Normas Brasileiras Regulamentadoras
PAF -	Perda ao Fogo
SiO <sub>2</sub> -	Sílica
SPHAN -	Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
TiO <sub>2</sub> -	Óxido de Titânio
TG/DTA -	Análise Termogravimétrica e Termodiferencial
UFOP -	Universidade Federal de Ouro Preto
UNESCO –	Organização Das Nações Unidas Para a Educação, a Ciência e a Cultura
XRF -	Fluorescência de Raio X

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Museu da Inconfidência.....	16
Figura 2 - Representação gráfica dos três pontos de coleta na planta do segundo pavimento da edificação do Museu da Inconfidência.....	33
Figura 3 - Fotos da alvenaria onde foram retiradas as amostras A1 e A3.....	34
Figura 4 - Foto da alvenaria da amostra A2.....	35
Figura 5 - Registros de campo da temperatura ambiente e umidade relativa do ar.....	35
Figura 6 - Remoção da amostra A2 com o auxílio de uma serra copo de 10 mm de diâmetro, acoplada a uma furadeira elétrica.....	36
Figura 7 - Armazenamento das amostras no Dry Box.....	38
Figura 8 – Fluxograma.....	39
Figura 9 - Amostras A1 e A3.....	40
Figura 10 - Fragmentação manual da amostra A1.....	40
Figura 11 - Obtenção da Fração 1 e 2 da amostra A1.....	41
Figura 12 - Acondicionamento das amostras AH-45 $\mu$ m e AH-75 $\mu$ m em embalagens tipo <i>ziplock</i> .....	41
Figura 13 - Equipamento de Micro-CT da BRUKER®, modelo SKYSCAN 1272.....	42
Figura 14 - Amostra A2 e porta amostras do ensaio de Micro-CT.....	43
Figura 15 - Equipamento de XRF, Ray ny EDX-720.....	44
Figura 16 - Amostra AH-75 $\mu$ m no porta amostra de plástico com identificação.....	44
Figura 17 - Forno Mufla, da marca JUNG®.....	45
Figura 18 - Peso da amostra PAF 1 no cadinho.....	46
Figura 19 - Peso da amostra PAF 2 no cadinho.....	46
Figura 20 - Thermo Scientific Nicolet®.....	47
Figura 21 - Homogeneização realizada em almofariz e pistilo de ágata.....	48
Figura 22- Distribuição da amostra na matriz metálica do pastilhador.....	48
Figura 23- Compressão em prensa hidráulica.....	49
Figura 24 - Porta amostras com a pastilha e a pastilha.....	49
Figura 25 - Equipamento Bruker® D2 Phaser - 2ª Geração.....	50
Figura 26 - Distribuição uniforme da amostra AH 45 $\mu$ m no porta amostras.....	51
Figura 27 - Porta amostras com a amostra AH 45 $\mu$ m.....	51
Figura 28 - Representação da estufa da marca LUCADEMA® e da amostra.....	52

Figura 29 - Registro correspondente a massa seca (Ms).....	53
Figura 30 - Registro das amostras imersas na água.....	53
Figura 31 - Registro correspondente a massa saturada (Mss).....	54
Figura 32 - Registro correspondente à massa inicial seca (Mi).....	55
Figura 33 - Béqueres de vidro, amostras sobre os vidros de relógio e ácido clorídrico concentrado (HCl 37%) .....	55
Figura 34 - Registro correspondente às amostras na capela de exaustão.....	56
Figura 35 - Registro correspondente a diluição da solução com água. ....	56
Figura 36 - Registro do funil Büchner acoplado ao sistema de sucção.....	57
Figura 37 - Registro da filtração a vácuo.....	57
Figura 38 - Kitassato contendo sílica azul e camada de algodão.....	58
Figura 39 - Bomba de vácuo da marca Suryha®.....	58
Figura 40 - Estufa de esterilização e secagem, da marca Cienlab®.....	59
Figura 41 - Peso dos agregados em balança analítica de precisão (Mr).....	59
Figura 42 - Peso dos agregados da amostra (correspondente a junção de AFQ 1 e AFQ 3) .....	60
Figura 43 - Peneiras acopladas ao agitador mecânico.....	61
Figura 44 - Colocação da amostra na peneira. ....	61
Figura 45 - Relógios de vidro com as granulometrias encontradas.....	62
Figura 46 - Peso das granulometrias encontradas.....	62
Figura 47 - Peso das granulometrias encontradas.....	62
Figura 48 - Granulometrias encontradas.....	62
Figura 49 - Peso da areia, cal e água.....	63
Figura 50 - Distribuída em frações granulométricas empregadas.....	64
Figura 51 - Preparo da argamassa com misturador mecânico.....	65
Figura 52 - Corpos de prova moldados.....	65
Figura 53 - Acondicionamento em estufa dos corpos de prova.....	66
Figura 54 - Prensa hidráulica da marca Intermetric®.....	67
Figura 55 - Corpos de prova na bandeja e imersos em água.....	68
Figura 56 - Microtomografia computadorizada da Amostra A2.....	69
Figura 57 - Estrutura interna da amostra A2.....	70
Figura 58 - Estrutura interna da amostra A2.....	70
Figura 59 - Espectro de FTIR da amostra.....	74

Figura 60 - Lista de minerais identificados no programa <i>HighScore Plus</i> .....	79
Figura 61 - Gráfico resultado do DRX.....	81
Figura 62 - Identificação dos picos.....	81
Figura 63 - Gráfico percentual passante (%) versus abertura ( $\mu\text{m}$ ).....	85

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Perda ao Fogo.....	46
Tabela 2 – Composição Argamassa XRF.....	71
Tabela 3 - Resultados obtidos para as amostras analisadas: Perda ao fogo.....	73
Tabela 4 – Sintetização da similaridade dos valores das bandas dos autores citados e dos resultados obtidos no espectro da amostra do Museu da Inconfidência.....	77
Tabela 5 - Resultados do XRF e DRX da Argamassa.....	79
Tabela 6 – Resultados do ensaio de absorção de água por imersão.....	82
Tabela 7 – Resultados da Determinação do teor de aglomerante e agregado por ataque ácido (HCl 37%).....	83
Tabela 8 - Maiores percentuais resultantes da análise granulométrica.....	84
Tabela 9 - Resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão.....	86
Tabela 10 – Resultados do ensaio de absorção de água por imersão.....	87

## RESUMO

O patrimônio edificado brasileiro, exemplificado pelo Museu da Inconfidência em Ouro Preto/MG, demanda estudos aprofundados para sua conservação. Este trabalho de conclusão de curso teve como objetivo caracterizar o traço e os materiais constituintes das argamassas aplicadas nas alvenarias internas do Museu da Inconfidência, visando subsidiar futuras ações de conservação e restauração. Para tanto, foram coletadas amostras em pontos estratégicos da edificação, respeitando critérios de intervenção mínima. A identificação dos constituintes (aglomerantes, agregados e adições) foi realizada por meio de diversas técnicas analíticas laboratoriais, incluindo microtomografia computadorizada (Micro-CT), Fluorescência de Raios X (XRF), Difração de Raios X (DRX), Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), perda ao fogo (PAF), absorção de água, teor de aglomerante e agregado, e análise granulométrica. Os resultados obtidos permitiram uma compreensão aprofundada das características físico-químicas das argamassas, revelando a composição predominantemente calcária e a presença de adições tradicionais. A interpretação desses dados, fundamentada na bibliografia técnico-científica e nas normativas da área, possibilitou a avaliação da compatibilidade dos materiais e a identificação de possíveis intervenções posteriores. Este estudo oferece subsídios técnicos cruciais para a formulação de estratégias de restauração que garantam a integridade e a compatibilidade material do patrimônio edificado, contribuindo para a preservação de bens culturais de valor inestimável.

**Palavras-chave:** Argamassas. Casa Câmara e Cadeia. Museu da Inconfidência. Ouro Preto. Patrimônio cultural.

## ABSTRACT

The built heritage of Brazil, exemplified by the Museu da Inconfidência in Ouro Preto/MG, requires in-depth studies for its conservation. This undergraduate thesis aimed to characterize the mix design and constituent materials of the mortars applied to the internal masonry of the Museu da Inconfidência, with the objective of supporting future conservation and restoration actions. For this purpose, samples were collected from strategic points of the building, following minimum intervention criteria. The identification of constituents (binders, aggregates, and additives) was carried out through various laboratory analytical techniques, including micro-computed tomography (Micro-CT), X-ray fluorescence (XRF), X-ray diffraction (XRD), Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), loss on ignition (LOI), water absorption, binder and aggregate content, and granulometric analysis. The results provided a comprehensive understanding of the physico-chemical characteristics of the mortars, revealing a predominantly calcareous composition and the presence of traditional additives. The interpretation of these data, based on scientific literature and technical standards, enabled the assessment of material compatibility and the identification of possible later interventions. This study offers crucial technical support for the development of restoration strategies that ensure the integrity and material compatibility of the built heritage, contributing to the preservation of priceless cultural assets.

**Keywords:** Mortars. City Council and Jail. Inconfidência Museum. Ouro Preto. Cultural heritage.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	13
2 OBJETIVOS .....	15
2.1 Objetivo geral.....	15
2.2 Objetivos específicos.....	15
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
3.1 Contextualização do museu da Inconfidência.....	17
3.2 Histórico de intervenções do museu da Inconfidência .....	19
3.3 Argamassas tradicionais e seus materiais .....	19
3.3.1 <i>Tipos de cal e aglomerantes em argamassas antigas</i> .....	21
3.3.2 <i>Os materiais das argamassas tradicionais da região de Ouro Preto</i> .....	23
3.4 Métodos de caracterização de argamassas tradicionais.....	24
3.4.1 <i>Análise preliminar e macroscópica</i> .....	26
3.4.2 <i>Análises químicas</i> .....	26
3.4.3 <i>Análises físicas</i> .....	30
3.4.4 <i>Limitações analíticas</i> .....	31
4 METODOLOGIA.....	34
4.1 Materiais e métodos.....	34
4.1.1 <i>Levantamento preliminar e inspeção visual nas áreas amostradas</i> .....	34
4.2. Coleta das argamassas .....	37
4.3 Preparo laboratorial das amostras .....	39
4.4 Ensaio analítico aplicados.....	42
4.4.1 <i>Microtomografia computadorizada (Micro-CT)</i> .....	42
4.4.2 <i>Fluorescência de raio X (XRF)</i> .....	43
4.4.3 <i>Perda ao fogo (PAF)</i> .....	45
4.4.4 <i>Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)</i> .....	47
4.4.5 <i>Difração de raios X (DRX)</i> .....	50
4.4.6 <i>Absorção de água por imersão</i> .....	52
4.4.7 <i>Teor de aglomerante e agregado</i> .....	54
4.4.8 <i>Análise granulométrica</i> .....	60
4.4.9 <i>Produção e ensaio dos corpos de prova</i> .....	63
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	69
5.1 Micro-CT.....	69
5.2 XRF .....	71
5.3 Perda ao fogo.....	72
5.4 FTIR.....	73
5.5 DRX .....	78
5.6 Absorção de água por imersão .....	81
5.7 Teor aglomerante e agregado .....	82
5.8 Análise granulométrica .....	83
5.9 Ensaio com corpos de prova.....	86
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	88
REFERÊNCIAS .....	92
APÊNDICE .....	99
ANEXO.....	103

## 1 INTRODUÇÃO

O Museu da Inconfidência, situado no centro histórico de Ouro Preto no estado de Minas Gerais, constitui uma das principais referências do patrimônio edificado brasileiro. Tombado pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) e reconhecido como Patrimônio Mundial pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), o edifício, construído entre os séculos XVIII e XIX, conserva elementos construtivos que remetem às práticas e aos saberes técnicos tradicionais. Entre tais elementos, destacam-se as argamassas de revestimento das alvenarias internas, cuja composição e técnicas de aplicação representam importante fonte de informação sobre os modos construtivos do período.

A compreensão dos materiais que compõem essas argamassas é fundamental para a formulação de estratégias de conservação baseadas nos princípios da compatibilidade, da reversibilidade e da intervenção mínima, conforme recomendações por documentos internacionais e normas técnicas nacionais (BRANDI, 2004; CARTA DE VENEZA, 1964; ICOMOS, 1964; NBR 13281:2005; NBR 13279:2005). Autores como Kanan (2008); Moropoulou et al. (2000); Velosa (2006), alertam que o uso inadequado de argamassas modernas, especialmente as cimentícias, em substituição às formulações tradicionais à base de cal, tem resultados em patologias como fissuras, destacamentos e processos de degradação físico-química dos substratos, comprometendo a integridade e a autenticidade material das edificações de importância cultural.

Diante da lacuna de estudos específicos sobre o traço e os materiais constituintes das argamassas utilizadas nas alvenarias internas do Museu da Inconfidência, esta pesquisa propõe a seguinte questão: quais são os componentes que integram as argamassas de revestimento do interior do edifício, e de que modo sua identificação pode orientar intervenções de conservação e restauro compatíveis com o bem cultural?

As hipóteses centrais da pesquisa são: (a) as argamassas apresentam composição predominantemente calcária; (b) há presença de adições tradicionais como pó de pedra e barro; (c) parte das amostras evidencia intervenções posteriores com emprego de cimento.

A pesquisa foi realizada a partir do plano de trabalho da Conservadora-restauradora Larissa Silva em cooperação técnica com o Museu da Inconfidência e colaboração do Laboratório de Materiais da Construção Civil da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), sob orientação técnica do engenheiro Gustavo Dias Ramos, responsável pelo suporte nas análises laboratoriais.

A metodologia contempla levantamento histórico-documental, inspeção visual, amostragem, preparo laboratorial e aplicação das técnicas físico-químicas, conforme modelos consolidados na literatura.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Caracterizar o traço e os materiais constituintes das argamassas aplicadas nas alvenarias internas do Museu da Inconfidência, com vistas a subsidiar tecnicamente futuras ações de conservação e restauração.

### **2.2 Objetivos específicos**

- a) Realizar a coleta de amostras de argamassas em pontos estratégicos da edificação, respeitando critérios de intervenção mínima;
- b) Descrever procedimentos e explicitar se usa técnicas não intrusivas;
- c) Identificar os constituintes (aglomerantes, agregados e adições) por meio de técnicas analíticas laboratoriais como microtomografia computadorizada (micro-CT), Fluorescência de Raios X (XRF), Difração de Raios X (DRX), e Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), perda ao fogo (PAF), absorção de água, teor de aglomerante e agregado e análise granulométrica;
- d) Interpretar os resultados com base na bibliografia técnico-científica e nas normativas da área.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A compreensão dos materiais constituintes das argamassas tradicionais é etapa essencial para qualquer proposta de intervenção em edificações patrimoniais. No caso do Museu da Inconfidência (FIGURA 1), tal entendimento é crucial para garantir a compatibilidade e a durabilidade dos materiais utilizados em restaurações.

Figura 1 - Museu da Inconfidência.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

A presente revisão bibliográfica aborda os conceitos fundamentais de argamassas tradicionais, com ênfase nos aglomerantes tradicionais e métodos de caracterização físico-química e mineralógica, embasando-se em estudos técnicos e científicos de referência. Além disso, esta seção contempla a contextualização histórica do edifício do Museu da Inconfidência, patrimônio de relevância internacional, incluindo o levantamento das principais intervenções a que foi submetido ao longo do tempo. Essa abordagem permite compreender os materiais utilizados e fornecer subsídio crítico para a definição de diretrizes metodológicas, com compatibilidade de materiais nas futuras ações de conservação e restauro.

### 3.1 Contextualização do museu da Inconfidência

A antiga Casa da Câmara e Cadeia de Vila Rica, atual Museu da Inconfidência, está localizado na Praça Tiradentes, 139 - Centro Histórico, Ouro Preto - MG, teve sua construção iniciada em 1785, em um momento de afirmação do poder régio no interior da colônia, em resposta ao crescimento econômico e aos riscos de insubordinação nas capitâncias mineradoras (MARTINS, 2016). Segundo Mattos (1976, p. 74), “a obra sofreu longas paralisações por falta de recursos e disputas políticas locais”, sendo concluída apenas nas primeiras décadas do século XIX. A edificação foi concebida para exercer simultaneamente funções legislativas, judiciais e prisionais, conforme o modelo institucional luso-brasileiro da época. Como explica Santiago (2007, p. 154), “as casas de câmara e cadeia configuram-se como o símbolo máximo da presença da Coroa portuguesa nas vilas coloniais. Constituídas como edifício-sede das funções legislativas, judiciárias e repressivas, materializam a tríade do poder local controlado pelo poder central.” Ainda segundo a autora, “a construção era realizada com mão de obra cativa, especialmente pedreiros, carpinteiros e ajudantes negros, vinculados à Câmara ou cedidos por particulares” (SANTIAGO, 2007, p. 160), evidenciando a dependência estrutural do sistema escravocrata nas obras públicas coloniais. Sua localização estratégica, no ponto mais alto da atual Praça Tiradentes, não era casual. Meneses (2001, p. 45) observa que “a implantação da edificação no topo da praça visava reforçar visual e simbolicamente a autoridade da Coroa sobre a cidade”.

Segundo Brusadin (2014), às transformações pelas quais passou o edifício que tornou-se sede do Museu da Inconfidência publicadas em um escrito do Cônego Raimundo Trindade foram divididas em quatro fases: Na 1º. fase: “Câmara de Cadeia”, o edifício era câmara e cadeia de Ouro Preto, simultaneamente. Na 2º. fase: Cadeia, ocorreu com a retirada da Câmara em 1863, o espaço transformou-se somente em cadeia até o ano de 1907, sendo reconhecida pelo temor que impunha aos prisioneiros. Na 3ª. Fase: “Penitenciária”, que ocorreu em 1908, a velha cadeia tornou-se Penitenciária do Estado, abrigando até 200 reclusos até 1937. Finalmente, na 4ª. Fase: Museu da Inconfidência”, que ocorreu em 1938, no mesmo ano em que a cidade de Ouro Preto é tombada pelo IPHAN como patrimônio nacional. No entanto, a entrega do prédio e o início das obras de restauro e adaptação, que foram realizadas pelo Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (SPHAN), ocorreram somente em 1940 (BRUSADIN, 2014).

Com a transferência da capital de Minas Gerais para Belo Horizonte, em 1897, Ouro Preto foi gradualmente destituída de suas funções político-administrativas centrais, o que

provocou o esvaziamento de muitos edifícios públicos, que perderam sua função original. Neste contexto, após a transferência do edifício da Penitenciária para a cidade Ribeirão das Neves, na região metropolitana de Belo Horizonte, com o objetivo de instalar o Museu da Inconfidência, que já havia sido oficializado anteriormente, pelo Decreto-Lei no. 144 de 2 de dezembro de 1938 (BRUSADIN, 2014).

Sob a liderança de Rodrigo Melo Franco de Andrade e no âmbito da política de patrimonialização do Estado Novo, iniciou-se o processo de musealização (BRUSADIN, 2014, p. 101). Segundo Andrade (1952), o objetivo era transformar o antigo edifício colonial em um espaço simbólico dedicado à memória da Inconfidência Mineira, alinhado ao projeto de construção da identidade nacional promovido por Getúlio Vargas. Entretanto, segundo Chagas (2017), a instalação do Museu no antigo edifício só ocorreu no dia 11 de agosto de 1944, data que era comemorado o bicentenário de nascimento do poeta e inconfidente Tomás Antônio Gonzaga, na Antiga Casa de Câmara e Cadeia de Vila Rica. Neste contexto, é importante enfatizar que no final do Governo Vargas, a política ditatorial do Estado Novo já apresentava sinais de enfraquecimento, tanto é que uma nova Constituição Federal é promulgada após a morte de dele. Getúlio Vargas morre em agosto de 1945 e em setembro de 1946 é promulgada uma nova Constituição Federal. Essa Carta Magna de 1946 é considerada a mais democrática da história do Brasil até aquele momento, pois restaurou o princípio federativo/republicano e fortaleceu o Congresso Nacional que havia sido fechado por Vargas durante o Estado Novo (1937-1945).

Rodrigo Melo Franco de Andrade (1952), então diretor do SPHAN, descreve a criação do museu como parte de um projeto simbólico de exaltação dos ideais republicanos e da figura dos inconfidentes mineiros. Na ocasião da cerimônia de inauguração do Museu, Andrade (1944, p. 165) enfatizou ainda, que para o Governo Federal, o sentido da relevante finalidade cultural desta instituição pública, “era de prestar uma homenagem de reconhecimento e veneração a um dos mais significativos protagonistas da Inconfidência Mineira”.

O projeto museográfico buscou reconfigurar os espaços da antiga cadeia e da câmara como lugar de culto cívico à pátria e aos heróis da Inconfidência. De acordo com o Instituto Brasileiro de Museus (IBRAM, 2016, p. 1), “o museu abriga acervo documental, artístico e funerário relacionado à Inconfidência Mineira, incluindo o Panteão dos Inconfidentes, onde repousam os restos mortais de alguns Inconfidentes”. A musealização do edifício consolidou sua centralidade simbólica na paisagem urbana de Ouro Preto, associando a arquitetura do poder colonial ao culto da memória republicana.

### **3.2 Histórico de intervenções do museu da Inconfidência**

Existem poucos registros na literatura quanto às intervenções que ocorreram no Museu da Inconfidência após sua criação, quando a antiga Casa de Câmara e Cadeia teve seu uso alterado para museu, em 1944. Neste sentido, destaca-se apenas a grande reforma e restauração que teve seu início em 2003, sendo finalizada três anos mais tarde, em 2006 (PINHEIRO; SILVA, 2014).

O edifício foi totalmente renovado e devolvido ao público, podendo-se ressaltar as mudanças realizadas em sua estrutura como pintura, revisão do telhado, construção de mobiliário para exposição, confecção de vitrines, reforma dos três prédios e projeto de iluminação com fibra ótica, entre outros serviços (IPHAN, 2006). Foi criado um circuito expositivo abordando a Inconfidência Mineira, no qual as peças passaram a ser expostas em 17 salas em dois andares e separadas por assunto, com o intuito de permitir ao visitante uma melhor compreensão sobre fatos históricos, conforme determinação do decreto de sua criação (PINHEIRO; SILVA, 2014, p. 1104).

A intervenção para a reformulação arquitetônica e museológica, teve como responsável o arquiteto francês Pierre Catel, que procurou valorizar tanto sua arquitetura quanto seu acervo, que possibilitou a exposição de peças guardadas na reserva técnica. O novo projeto museográfico, além de revitalizar e reformar o edifício, passou a contemplar a formação da cidade de Ouro Preto. Foram criados espaços expositivos com recortes temáticos, como a Sala da Mineração, da Arte e Igreja e das Irmandades Religiosas. Um grande destaque foi dado ao mobiliário do museu em um grande salão, que foi considerado um dos melhores conjuntos de peças do período colonial, pelo arquiteto Lucio Costa (1902-1998) (ITAUCULTURAL, 2025).

### **3.3 Argamassas tradicionais e seus materiais**

Nas edificações que compõem o patrimônio cultural, as argamassas vão muito além de sua função construtiva. Elas compõem o tecido histórico do bem, revelam práticas artesanais, saberes construtivos transmitidos por gerações e adaptados aos recursos locais.

As argamassas tradicionais são compostas, em sua base, por dois elementos principais: o aglomerante, que promove a coesão e endurecimento, e o agregado, responsável por conferir volume, textura e resistência (VEIGA et al., 2012). Além desses, aditivos orgânicos naturais — como mucilagens vegetais, óleos, fibras e até clara de ovo — eram frequentemente

utilizados para melhorar propriedades como a plasticidade, a permeabilidade e o controle de fissuras por retração (KANAN, 2008, p. 16; VEIGA et al., 2012).

Além disso, entre os aglomerantes, destaca-se a cal aérea, amplamente utilizada nas civilizações antigas e nos sistemas construtivos tradicionais ibero-americanos. Sua escolha deve-se não apenas à disponibilidade e ao preparo acessível, mas principalmente à sua compatibilidade físico-química com suportes porosos, como a alvenaria de pedra, adobe ou tijolo maciço (VEIGA, 2012). Como reforça Kanan (2008, p. 11), a cal foi “um dos materiais mais importantes na construção e preservação das alvenarias tradicionais ao longo de centenas de anos”.

No Brasil, a produção de cal aérea teve forte presença, especialmente nas regiões costeiras, com o uso de conchas marinhas calcinadas em fornos artesanais — as chamadas caieiras. Esse processo, descrito por Kanan (2008, p. 15), foi o principal método de obtenção do aglomerante durante o período colonial. As argamassas resultantes eram amplamente empregadas em assentamentos, rebocos e estuques decorativos.

A reação de carbonatação é o mecanismo pelo qual a cal aérea endurece, absorvendo o dióxido de carbono do ar ao longo do tempo. Essa pega lenta contribui para maior trabalhabilidade, permitindo ajustes durante a aplicação e melhorando a aderência aos substratos antigos (KANAN, 2008, p. 23). Segundo Veiga et al. (2018), essa característica torna a cal aérea especialmente indicada para obras de conservação, por permitir trocas higroscópicas e evitar tensões internas indesejadas.

Além disso, a cal promove flexibilidade frente a pequenos movimentos estruturais, baixa rigidez e elevada permeabilidade ao vapor d'água. Como ressalta Veiga (2012), essas propriedades reduzem o risco de fissuras, destacamentos e retenção de umidade — fatores que são frequentemente agravados pela aplicação de argamassas modernas à base de cimento Portland, incompatíveis com os sistemas históricos.

Do ponto de vista funcional, segundo Kanan (2008), Veiga (2012) e as argamassas tradicionais podem ser classificadas em três grupos principais:

1. Argamassas de assentamento, utilizadas na união das alvenarias;
2. Argamassas de revestimento, aplicadas sobre superfícies com função de proteção, regulação higrotérmica e acabamento estético;
3. Argamassas de juntas ou rejuntas, destinadas ao preenchimento entre blocos pétreos ou cerâmicos.

Os agregados minerais, por sua vez, variavam de acordo com o contexto geológico e cultural de cada região. Podem ter sido utilizadas areias de rio, jazidas locais, fragmentos

cerâmicos ou até mesmo pó de mármore, conferindo variações nas cores, texturas e porosidades das argamassas (KANAN, 2008). Kanan (2008, p. 16) destaca que “a granulometria e a natureza do agregado influem diretamente na aparência, resistência e durabilidade da argamassa”, sendo essencial a seleção criteriosa desses componentes em projetos de reconstituição.

A engenhosidade dos antigos construtores também se manifestava na incorporação de aditivos orgânicos, como clara de ovo, sebo, sangue, fibras vegetais ou extratos naturais, cujas funções incluíam a melhoria da coesão, da plasticidade e da permeabilidade. Esses ingredientes, descritos por Veiga et al. (2012), contribuíram significativamente para o desempenho funcional da argamassa, além de refletirem um profundo conhecimento empírico sobre materiais e clima.

Neste contexto, as argamassas tradicionais devem ser compreendidas como elementos ativos dos sistemas construtivos tradicionais, resultantes de um saber técnico acumulado, adaptado e transmitido ao longo de gerações. Mais do que simples materiais de preenchimento, constituem componentes essenciais à proteção, desempenho e identidade das edificações, como destaca Kanan (2008, p. 18), ao afirmar que “as argamassas antigas devem ser vistas como elementos vivos da construção”. Sua caracterização, portanto, ultrapassa a reprodução técnica, exigindo o entendimento das dimensões simbólicas, estéticas e patrimoniais que asseguram a autenticidade e a longevidade dos bens culturais.

### ***3.3.1 Tipos de cal e aglomerantes em argamassas antigas***

A seleção do aglomerante nas argamassas tradicionais reflete a adaptação a fatores como disponibilidade local de matérias-primas, clima, função do revestimento e tradição técnica vigente em cada período. Dentre os ligantes minerais empregados ao longo da história construtiva, a cal ocupa posição central, sendo amplamente documentada em estudos sobre arquitetura vernacular e patrimonial (VEIGA, 2012; VEIGA et al., 2018; VENTOLÀ et al., 2011).

A cal aérea (ou cal não hidráulica), obtida pela calcinação de calcários com alto teor de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), é o tipo predominante nas argamassas tradicionais. Seu processo de endurecimento ocorre por carbonatação, ou seja, pela reação com o dióxido de carbono atmosférico ( $\text{CO}_2$ ), o que resulta em propriedades como alta plasticidade, permeabilidade ao vapor d'água e baixa rigidez mecânica (VEIGA et al., 2018). Essas características conferem à cal aérea uma elevada compatibilidade físico-química e estética com os substratos porosos das edificações históricas (KANAN, 2008, p. 23; VEIGA et al., 2018).

Devido à sua trabalhabilidade e estabilidade dimensional, a cal aérea foi amplamente utilizada em argamassas de revestimento interno, estuques decorativos e pinturas a cal. Sua baixa resistência mecânica é compensada pela capacidade de regular a umidade e acompanhar pequenas deformações dos suportes, contribuindo para a longevidade dos sistemas construtivos tradicionais (MOROPOULOU et al., 2000).

Em contextos em que era necessária maior resistência inicial, como áreas úmidas, fundações ou paramentos externos, utilizava-se a cal hidráulica, natural ou formulada. A cal é obtida a partir da calcinação de calcários com impurezas como sílica ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e ferro, gerando compostos que reagem com a água (hidratação) e conferem propriedades hidráulicas à argamassa (VEIGA, 2012; VELOSA, 2006). O uso de cal hidráulica proporciona endurecimento mesmo em ambientes saturados, sem perda de aderência ou estabilidade volumétrica.

Paralelamente, muitas argamassas tradicionais incorporavam adições pozolânicas, como fragmentos cerâmicos moídos (telhas, tijolos), cinzas vegetais ou areia vulcânica, que reagem com a cal aérea e induzem comportamento hidráulico secundário. Essa prática era frequente em regiões tropicais ou expostas à elevada umidade, garantindo maior durabilidade sem comprometer a permeabilidade (OLIVEIRA; PASSUELLO, 2020; VEIGA et al., 2018).

A correta identificação do tipo de cal é etapa fundamental nos processos de diagnóstico e reconstituição, pois define a compatibilidade entre o novo material e os elementos históricos adjacentes. A Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 13207:2017 estabelece que argamassas aplicadas em revestimentos devem respeitar as características do substrato quanto à porosidade, aderência e módulo de elasticidade, sob pena de comprometer a integridade do sistema construtivo.

Nesse contexto, é importante alertar que a substituição indevida da cal por cimento Portland — prática ainda recorrente em intervenções — resulta frequentemente em incompatibilidades físico-químicas. O cimento apresenta baixa porosidade e elevado módulo de elasticidade, características que dificultam a difusão de vapor d'água e favorecem o surgimento de tensões internas, fissuras e destacamentos (KANAN, 2008, p. 25; VEIGA, 2012).

Por fim, a escolha do aglomerante em ações de conservação deve ser norteada pelos princípios da compatibilidade, reversibilidade e mínima intervenção, conforme estabelecido na Carta de Veneza (1964, art. 9 e 10). Assim, a reconstituição das argamassas não é uma simples replicação técnica, mas uma decisão metodológica que envolve o reconhecimento da identidade construtiva do bem patrimonial, sua memória material e sua resiliência funcional. É importante

ênfatizar, que os estudos sobre traços de argamassa e testes são fundamentais antes da intervenção no bem.

### ***3.3.2 Os materiais das argamassas tradicionais da região de Ouro Preto***

Partindo do período da Capitania de Minas, entre o início do século XVIII e o XIX, quando foram edificados os principais elementos do patrimônio cultural da região, observa-se que mestres construtores, pedreiros, arquitetos e artesãos “se valeram de diversos materiais localizados muito proximamente dos locais de construção” (COSTA, 2009, p.97 apud COSTA, 2021). Essa escolha esteve diretamente associada aos altos custos e às dificuldades no transporte dos materiais, o que reforçou a utilização de recursos naturais disponíveis nas serras e vales da região.

Em Ouro Preto e Mariana concentram-se grandes volumes de edificações coloniais mineiras. Nesse contexto, “a abertura de pedreiras deve ter ocorrido somente por volta de 1735, certamente em decorrência da construção do Palácio dos Governadores” (COSTA, 2021, p. 245). A partir desse marco, o uso do quartzito proveniente da Serra do Itacolomi tornou-se recorrente em construções administrativas, religiosas e privadas. Além dele, registros apontam também para a utilização de rochas verdes de diferentes composições, bem como da pedrasabão, esta última aplicada especialmente em elementos ornamentais, e em menor escala, de calcários locais.

Nesta direção, Leite e Fujaco (2013) ênfatizaram que as rochas e minerais como o ouro e, hoje, especialmente o ferro, sempre estiveram ligados à história de Ouro Preto/MG. Já, o quartzito, conhecido nesta região como Pedra Ouro Preto, embora nunca tenha sido grande fonte de riqueza local, desde a fundação do Arraial de Padre Faria, sempre esteve presente na vida da cidade, cuja produção irregular estava voltada para atender as demandas do mercado interno, aplicado especialmente em construções de muros, passeios, meios-fios, bases de casas, pisos, dentre outros.

Lima et al. (2007) elucidaram que devido ao modo bastante rudimentar da lavra e de suas condições precárias, com baixo emprego de técnicas racionais e modernas, aliado ao fato de que apenas uma pequena parte dos corpos quartzíticos ser utilizável para a confecção de placas para pisos e revestimentos, resulta em uma grande quantidade de resíduos, que são deixados nas encostas dos morros.

Apesar da ocorrência de material calcário nos arredores de Ouro Preto, Mariana, Catas Altas, Cachoeira do Campo e Caraça, segundo Rolff (1950, p.5 apud COSTA, 2021), era

pouco usado devido “à má qualidade desses materiais, quer por sua composição, quer por quase sempre apresentarem-se muito fraturados, o que diante da ausência de técnicas adequadas para a sua extração, significava sempre um grau muito baixo de aproveitamento para essas rochas.”

Segundo Costa (2021), em áreas específicas, como Cumbi e Cachoeira do Campo, encontram-se calcários dolomíticos. Do ponto de vista químico, o calcário comum é formado predominantemente por carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), e, o calcário dolomítico contém, além da calcita, proporções significativas de dolomita [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ]. Essa diferença mineralógica influencia diretamente o processo de calcinação e a qualidade da cal resultante. A calcinação de calcários puros fornece a cal cálcica ( $\text{CaO}$ ), mais reativa e de pega rápida, a presença de magnésio no calcário dolomítico gera a cal magnésiana ou dolomítica, de hidratação mais lenta e comportamento diferenciado em termos de durabilidade e resistência mecânica. Estes “acessoriamente, podem conter quartzo, argilominerais, óxidos e hidróxidos de ferro”. Os elementos citados refletem a inserção de Ouro Preto no Quadrilátero Ferrífero, e essa condição geológica confere ao material não apenas impurezas características, mas também tonalidades variadas que influenciam as propriedades da cal obtida.

No entanto, se pouco valor tiveram como elementos estruturais ou decorativos, os calcários assumiram papel fundamental para a produção da cal utilizada nas argamassas. “Nesta região central de Minas, grande parte do material utilizado para a produção da cal era proveniente de jazidas de calcário no entorno de Vila Rica, incluindo as do Arraial de Antônio Pereira, que também produzia uma cal escura, chamada cal preta” (LOPES, 1955, p. 24 apud COSTA, 2021, p. 250). Essa cal, obtida em fornos rústicos e de baixo rendimento, foi o aglomerante predominante das argamassas coloniais mineiras, empregadas tanto no assentamento das alvenarias quanto nos revestimentos de proteção das fachadas.

### **3.4 Métodos de caracterização de argamassas tradicionais**

A caracterização de argamassas é de fundamental importância para ajudar na escolha de materiais compatíveis ou que podem ser utilizados como substitutos, por possuírem as mesmas características. São mistura de agregados e aglutinantes, que ao longo do tempo sofrem transformações e, que precisam ser estudadas, a fim de compreender como ocorrem as deformações estruturais de uma edificação (SILVA; RIBEIRO, 2019).

Ao longo do tempo, as argamassas antigas passam por uma série de transformações como a evolução nos processos de cristalização, deterioração e recristalização, o que torna seu processo de caracterização bastante complexo, devido às alterações, desgastes e deterioração

dos seus componentes, que dificultam a determinação precisa até mesmo dos aglomerantes utilizados (OLIVEIRA; PASSUELLO, 2020).

Diante deste contexto, sua caracterização destaca-se como uma etapa essencial para intervenções de conservação e restauração, que exigem abordagens interdisciplinares articulando métodos físico-químicos, mineralógicos, petrográficos e tecnológicos (SILVA; RIBEIRO, 2019). Como adverte Kanan (2008, p. 37), “as intervenções de conservação e restauração das alvenarias históricas requerem o entendimento dos materiais que sobreviveram e dos que vão ser utilizados nas obras de reconstituição, que devem ser compatíveis”.

Além da composição química das argamassas, segundo Veiga et al. (2018), a compatibilidade depende ainda do conhecimento do comportamento físico-químico da argamassa em serviço, de sua interação com os materiais adjacentes, da capacidade de troca higroscópica e da resposta às variações térmicas e mecânicas ao longo do tempo. Por isso, a caracterização deve abranger também o desempenho funcional da argamassa no contexto construtivo ao qual pertence, superando a simples identificação de seus constituintes.

As técnicas de caracterização química, mineralógica e microestrutural da composição das argamassas podem ser realizadas por meio de diversos ensaios, que se diferenciam conforme o grau de sua complexidade, possibilitando o conhecimento de informações relevantes como:

“[...] a relação agregado e aglomerante; materiais constituintes; tipo e forma dos grãos do agregado; existência ou não de fibras, tipo de fibras, animais, vegetais ou humanas; quantidade de vazios e camadas utilizadas no revestimento e, até; aproximação da época da construção” (OLIVEIRA; PASSUELLO, 2020, p. 4).

Tais informações, conforme Oliveira e Passuello (2020) permitem que a escolha de uma nova argamassa de reparo compatível com a pré-existente e com o seu substrato. Nesta direção, Veiga (2012) elucida que, é imprescindível interpretar os resultados laboratoriais à luz dos sistemas construtivos tradicionais, da variabilidade das matérias-primas e das técnicas de aplicação utilizadas historicamente. Essa abordagem integrada permite compreender as argamassas como elementos ativos de equilíbrio físico, térmico e estético nas alvenarias, além de portadores de significado patrimonial.

Para orientar essa leitura técnica, propõe-se um conjunto de ensaios sistemáticos que buscam identificar os principais constituintes — aglomerantes, agregados e aditivos — bem como caracterizar sua morfologia, distribuição granulométrica, estrutura mineralógica, composição elementar e comportamento higroscópico. Esses métodos devem ser escolhidos

com base no estado de conservação das amostras, na representatividade do material e nos limites éticos da intervenção.

Conforme sistematizado por Kanan (2008) e adotado por Veiga (2012) e Oliveira e Passuello (2020), os métodos de caracterização podem ser organizados em análise preliminar e macroscópica, análises químicas e análises físicas.

### ***3.4.1 Análise preliminar e macroscópica***

Segundo Teles (2010) análise macroscópica da argamassa é a etapa inicial, realizada *in loco*, por meio de inspeção visual direta da argamassa, cujo objetivo é levantar hipóteses preliminares sobre a composição, técnica de aplicação e patologias visíveis, subsidiando a definição dos métodos laboratoriais posteriores.

De acordo com Oliveira e Passuello (2020), os aspectos observados são:

- a) Textura e cor da argamassa;
- b) Granulometria aparente e tipo de agregado;
- c) Inclusões (fragmentos cerâmicos, fibras, conchas etc.);
- d) Presença de fissuras, destacamentos ou eflorescências;
- e) Estratigrafia e contexto construtivo.

Veiga (2012) ressaltou, que a realização desta análise permite uma leitura tipológica da argamassa em associação com os elementos construtivos do edifício, devendo ser documentada por registro fotográfico, fichas técnicas e mapeamento dos pontos de coleta. Kanan (2008, p. 19) complementa: “A análise macroscópica permite uma primeira avaliação do tipo de argamassa, suas irregularidades e inclusões.”

### ***3.4.2. Análises químicas***

As análises químicas aplicadas à caracterização de argamassas tradicionais têm como objetivo principal a identificação elementar dos constituintes inorgânicos, sobretudo da matriz aglomerante. Esses ensaios permitem detectar a presença e a concentração de óxidos metálicos, carbonatos e eventuais adições minerais, fornecendo subsídios técnicos para inferir o tipo de aglomerante empregado, além de indicar traços de alterações tecnológicas intencionais ou contaminações naturais.

Segundo Kanan (2008, p. 21), “A análise química revela a natureza da cal, o teor de impurezas e a presença de adições hidráulicas ou pozolânicas.” Entre os ensaios mais utilizados na análise química de argamassas destacam-se:

#### **a) Fluorescência de Raios X (XRF)**

Um dos métodos mais importantes para análise química da composição (elementos principais) de uma amostra de argamassa é a Fluorescência de Raios X (XRF), uma técnica analítica baseada na medição da emissão de radiação de raios X "secundária" (ou fluorescente) característica de uma amostra excitada por irradiação de raios X de cada elemento, as quais são detectadas e medidas. A velocidade das medições de XRF as tornam amplamente utilizadas em pesquisas de argamassas tradicionais e de restauração (MISIEWICZ et al., 2025). O objetivo é definir as quantidades de componentes químicos (óxidos) maiores e menores por meio de um espectrômetro de raio-X em condições instrumentais estabelecidas (LEZZERINI et al., 2018).

Essa técnica Fluorescência de Raios X (XRF) é especialmente eficaz para argamassas tradicionais por permitir a leitura dos elementos principais da matriz inorgânica, como cálcio, silício, alumínio e ferro. Apresenta boa sensibilidade para elementos majoritários e traços, com preparação mínima da amostra, que é analisada de forma eficaz, sem contaminar ou descaracterizá-la (NASCIMENTO-DIAS et al., 2017). Referência técnica: VEIGA (2012); VEIGA et al. (2018).

#### **b) Perda ao Fogo (PAF)**

A Perda ao Fogo (PAF) é uma técnica gravimétrica aplicada na caracterização de argamassas antigas para estimar indiretamente o teor de aglomerantes carbonáticos presentes, como a cal aérea ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). O método consiste no aquecimento controlado da amostra pulverizada a altas temperaturas (geralmente entre 950 °C e 1000 °C), promovendo a decomposição térmica dos carbonatos em óxidos (CaO, MgO) com liberação de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e conseqüente redução de massa (GOMES, 2000; VELOSA, 2006).

Essa variação de massa é expressa em percentual e correlacionada à quantidade de materiais voláteis presentes, especialmente carbonatos, além de água de hidratação de argilas e matéria orgânica eventualmente incorporada na argamassa (KANAN, 2008). Valores elevados de PAF indicam geralmente um conteúdo significativo de cal aérea, enquanto teores mais baixos podem refletir presença majoritária de agregados silicosos, pozolanas reativas ou argilas

estabilizadas. O ensaio é particularmente útil para distinguir entre traços de argamassas com diferentes proporções de aglomerante e agregado, fornecendo subsídios para a reconstituição do traço original (MAGALHÃES, 2018; ADRIANO, 2014).

### **c) Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)**

A Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) é uma técnica voltada para identificação de ligações químicas e grupos funcionais em materiais inorgânicos e orgânicos, permitindo a caracterização de compostos como carbonatos, silicatos, sulfatos, argilas e materiais orgânicos residuais em argamassas (MAGALHÃES, 2018; VELOSA, 2006).

A radiação infravermelha incidente promove à vibração de ligações químicas específicas das moléculas constituintes, gerando um espectro com bandas de absorção características (ADRIANO, 2014; KANAN, 2008). Sua sensibilidade a ligantes parcialmente carbonatados ou mal cristalizados complementa os resultados obtidos por DRX e análise termogravimétrica e termodiferencial (TG/DTA), contribuindo para o diagnóstico mais preciso da natureza dos aglomerantes e adições (GOMES, 2000; OLIVEIRA; PASSUELLO, 2020).

No contexto da conservação, o FTIR permite deduções relevantes sobre o grau de carbonatação das argamassas, o tipo de cal utilizada e possíveis interações entre os constituintes. Segundo Velosa (2006, p. 148), “a FTIR permite identificar a presença de carbonatos, hidróxidos, silicatos e compostos orgânicos, sendo especialmente útil na diferenciação entre cal aérea e cal hidráulica”. Essa técnica é um recurso valioso para a reconstituição de traços compatíveis e formulação de argamassas de restauro com base em composições originais.

Para análise dos resultados foram utilizados diversos artigos dos autores Al Sekhaneh et al. (2020); Bosch-Reig et al. (2017); Gardolinski et al. (2005); Hajjia et. al (2017); Król et al. (2017); Le Guillou et al. (2015); Leopoldino et al. (2020); Matei et al. (2020); Melele et al. (2019); Rodriguez-Blanco et al. (2011); Sedita et al. (2020); Shahravan et al. (2012); Tironi et al. (2012); Yu et al. (1999); e Yunsheng et al. (2010), que abordam o uso do FTIR na identificação de grupos funcionais, servindo de base comparativa para interpretação dos espectros obtidos.

#### **d) Difração de Raios X (DRX)**

A Difração de Raios X (DRX) é um dos métodos mais comumente usados para analisar a composição mineralógica. Ela se baseia na análise de como a radiação de raios X é difratada pelos átomos dentro de uma amostra. Os difratogramas obtidos permitem a determinação da composição mineral da amostra analisada, possibilitando a identificação precisa das fases cristalinas (MISIEWICZ et al., 2025), presentes na amostra, gerando padrões de difração característicos que possibilitam o reconhecimento dos minerais presentes, como calcita, quartzo, feldspatos, argilas, dolomita, portlandita e outras (CALLISTER, 2006; SILVA et al., 2005).

É especialmente relevante para distinguir entre diferentes tipos de aglomerantes, como cal aérea (carbonatada), cal hidráulica (com silicatos ou aluminatos) e aditivos pozolânicos, por meio da análise das assinaturas difratométricas específicas desses compostos (ADRIANO, 2014; GOMES, 2000).

Segundo Kanan (2008, p. 34): “A DRX fornece informações essenciais sobre os compostos cristalinos presentes, sendo indispensável para a distinção entre cal aérea, cal hidráulica e adições pozolânicas.”

Complementarmente, Moropoulou et al. (2000) destacam a aplicabilidade da DRX para detectar alterações mineralógicas resultantes de processos de degradação, como reações sulfáticas, cristalização de sais ou transformações térmicas.

#### **e) Teor de aglomerante e agregado**

Segundo os estudos de Damas et al. (2018), Kanan (2008) e Motta (2004), utiliza-se a combinação do tratamento térmico com dissolução em ácido clorídrico, para a realização do ensaio do teor de aglomerante. Os ensaios consistem basicamente em um ataque ácido nas amostras e as dividem em duas partes, uma solúvel, que contém o aglomerante, e outra insolúvel onde se encontram os agregados (FALCÃO, 2010; MAGALHÃES, 2018; MOTTA, 2004). O objetivo é alcançar as proporções mais próximas da fração inerte e da fração ligante, ou seja, uma ideia do traço da argamassa (NASCIMENTO et al., 2021).

Existem duas maneiras diferentes de realizar o ensaio de teor de aglomerante, que de acordo com Kanan (2008), são uma técnica mais simplificada e outra mais completa. A primeira envolve simplesmente a dissolução de uma amostra de argamassa previamente desagregada em uma quantidade de ácido clorídrico (HCl). O teor de aglomerante será

determinado pela diferença de massa entre o valor inicial da amostra de argamassa e o valor final obtido para o material que não foi solubilizado pelo ácido. Já a técnica mais complexa, utiliza meios mais sofisticados, como a difração de raios-X (DRX), a fim de realizar uma análise mais profunda e detalhada.

### **3.4.3 Análises físicas**

As análises das propriedades físicas das argamassas têm uma influência significativa nas suas características, como sua qualidade e adesão ao substrato. Portanto, durante a seleção da argamassa de renovação, sua compatibilidade com a argamassa tradicional deve ser levada em consideração. A seleção adequada de ensaios e normas para análise física de argamassas tradicionais também é um desafio, principalmente em estudos conduzidos com dimensões não padronizadas, o que pode comprometer os resultados da análise do material (MISIEWICZ et al., 2025).

#### **a) Microtomografia Computadorizada de Raios X (Micro-CT)**

Segundo Travincas et al. (2023), a técnica de Microtomografia Computadorizada de Raios X (Micro-CT) é um método amplamente utilizado como ferramenta não destrutiva para a caracterização da estrutura interna das amostras de argamassa, através de imagens tridimensionais de alta resolução. Permite a visualização qualitativa até escalas micrométricas, a visualização da distribuição espacial do interior de amostras de objetos relativamente opacos à luz visível e a medição de parâmetros microestruturais quantitativos. Trata-se de um método capaz de revelar a morfologia dos vazios, o grau de heterogeneidade da mistura, a relação entre matriz e agregados, além da distribuição volumétrica de poros e microfissuras. Pode ainda auxiliar na formulação de novas argamassas e na caracterização do comportamento da argamassa, por exemplo, após processos de lixiviação e carbonatação.

De acordo com Adriano (2014), a Micro-CT permite visualizar com precisão a configuração volumétrica da matriz porosa, fornecendo subsídios para compreender o comportamento mecânico e hidrotérmico da argamassa ao longo do tempo. Enfatiza-se ainda, que esse exame é de fundamental importância na avaliação de impacto de processos de degradação associados à umidade, ao envelhecimento por retração ou às incompatibilidades com materiais contemporâneos.

## **b) Análise granulométrica**

Agregados usados influenciam decisivamente as características das argamassas de cal, pelo que a escolha cuidada da natureza e da granulometria deste componente é da maior importância (VEIGA, 2018).

A distribuição granulométrica é o primeiro passo na metodologia para analisar argamassas históricas, portanto, foram obtidas informações sobre as diferentes frações presentes nas argamassas e sua proporção de mistura durante a preparação da argamassa. Os resultados do fracionamento e peneiramento das amostras de argamassas foram representados como a % em peso de cada faixa de tamanho de partícula em relação à faixa de tamanho de partícula (GENESTAR et al., 2006).

Assim, a análise granulométrica possibilita a separação da argamassa em seus componentes e possibilita a determinação precisa da proporção entre os vários componentes da argamassa e os tamanhos de partículas (MISIEWICZ et al., 2025).

## **c) Absorção de água**

A proteção dos elementos de vedação contra os efeitos diretos dos agentes agressivos, de acordo com Ribeiro et al. (2022) destaca-se como uma das principais funções da argamassa. Portanto, um de seus critérios mais favoráveis para uma boa durabilidade do revestimento é a permeabilidade. Assim, para verificar o quanto o material absorve a água em determinado tempo, pode-se utilizar o ensaio de absorção de água por capilaridade, cujo objetivo é avaliar qual material será mais viável em vista da durabilidade, conforme a NBR 9778:2005.

Veiga (2018) ressaltou ainda, que teor de água de amassadura é um fator chave, contribuindo, quando em excesso, para uma porosidade demasiado elevada.

### ***3.4.4 Limitações analíticas***

Embora as análises físico-químicas, mineralógicas e microestruturais proporcionem informações sobre a constituição das argamassas tradicionais, certas variáveis da composição original tornam-se irrecuperáveis após o endurecimento do material. Entre essas limitações, destaca-se a impossibilidade de determinar com precisão a proporção de água empregada na mistura inicial, como já advertia Kanan (2008, p. 37): “Mesmo as análises mais sofisticadas

não podem determinar todas essas informações. Por exemplo, a proporção de água da mistura utilizada não pode ser detectada uma vez que a argamassa já esteja curada”.

Isso ocorre porque a água de amassamento é consumida em reações químicas, como a hidratação e a carbonatação, ou se perde por evaporação, sem deixar vestígios físico-químicos mensuráveis. Como consequência, a relação original água/materiais secos não pode ser determinada retrospectivamente por meios analíticos.

Essa lacuna impõe desafios à reconstituição das argamassas, sendo necessário recorrer a métodos experimentais baseados em propriedades da mistura fresca — como plasticidade, consistência, coesão e comportamento reológico — que podem ser avaliadas, por exemplo, por ensaios de espalhamento (*slump test*) (VEIGA et al., 2018). Esses procedimentos buscam reproduzir o desempenho funcional da argamassa, mais do que replicar sua composição exata, exigindo sensibilidade técnica e conhecimento empírico sobre os sistemas construtivos tradicionais.

Como destaca Veiga (2012), os resultados laboratoriais devem ser sempre interpretados à luz do contexto histórico e da lógica de produção artesanal das argamassas, levando em conta a variabilidade das matérias-primas e os métodos de aplicação originais. Segundo a autora, “os dados obtidos em laboratório devem ser cruzados com o conhecimento do comportamento dos materiais em obra e com os métodos tradicionais de aplicação”, de modo a evitar generalizações indevidas e intervenções incompatíveis.

A compatibilidade entre argamassas de restauro e materiais históricos não depende apenas da equivalência composicional, mas da compreensão do comportamento da argamassa no sistema construtivo, em seus aspectos físicos, químicos, estéticos e simbólicos. Assim, a caracterização torna-se um processo dialógico entre ciência, prática e patrimônio, guiado por critérios de autenticidade, reversibilidade e mínima intervenção.

Adicionalmente, a interpretação de dados obtidos por técnicas como DRX, XRF e análise petrográfica exige conhecimento integrado e atenção à distinção entre constituintes originais, secundários e produtos de degradação. Como apontam Veiga et al. (2018), a conjugação de métodos destrutivos e não destrutivos fortalece o diagnóstico, mas não substitui a leitura empírica do edifício e de suas manifestações patológicas.

Nesse mesmo sentido, Oliveira e Passuello (2020) ressaltam que os métodos analíticos são fundamentais para revelar propriedades estruturais e composicionais das argamassas, desde que aplicados com critérios éticos e técnicos que considerem a integridade do bem patrimonial.

Por fim, como reforça Kanan (2008, p. 35), “o conhecimento obtido por meio da caracterização técnica é indispensável para que se proponha uma reconstituição que não agrida a integridade material e histórica do bem”. Como sintetiza Veiga (2018), o objetivo maior da caracterização não é apenas compreender a argamassa como substância, mas reconhecer seu papel funcional, simbólico e técnico no edifício.

## 4 METODOLOGIA

Esta pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso, de natureza aplicada, com abordagem qualitativa e quantitativa. Tem por objetivo a caracterização das argamassas utilizadas em trechos da alvenaria interna do Museu da Inconfidência, por meio de métodos científicos de análise laboratorial, respeitando as diretrizes da conservação patrimonial.

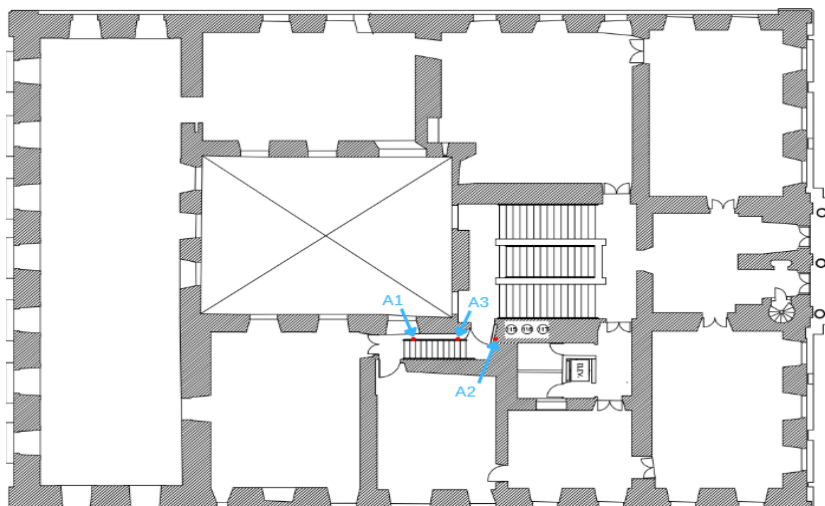
### 4.1 Materiais e métodos

A argamassa coletada neste estudo corresponde a uma argamassa de revestimento, aplicada sobre alvenaria de pedra, característica das edificações do período colonial. Esse tipo de argamassa exerce papel essencial na proteção contra intempéries, no controle da umidade superficial, na transpiração das paredes e no acabamento visual da edificação.

#### 4.1.1 Levantamento preliminar e inspeção visual nas áreas amostradas

Foi realizado um levantamento preliminar com inspeção visual das superfícies localizadas na escada de acesso ao segundo pavimento do Museu da Inconfidência. Esta etapa teve como objetivo diagnosticar o estado de conservação dos revestimentos argamassados, subsidiando a seleção dos pontos de coleta. A localização dos locais de coleta está representada na FIGURA 2, do segundo pavimento:

Figura 2 - Representação gráfica dos três pontos de coleta na planta do segundo pavimento da edificação do Museu da Inconfidência.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

A escolha do cômodo onde se realizaram as coletas foi orientada por critérios técnicos e patrimoniais, incluindo princípios de mínima intervenção, respeito à materialidade e não descaracterização do bem cultural. Tais diretrizes encontram fundamento na Carta de Veneza (1964), que estabelece a conservação como prática voltada à preservação da autenticidade da materialidade, entendida sobretudo como fidelidade aos materiais originais, as técnicas construtivas e as marcas do tempo. Além disto, a Teoria do Restauro de Cesare Brandi (1963), defende o restauro como ato crítico destinado a salvaguardar a obra em sua materialidade e valor histórico e estético.

Nesse sentido, optou-se por um ambiente que no momento da coleta estava em obra de adaptação funcional, conforme previsto no plano de segurança do edifício, o que viabilizou a extração, uma vez que os pontos amostrados seriam posteriormente restaurados no curso da própria obra.

Além disso, considerou-se a salvaguarda de potenciais vestígios de pintura mural do tipo barrado nos demais cômodos do pavimento, os quais não apresentavam perda de revestimento e demandam maior cautela em eventuais intervenções. Dessa forma, a seleção do ambiente visou compatibilizar as necessidades de pesquisa científica com os princípios da mínima intervenção e da conservação preventiva, evitando impactos em superfícies historicamente significativas.

Durante a avaliação visual, foram observadas diferentes condições de conservação entre as paredes, sendo essas:

a) A alvenaria onde foram retiradas as amostras A1 e A3 apresentava sinais de umidade descendente, com manchas de escorrimento vertical, característicos de infiltrações possivelmente oriunda de falhas em elementos superiores da edificação, como cobertura, platibanda ou tubulações internas (FIGURA 3 - a-d).

Figura 3 - Fotos da alvenaria onde foram retiradas as amostras A1 e A3.



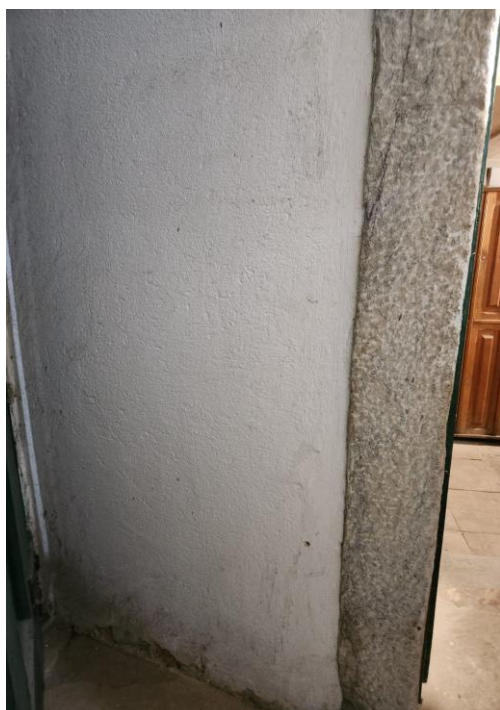
Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

b) A alvenaria correspondente a amostra A2, apesar da sua proximidade com o piso, apresenta superfície íntegra, coloração homogênea e boa aderência aparente, sendo considerada representativa de uma condição estável da argamassa original (FIGURA 4).

O ambiente em questão apresenta baixa incidência de ventilação e iluminação natural, o que pode contribuir para o acúmulo de umidade. Durante a inspeção, foram registrados aproximadamente 20 °C de temperatura e 52% de umidade relativa do ar, conforme dados coletados in loco (FIGURA 5).

Figura 4 - Foto da alvenaria da amostra A2.

Figura 5 - Registros de campo da temperatura ambiente e umidade relativa do ar.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

A fim de auxiliar na definição dos pontos de coleta, foi realizado ensaio de percussão com martelo de cabeça de borracha, visando identificar possíveis zonas ocas ou destacamentos parciais entre o revestimento e o suporte. As variações sonoras identificadas permitiram selecionar áreas com menor comprometimento estrutural e risco reduzido de perda de material.

Para cada uma das amostras coletadas em campo foi preenchida uma ficha individual, contendo a identificação da amostra, descrição breve do material extraído e caracterização do ambiente de coleta. Essas fichas estão incluídas no Apêndice 1 deste trabalho.

## 4.2. Coleta das argamassas

A coleta das argamassas foi realizada no segundo pavimento do Museu da Inconfidência, em ambiente previamente selecionado, como descrito no item 4.1, para atender aos critérios técnicos e patrimoniais descritos no item anterior. Nesse cômodo, observavam-se remanescentes aparentes de argamassa original de revestimento, em diferentes estados de conservação.

Foram extraídas três amostras, denominadas A1, A2 e A3, com rotulagem individual para garantir rastreabilidade e integridade dos dados. Os três pontos de coleta estão representados graficamente na planta do segundo pavimento da edificação do Museu da Inconfidência (FIGURA 2), permitindo a visualização precisa da localização das amostras analisadas.

A amostra A2 foi removida com o auxílio de uma serra copo de 10 mm de diâmetro, acoplada a uma furadeira elétrica, com o objetivo de obter um fragmento cilíndrico por meio controlado e minimamente invasivo (FIGURA 6). No entanto, a baixa coesão mecânica da argamassa e a profundidade reduzida da ferramenta comprometeram a recuperação íntegra do núcleo.

Figura 6 - Remoção da amostra A2 com o auxílio de uma serra copo de 10 mm de diâmetro, acoplada a uma furadeira elétrica.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

As amostras A1 e A3 foram coletadas manualmente, aproveitando o destacamento natural da argamassa ocasionado por deformações plásticas. Embora tenham sido extraídas por fraturas ocasionadas por movimentações higroscópicas do material, apresentavam volume suficiente e integridade parcial compatíveis com os ensaios de caracterização.

Quanto às características macroscópicas, a superfície do revestimento é lisa devido à aplicação de pintura, a argamassa apresenta textura homogênea, de elevada porosidade aparente, de cor bege clara. Os agregados, predominantemente de areia clara, possuem granulometria média a grossa (0,5–2 mm) e distribuição uniforme, com inclusões visíveis a olho nu de grãos pretos e marrons. Observou-se baixa resistência mecânica, com desagregação superficial e esfarelamento no manuseio, sem ocorrência de eflorescências salinas. As amostras correspondem à camada única de base recoberta por acabamento pintado, com espessura média de 15 mm, sobre alvenaria de pedra.

Todas as amostras foram acondicionadas individualmente em recipientes plásticos, rotuladas e armazenadas em condições ambientais controladas, no Dry Box (FIGURA 7) a vácuo, protegidas contra umidade, luz solar direta e contaminação cruzada.

Figura 7 - Armazenamento das amostras no Dry Box.

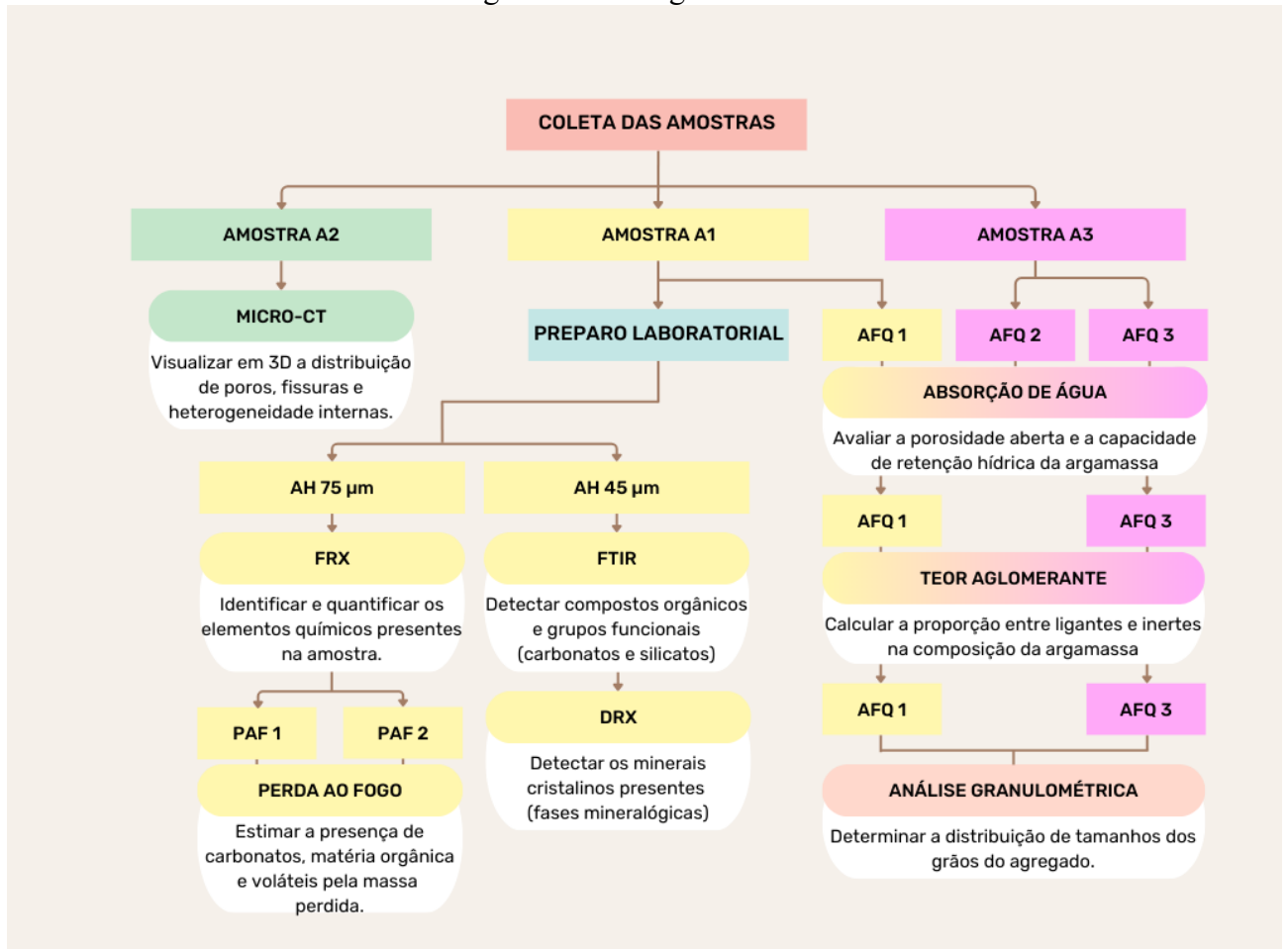


Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

Considerando a natureza patrimonial da edificação e o princípio de mínima intervenção que rege as ações de conservação e restauro (KANAN, 2008), a quantidade de material coletado foi limitada intencionalmente, de modo a preservar ao máximo os remanescentes originais da argamassa. Essa restrição, embora tecnicamente justificada, impossibilitou a realização de todos os ensaios previstos com cada uma das amostras obtidas. Assim, optou-se por um planejamento analítico seletivo, distribuindo os ensaios físico-químicos e mineralógicos conforme a integridade, volume disponível e representatividade das amostras. Com o intuito de garantir a rastreabilidade metodológica, apresenta-se a seguir um

fluxograma detalhado (FIGURA 8), no qual estão indicados os tipos de ensaio realizados, a correspondência com as amostras A1, A2 e A3, bem como as respectivas nomenclaturas adotadas ao longo da etapa de caracterização.

Figura 8 – Fluxograma.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

### 4.3 Preparo laboratorial das amostras

O preparo laboratorial foi planejado de forma a atender às necessidades analíticas de cada ensaio, preservando o máximo possível do material amostrado. A amostra A2 foi destinada exclusivamente ao ensaio de Micro-CT, permanecendo em recipiente individual, devidamente identificado e protegido, sem qualquer intervenção física prévia. Todo o procedimento de preparo foi realizado em ambiente limpo, com higienização prévia das superfícies e utensílios utilizando álcool isopropílico.

As amostras A1 e A3 (FIGURA 9) foram secas em estufa de circulação de ar (marca LUCADEMA®) por 24 horas, a  $105 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$ , visando à remoção da umidade livre sem

comprometer a integridade da fase carbonatada. A amostra A3 foi posteriormente utilizada nos ensaios de absorção de água, determinação do teor de aglomerante e agregado, e análise granulométrica.

Figura 9 - Amostras A1 e A3.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

A amostra A1, com peso bruto de 22,2947 g, foi fragmentada manualmente e uma parte moída em almofariz e pistilo de cerâmica (FIGURA 10). Considerando a quantidade reduzida de material e os princípios de preservação patrimonial estabelecidos por Brandi (2004), que defende a mínima intervenção e a salvaguarda da matéria original como portadora da historicidade, e reafirmados pela Carta de Veneza (1964), não foi realizado o quarteamento, utilizando-se todo o volume disponível.

Figura 10 - Fragmentação manual da amostra A1.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

Dessa amostra, obteve-se a fração 1 (5,4603 g), moída até que cerca de 90% do material passasse na peneira ASTM® de malha 325 mesh (45  $\mu\text{m}$ ), e a fração 2 (5,1778 g), preparada até 90% passante na malha 200 mesh (75  $\mu\text{m}$ ) (FIGURA 11).

Figura 11 - Obtenção da Fração 1 e 2 da amostra A1.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

Ambas foram acondicionadas em embalagens tipo *ziplock*, identificadas como AH-45 $\mu\text{m}$  e AH-75 $\mu\text{m}$ , e armazenadas em ambiente controlado ( $20 \pm 2$  °C, UR < 50%), protegidas contra luz solar direta e contaminantes, até a realização dos ensaios subsequentes (FIGURA 12).

Figura 12 - Acondicionamento das amostras AH-45 $\mu\text{m}$  e AH-75 $\mu\text{m}$  em embalagens tipo *ziplock*.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

#### 4.4 Ensaios analíticos aplicados

Todas as análises foram conduzidas nos laboratórios da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), com base em normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e em protocolos do Laboratório de Engenharia Civil da UFOP. Estes protocolos, amplamente utilizados em pesquisas acadêmicas e intervenções de conservação, foram adaptados para possibilitar a execução dos ensaios com a quantidade mínima de material necessária, de forma a preservar ao máximo a integridade dos elementos arquitetônicos amostrados, em consonância com as diretrizes de conservação preventiva recomendadas por organismos como o IPHAN e o ICOMOS.

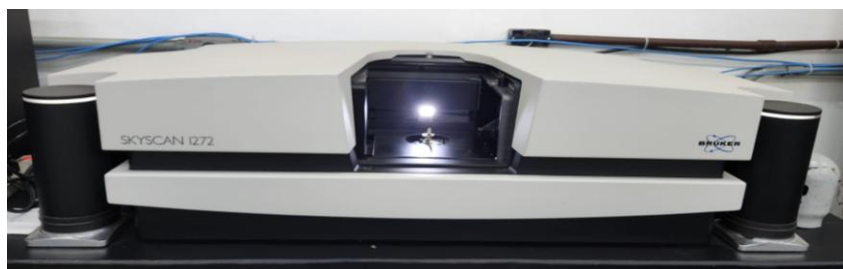
A aplicação dessa abordagem metodológica buscou assegurar a reprodutibilidade dos resultados, a confiabilidade das interpretações e a minimização do impacto sobre o bem cultural, mantendo-se o rigor técnico exigido pela pesquisa científica na área de conservação e restauração.

##### 4.4.1 Microtomografia computadorizada (Micro-CT)

A microtomografia computadorizada é aplicada para avaliar a microestrutura tridimensional da argamassa, fornecendo imagens onde será possível observar o índice de vazios e a conectividade dos poros, fundamentais para compreender o comportamento higroscópico e a durabilidade do material. Espera-se identificar uma elevada porosidade interconectada, característica de argamassas de cal, favorecendo a permeabilidade ao vapor d'água.

O ensaio foi realizado com o equipamento BRUKER®, modelo SKYSCAN 1272 (FIGURA 13), locado no Laboratório NanoLab, utilizando feixe de raios X com parâmetros calibrados para argamassas de baixa densidade.

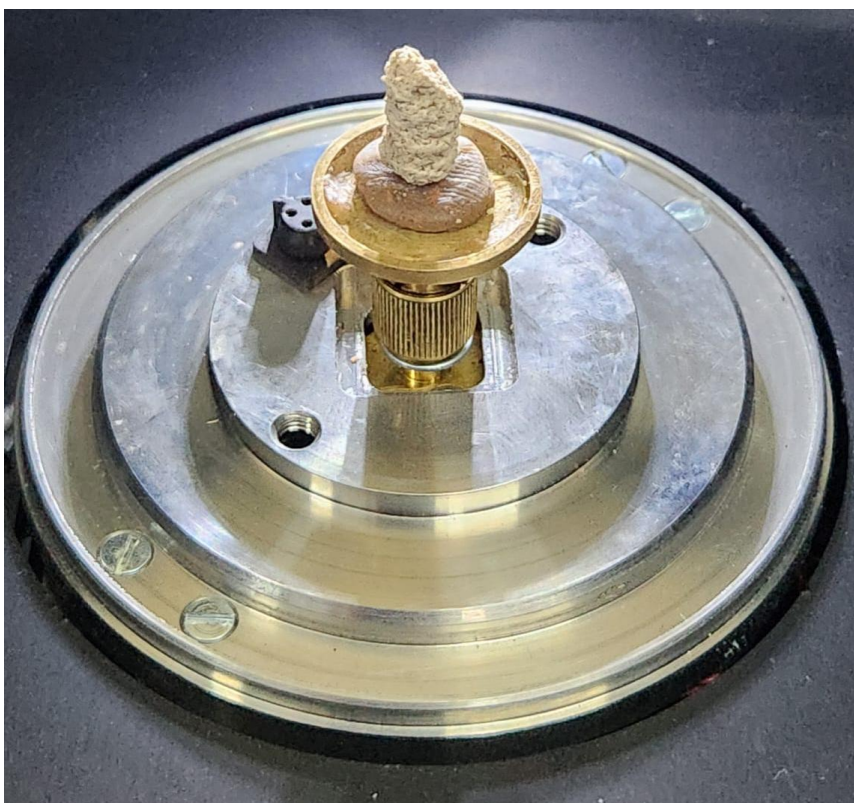
Figura 13 - Equipamento de Micro-CT da BRUKER®, modelo SKYSCAN 1272.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

A amostra A2 foi escaneada em resolução micrométrica, sem necessidade de preparo destrutivo prévio. Para realização do ensaio foi necessário a fixação da amostra A2 no porta amostras com massinha escolar (FIGURA 14). Depois de fixada, o porta amostra é posicionado no equipamento para leitura.

Figura 14 - Amostra A2 e porta amostras do ensaio de Micro-CT.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

#### ***4.4.2 Fluorescência de raio X (XRF)***

Nesse ensaio de fluorescência de raio X espera-se encontrar predominância de cálcio, característico de argamassas históricas à base de cal, e teores de sílica compatíveis com a fração arenosa de origem quartzosa.

O ensaio de XRF foi conduzido no NanoLab, laboratório vinculado à Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), utilizando o equipamento Ray ny EDX-720 (marca Shimadzu®) (FIGURA 15).

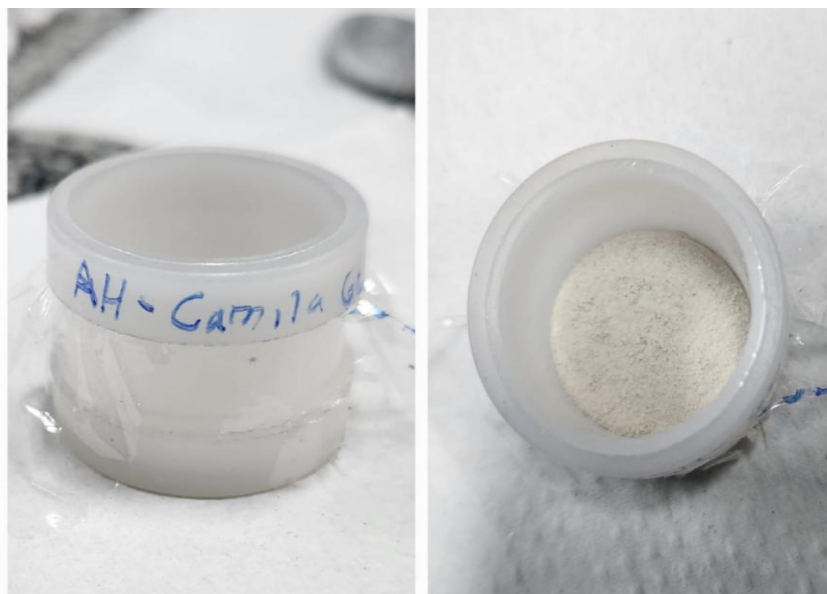
Figura 15 - Equipamento de XRF, Ray ny EDX-720.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

A amostra preparada, identificada como AH-75 $\mu$ m, foi colocada diretamente em um porta-amostra de plástico, até cobrir completamente o fundo, garantindo camada homogênea e opaca. A superfície foi então selada com filme de poliéster (Mylar®) para evitar deslocamentos do pó durante a leitura e assegurar a integridade do detector. Após o fechamento, a amostra foi devidamente identificada (FIGURA 16).

Figura 16 - Amostra AH-75 $\mu$ m no porta amostra de plástico com identificação.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

#### 4.4.3 Perda ao fogo (PAF)

O ensaio de perda ao fogo fornece indícios sobre o teor de cal livre ou carbonatada presente na argamassa. Espera-se que os valores obtidos estejam entre 8% e 15%<sup>1</sup>, confirmando uma elevada presença de carbonatos de cálcio, compatível com argamassas antigas formuladas com cal aérea.

O ensaio de Perda ao Fogo foi realizado no laboratório de engenharia civil da UFOP, utilizando o Forno Mufla, da marca JUNG® (FIGURA 13).

Figura 17 - Forno Mufla, da marca JUNG®.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

O ensaio foi realizado com a amostra preparada previamente, como foi descrito no item 4.3 e identificada como AH-75 $\mu$ m. Para assegurar a reprodutibilidade dos resultados, a perda ao fogo foi conduzida em duplicata. Utilizaram-se dois cadinhos com tampa, devidamente pesados em balança analítica de alta precisão (FIGURAS 18 e 19), com os valores descritos na TABELA 1. Para efeito de identificação neste ensaio, as amostras foram denominadas de PAF 1 e PAF 2.

---

<sup>1</sup>Velosa (2006) aponta que PAFs entre 8% e 15% são comuns em argamassas com predominância de carbonato de cálcio como ligante principal.

Tabela 1 - Perda ao Fogo.

Perda ao fogo		
AMOSTRA	PAF 1	PAF 2
Cadinho	37,955	37,844
Amostra ensaiada	2,0018	2,0015
Cadinho + material (antes)	39,961	39,851

Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

Figura 18 - Peso da amostra PAF 1 no cadinho.

Figura 19 - Peso da amostra PAF 2 no cadinho.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

Os cadinhos foram tampados e colocados na mufla previamente identificados por ordem de inserção. A mufla foi ajustada para atingir a temperatura de 1050 °C, onde as amostras foram mantidas por 2 h. Após esse período os cadinhos foram retirados, e pesados após o completo resfriamento, garantindo a estabilização térmica necessária. A perda de massa será apresentada na tabela na seção de Resultados e Discussões, foi expressa como porcentagem da massa inicial conforme a seguinte equação:

$$\text{PAF (\%)} = [(M_{\text{seca}} - M_{\text{calcificada}}) / M_{\text{seca}}] \times 100$$

#### 4.4.4 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

O ensaio de Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) foi conduzido no laboratório Ative 2, da UFOP, utilizando o equipamento Thermo Scientific Nicolet® iS5 (FIGURA 20) com módulo de transmissão iD1.

Figura 20 - Thermo Scientific Nicolet®.



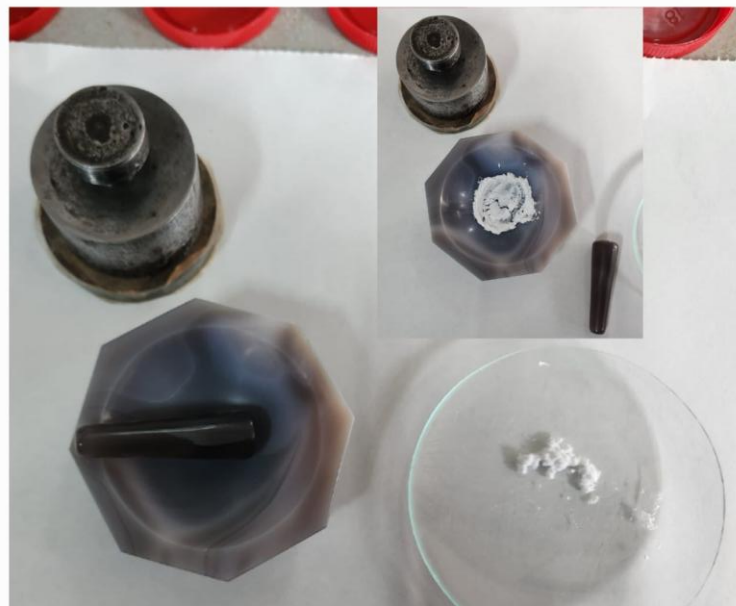
Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

Na realização do FTIR foi utilizada a amostra com identificação AH 45 $\mu$ m misturada ao brometo de potássio (KBr<sup>2</sup>). Para preparação da mistura foi utilizada a proporção 1:100, com aproximadamente 1 mg da amostra e 1 g de KBr, pesados com vidro de relógio na balança analítica de precisão. A homogeneização foi realizada em almofariz e pistilo de ágata, até se obter um pó uniforme e extremamente fino, adequado à prensagem (FIGURA 21).

---

<sup>2</sup> KBr - utilizado como meio de dispersão para amostras em pó, é empregado por ser transparente à radiação infravermelha, não interferindo na leitura.

Figura 21 - Homogeneização realizada em almofariz e pistilo de ágata.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

Em seguida, a mistura foi igualmente distribuída na matriz metálica do pastilhador, tomando-se o cuidado de evitar a formação de vazios (FIGURA 22).

Figura 22 - Distribuição da amostra na matriz metálica do pastilhador.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

O pastilhador foi submetido a compressão em prensa hidráulica, com aplicação gradual de carga até atingir 4,5 toneladas (Figura 23).

Figura 23- Compressão em prensa hidráulica.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

A pastilha resultante (FIGURA 24) foi retirada com cautela devido à sua elevada fragilidade. A pastilha ideal deve ser translúcida, fina e sem rachaduras ou bolhas. Após três tentativas sem sucesso, a quarta pastilha prensada foi considerada satisfatória e utilizada no ensaio.

Figura 24 - Porta amostras com a pastilha e a pastilha.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

Espera-se observar bandas características da calcita, bem como sinais atribuíveis a argilominerais e, eventualmente, resíduos orgânicos.

#### 4.4.5 Difração de Raios X (DRX)

Na difração de raio X espera-se como resultados, a predominância de picos de calcita e quartzo deverá confirmar o uso de cal como aglomerante e areia quartzosa como agregado, compatíveis com as técnicas construtivas tradicionais.

O ensaio de DRX foi conduzido no NanoLab, laboratório vinculado à UFOP, utilizando o equipamento Bruker® D2 Phaser - 2ª Geração (FIGURA 25).

Figura 25 - Equipamento Bruker® D2 Phaser - 2ª Geração.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

Na realização do DRX foi utilizada a amostra com identificação AH 45 $\mu$ m. Para a montagem da amostra no suporte do equipamento, foi fixado o porta amostra em uma base rígida, utilizando fita crepe, sobre a qual a mistura foi distribuída uniformemente (FIGURA 26) e compactada de maneira nivelada, de modo a evitar lacunas ou desníveis.

Figura 26 - Distribuição uniforme da amostra AH 45 $\mu$ m no porta amostras.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

A compressão foi realizada com o auxílio de uma moeda, e os espaços residuais foram preenchidos com massinha escolar (sem ultrapassar a borda do suporte), garantindo a fixação estável do pó difratante. Após o nivelamento da superfície, o porta amostras (FIGURA 27) foi descolado da base e acoplado ao equipamento para a aquisição dos dados.

Figura 27 - Porta amostras com a amostra AH 45 $\mu$ m.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

#### 4.4.6 Absorção de água por imersão

O ensaio de absorção de água por imersão foi realizado no laboratório de engenharia civil da UFOP. Foi realizado conforme os procedimentos estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) na NBR 9778:2005 - Argamassas e concreto endurecido - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Foram selecionados três fragmentos de amostras da argamassa, eles foram previamente secos em estufa da marca LUCADEMA® (FIGURA 28) a 105°C por 24hs para eliminação da umidade residual.

Figura 28 - Representação da estufa da marca LUCADEMA® e da amostra.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

Após a secagem, as amostras foram resfriadas até atingir temperatura ambiente, sendo em seguida identificados (como AFQ 1, AFQ 2 e AFQ 3) e pesados individualmente com o relógio de vidro na balança analítica de precisão. Esse valor foi registrado e corresponde a massa seca ( $M_s$ ) (FIGURA 29).

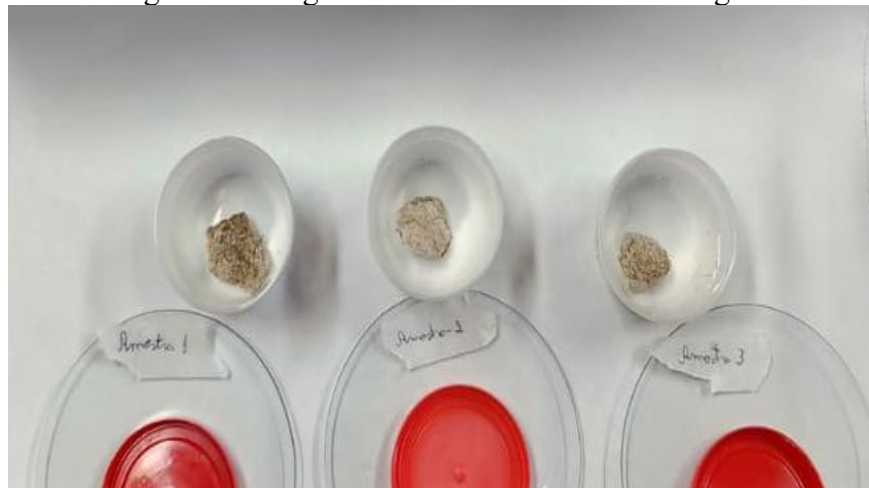
Figura 29 - Registro correspondente a massa seca (Ms).



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

Na sequência, cada fragmento foi colocado em recipiente plástico individual e com identificação. Foram preenchidos com água deionizada até a completa imersão das amostras (FIGURA 30), pelo período de 24 horas.

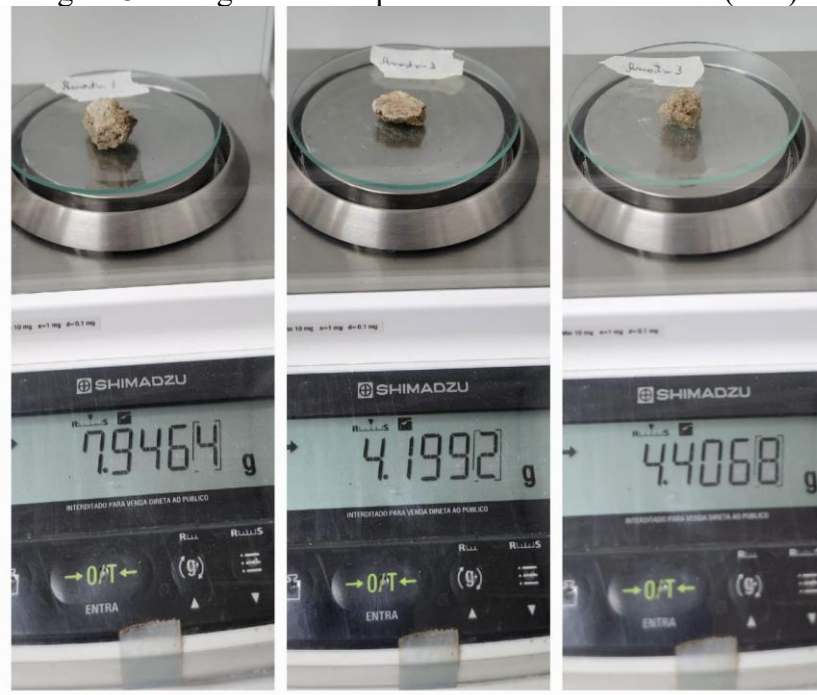
Figura 30 - Registro das amostras imersas na água.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

Transcorrido esse tempo, as amostras foram retiradas da água e secas superficialmente com papel absorvente, removendo somente o excesso de água aderido à superfície. As amostras foram novamente pesadas (FIGURA 31), sendo esse valor correspondente a massa saturada (Mss).

Figura 31 - Registro correspondente a massa saturada (M<sub>ss</sub>).



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

Em argamassas tradicionais à base de cal, espera-se que os resultados indiquem elevada taxa de absorção, compatível com a microestrutura porosa característica desses revestimentos. A absorção de água (A) foi determinada por meio da diferença entre as massas saturada e seca, conforme a equação:

$$A (\%) = [(M_{ss} - M_s) / M_s] \times 100$$

#### 4.4.7 Teor de aglomerante e agregado

O ensaio de teor de aglomerante e agregado foi realizado no laboratório de engenharia civil da UFOP, com base em métodos de ataque de ácido clorídrico, frequentemente utilizado para estimar a composição volumétrica de argamassas tradicionais, conforme descrito na fundamentação teórica. Espera-se encontrar proporções típicas de argamassas tradicionais à base de cal, com teores de 1:2 a 1:3 (aglomerante: agregado).

Para a realização desse ensaio foram utilizadas as amostras AFQ 1 e AFQ 3 previamente submetidas ao ensaio de absorção de água. As amostras foram secas em estufa a 105°C por 24 horas, até atingir uma massa constante. Após o resfriamento, cada amostra foi pesada em balança analítica de precisão (FIGURA 32), correspondente à massa inicial seca (M<sub>i</sub>).

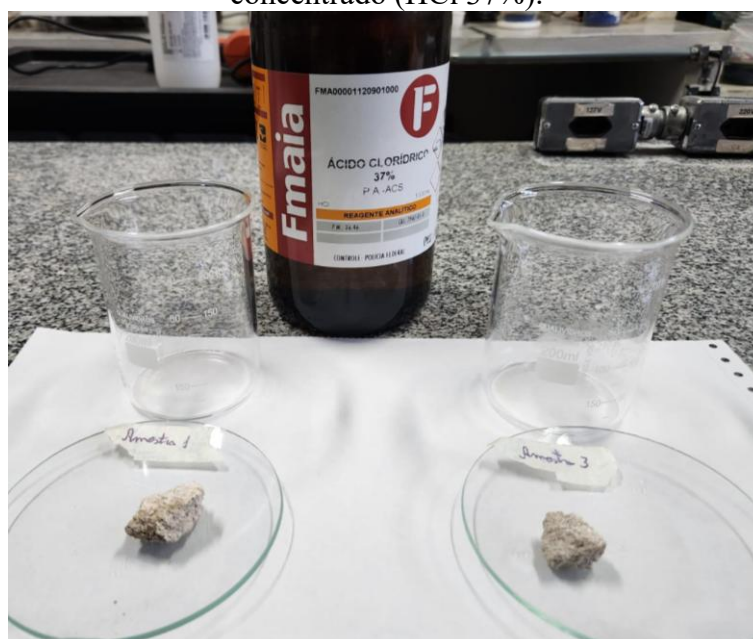
Figura 32 - Registro correspondente à massa inicial seca (Mi).



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

Para o ensaio foram utilizados dois béqueres de vidro com capacidade de 200 mL, neles foram adicionados aproximadamente 75 mL de solução de ácido clorídrico concentrado (HCl 37%) (FIGURA 33).

Figura 33 - Béqueres de vidro, amostras sobre os vidros de relógio e ácido clorídrico concentrado (HCl 37%).



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

Em seguida, as amostras secas foram cuidadosamente introduzidas na solução, com leve agitação manual por meio de bastão de vidro. Os béqueres permaneceram inicialmente sob capela de exaustão (de fibra de vidro, da marca Lutech<sup>®</sup>) até cessar a liberação de CO<sub>2</sub> (FIGURA 34) e, posteriormente, em repouso por 24 horas em temperatura ambiente.

Figura 34 - Registro correspondente às amostras na capela de exaustão.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

Após o período de reação, adicionou-se uma pequena quantidade de água ao conteúdo dos béqueres, com o objetivo de diluir a solução ácida remanescente, facilitando o processo de separação do resíduo insolúvel (FIGURA 35).

Figura 35 - Registro correspondente a diluição da solução com água.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

Em seguida, as soluções foram submetidas a filtração a vácuo, utilizando papel de filtro quantitativo em funil Büchner acoplado a um sistema de sucção (FIGURA 36) composto por kitassato e bomba a vácuo (FIGURA 37).

Figura 36 - Registro do funil Büchner acoplado ao sistema de sucção.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

Figura 37 - Registro da filtração a vácuo.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

Entre o funil de Büchner e a bomba foi intercalado um kitassato contendo sílica gel com indicador (sílica azul) e camada de algodão (FIGURA 38). Esse sistema teve como função reter a umidade oriunda da filtração, prevenindo sua entrada no equipamento e protegendo o sistema mecânico da bomba. A bomba de vácuo utilizada foi do tipo duplo estágio, com vazão de 8 CFM, da marca Suryha® (FIGURA 39), adequada para aplicações laboratoriais com exigência de baixa pressão e controle de vapor.

Figura 38 - Kitassato contendo sílica azul e camada de algodão.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

Figura 39- Bomba de vácuo da marca Suryha®.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

O resíduo insolúvel (agregado) retido no filtro foi lavado com água destilada até alcançar pH neutro e transferido, juntamente com o papel de filtro, para vidro de relógio. A secagem do resíduo foi conduzida em estufa de esterilização e secagem, da marca Cienlab®, a 55 °C por 40 minutos (FIGURA 40).

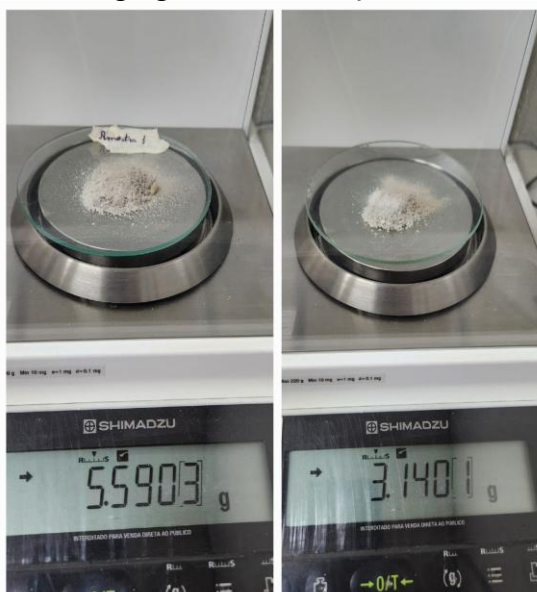
Figura 40 - Estufa de esterilização e secagem, da marca Cienlab®.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

Após o resfriamento em dessecador, as massas finais foram pesadas em balança analítica de precisão (FIGURA 41) e registradas como Mr, correspondentes ao teor de agregado residual.

Figura 41 - Peso dos agregados em balança analítica de precisão (Mr).



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

No capítulo seguinte, são apresentados os valores obtidos experimentalmente, bem como os respectivos cálculos de proporção aglomerante/agregado para cada amostra ensaiada. Os resultados são organizados em tabela e discutidos baseado nas referências aplicadas à caracterização de argamassas tradicionais. Foram aplicadas as seguintes fórmulas:

- a. Teor de agregado (%) =  $(Mr/Mi) \times 100$ ;
- b. Teor de aglomerante (%) =  $100 - \text{Teor de agregado}$

#### 4.4.8 Análise granulométrica

A análise granulométrica foi realizada no laboratório de engenharia civil da UFOP, nos resultados, espera-se a predominância de frações médias de areia, conforme já observado macroscopicamente.

O procedimento foi realizado reunindo as amostras AFQ 1 e AFQ 3, previamente utilizadas no ensaio de determinação do teor de aglomerante e agregado, a fim de alcançar volume suficiente para análise. Em conformidade com os princípios de mínima intervenção e com a limitação de material coletado em campo, a quantidade de amostra disponível era reduzida. O material foi pesado em balança analítica de precisão (FIGURA 42) e submetido ao ensaio.

Figura 42 - Peso dos agregados da amostra (correspondente a junção de AFQ 1 e AFQ 3).



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

Inicialmente, tentou-se a análise por difração a laser no equipamento BetterSize 2000® – *Laser Particle Size Analyzer*, porém a presença de grãos de maiores dimensões inviabilizou a leitura, com risco de dano ao sistema óptico. Tal como descrito em Souza (2011), optou-se então pela peneiração manual a seco, procedimento comumente empregado em pesquisas com volume amostral reduzido.

A amostra foi submetida ao peneiramento utilizando um conjunto de peneiras normalizadas com abertura de malha decrescente, nos seguintes diâmetros: 2400  $\mu\text{m}$ , 1200  $\mu\text{m}$ , 600  $\mu\text{m}$ , 300  $\mu\text{m}$ , 150  $\mu\text{m}$ , 75  $\mu\text{m}$  e 45  $\mu\text{m}$ . As peneiras foram acopladas a um agitador mecânico da marca Conseltt® (FIGURA 43-44), operado por 1 minuto.

Figura 43 - Peneiras acopladas ao agitador mecânico.



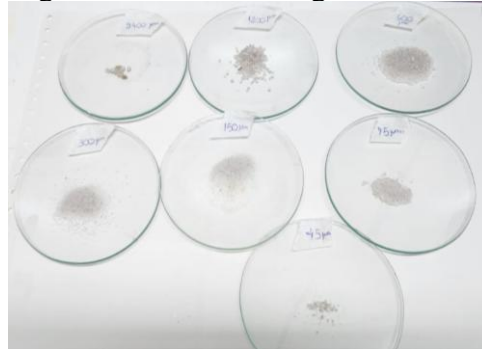
Figura 44 - Colocação da amostra na peneira.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

O conteúdo retirado em cada peneira foi cuidadosamente transferido para relógios de vidro com identificação das granulometrias (FIGURA 45) e pesados individualmente em balança analítica de precisão (FIGURAS 46-48).

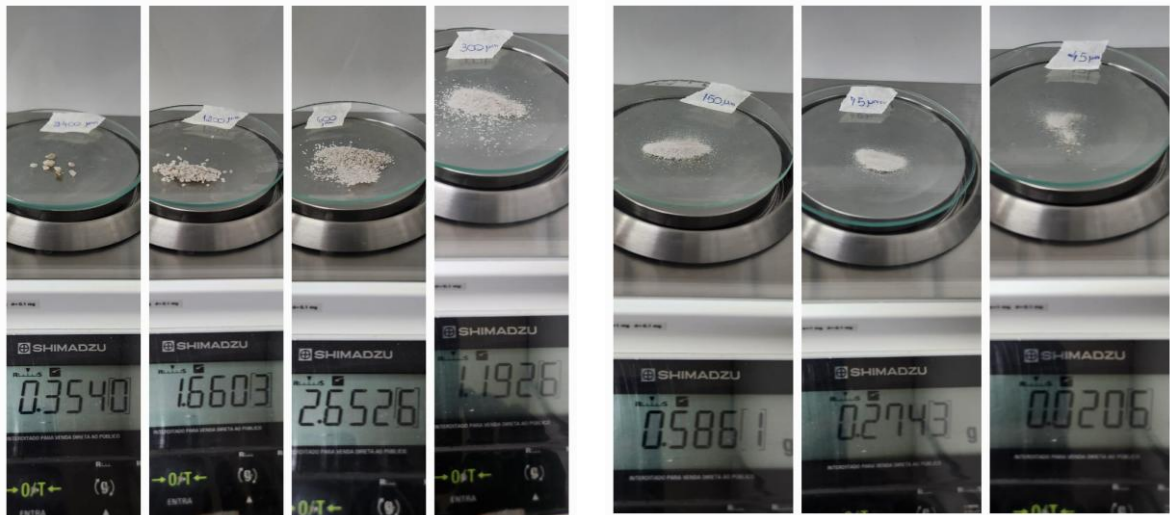
Figura 45 - Relógios de vidro com as granulometrias encontradas.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

Figura 46 - Peso das granulometrias encontradas.

Figura 47 - Peso das granulometrias encontradas.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

Figura 48 - Granulometrias encontradas.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

Na seção seguinte, será apresentada uma tabela contendo a massa (em gramas) e o percentual retido em cada malha, além do gráfico que ilustra a distribuição do agregado utilizado na composição da argamassa.

#### 4.4.9 Produção e ensaio dos Corpos de Prova

Com base nos resultados obtidos na análise granulométrica e na quantificação dos teores de aglomerante e agregado, foi possível reproduzir o traço identificado nas amostras de argamassa coletadas nas alvenarias internas do Museu da Inconfidência. O preparo da argamassa foi realizado em conformidade com os procedimentos estabelecidos na ABNT NBR 16541:2016, adotando-se o traço em massa de 1:3 (cal hidratada: areia).

Espera-se que os corpos de prova apresentem elevada porosidade e absorção de água, características inerentes às argamassas de cal, além de baixa resistência mecânica inicial, com ganhos progressivos de coesão em função do processo de carbonatação. Dessa forma, os resultados deverão confirmar a adequação do traço reconstituído como referência para eventuais reintegrações compatíveis.

A produção e ensaio dos corpos de prova foram conduzidos no Laboratório de Engenharia Civil da UFOP. A formulação visou garantir a compatibilidade físico-química e mecânica com a amostra da argamassa coletada, permitindo a execução de ensaios comparativos de desempenho e a formulação de argamassa de intervenção para futura aplicação em obras de conservação.

Os materiais empregados (FIGURA 49) e suas respectivas quantidades foram:

- Cal hidratada (da marca Massical®): 1593g
- Areia natural total: 4780g;
- Água: 770g inicialmente, com acréscimo de 160g para ajuste de consistência.

Figura 49 - Peso da areia, cal e água.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

- Distribuída em frações granulométricas específicas, conforme peneiramento prévio (FIGURA 50):

- ✓ 2400  $\mu\text{m}$  - 256 g;
- ✓ 1200  $\mu\text{m}$  - 1200 g;
- ✓ 600  $\mu\text{m}$  - 1919 g;
- ✓ 300  $\mu\text{m}$  - 863 g;
- ✓ 150  $\mu\text{m}$  - 424 g;
- ✓ 75  $\mu\text{m}$  - 200 g;
- ✓ 45  $\mu\text{m}$  - 15 g.

Figura 50 - Distribuída em frações granulométricas empregadas.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

O preparo dos corpos de prova seguiu os seguintes procedimentos: aplicação de desmoldante nos moldes prismáticos (4 x 4 x 16 cm), homogeneização inicial dos agregados secos com o aglomerante e adição da água em três etapas alternadas entre mistura mecânica, em misturador de eixo vertical (FIGURA 51), e homogeneização manual, totalizando nove minutos de mistura até obtenção de massa uniforme.

Figura 51 - Preparo da argamassa com misturador mecânico.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

A moldagem (FIGURA 52) foi realizada em três camadas sucessivas, com adensamento por haste metálica e nivelamento com espátula metálica. O excedente da massa foi utilizado para confecção de seis corpos de prova cúbicos (4 x 4 x 4 cm), destinados ao ensaio de absorção.

Figura 52 - Corpos de prova moldados.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

Após 24 horas de cura inicial a temperatura controlada de 20°C, os corpos de prova foram desmoldados e acondicionados em estufa com circulação de ar (marca Solid Steel®), também a 20°C, por 7 dias consecutivos (FIGURA 53).

Figura 53 - Acondicionamento em estufa dos corpos de prova.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

A opção pela cura em estufa, embora distinta do ambiente natural de carbonatação, foi adotada para garantir a padronização das condições ambientais durante os ensaios iniciais. Cabe destacar que a cal aérea desenvolve suas propriedades mecânicas a partir da carbonatação lenta em meio atmosférico rico em CO<sub>2</sub>, o que justifica a escolha de metodologias que considerem a progressão dessas reações ao longo do tempo (KANAN, 2008; VELOSA, 2006).

A metodologia adotada garantiu a produção de corpos de prova tecnicamente padronizados, permitindo a análise de parâmetros físicos e mecânicos em condições controladas. Os resultados obtidos nos ensaios, apresentados nas seções seguintes, servirão de base para a classificação da argamassa produzida, bem como para sua comparação com os parâmetros de desempenho das argamassas tradicionais, viabilizando futuras formulações compatíveis para intervenções de conservação.

Após sete dias de cura, foram realizados os seguintes ensaios:

**a. Ensaio de resistência à tração na flexão:** Norma técnica: ABNT NBR 13279:2005.

O ensaio foi executado em prensa hidráulica (marca Intermetric®, modelo 2INUNIQUEC, 700 Bar) equipada com dispositivo para flexão a três pontos, com vão de 100 mm entre apoios. A carga foi aplicada no centro do corpo de prova com taxa controlada de 0,2 MPa/s. Seis corpos de prova foram testados na posição horizontal.

Todos os corpos de prova apresentaram ruptura com carga inferior ao limite mínimo de leitura do equipamento, resultando em valores calculados de 0 MPa, pertencendo então a Classe R1 segundo a NBR 13281:2005. Tal comportamento é condizente com a baixa resistência inicial de argamassas à base de cal aérea, cujo processo de endurecimento ocorre por carbonatação e exige tempo prolongado. Esse fenômeno já foi registrado no estudo de VELOSA (2006), ao indicar que o ganho de resistência pode se estender por várias semanas.

**b. Ensaio de resistência à compressão:** Norma técnica: ABNT NBR 13279:2005.

Utilizaram-se as metades dos corpos de prova rompidos na flexão. O ensaio foi realizado na mesma prensa (FIGURA 54), com aplicação de carga à taxa de 0,45 MPa/s. Foram testados 11 corpos de prova. Para reduzir a influência de eventuais defeitos de moldagem, os cinco menores valores foram descartados, conforme prática em análises de dispersão. Os resultados obtidos serão apresentados na sequência.

Figura 54 - Prensa hidráulica da marca Intermetric®.



Fonte: Elaborada pela autora.

**c. Ensaio de absorção de água por imersão:** Norma técnica: ABNT NBR 9778:2005.

Seis corpos de prova cúbicos foram identificados e pesados (massa seca –  $M_s$ ). Foram, então, totalmente imersos em água potável por 24 horas (FIGURA 55). Em seguida, foram secos superficialmente com papel absorvente e pesados novamente (massa saturada –

Mss). O índice de absorção foi calculado conforme a equação já citada no ensaio anterior de absorção de água por imersão. Os resultados obtidos são apresentados na seção a seguir.

Figura 55 - Corpos de prova na bandeja e imersos em água.



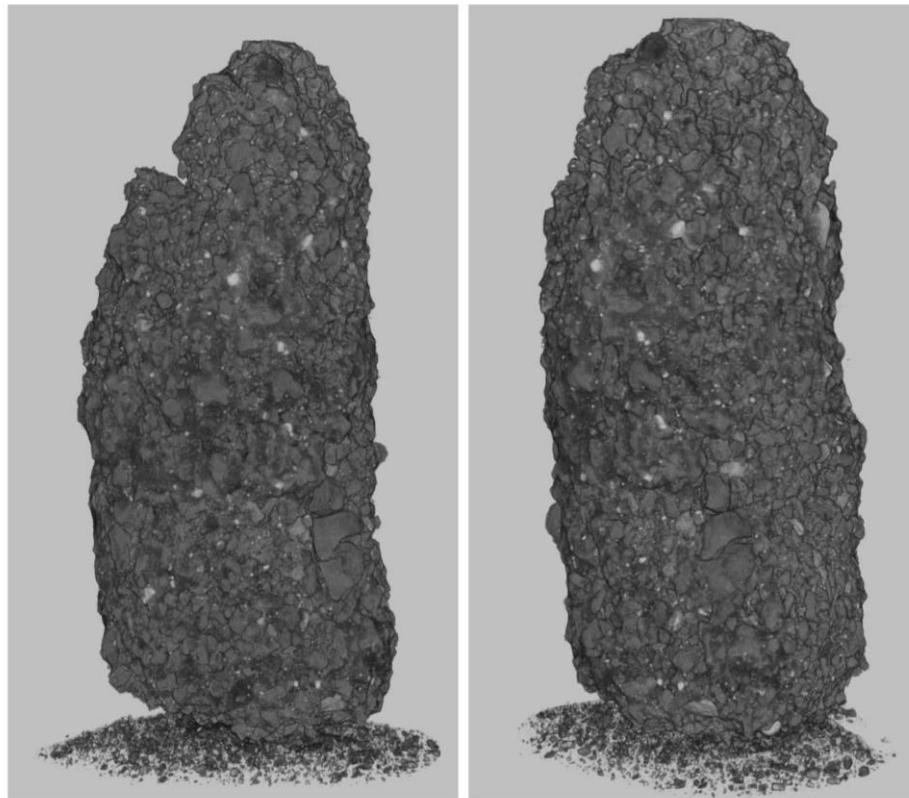
Fonte: Elaborada pela autora.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Micro-CT

A microtomografia computadorizada foi utilizada para a caracterização semi destrutiva da estrutura interna da amostra A2, permitindo a avaliação tridimensional da sua porosidade (FIGURA 56), densidade e distribuição dos constituintes minerais sem a necessidade de cortes físicos.

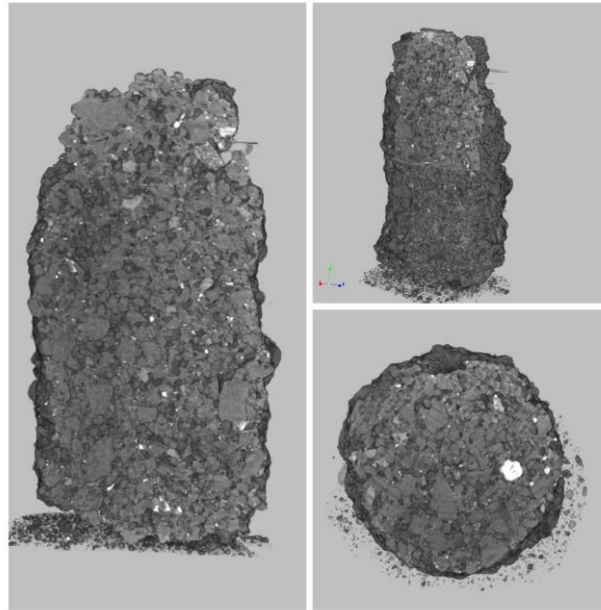
Figura 56 - Microtomografia computadorizada da Amostra A2.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

A estrutura interna da amostra A2 (FIGURAS 57-58) evidencia que a amostra apresenta elevada porosidade, característica típica de argamassas históricas formuladas com cal aérea, e densidade significativamente inferior à de matrizes cimentícias modernas. Essa condição contribui para maior permeabilidade ao vapor e compatibilidade higrotérmica com suportes históricos, mas também implica menor resistência mecânica.

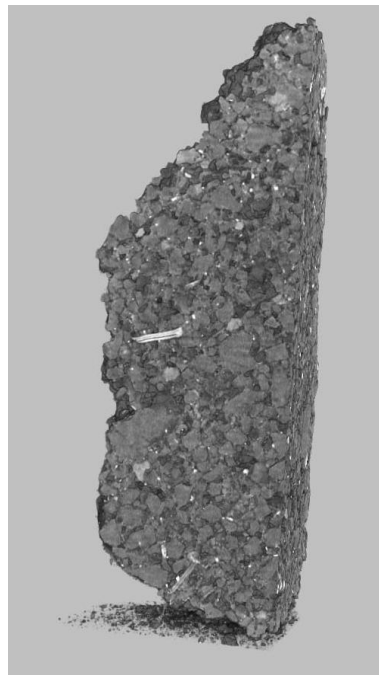
Figura 57 - Estrutura interna da amostra A2.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

A análise revela ainda a heterogeneidade da microestrutura, com variações na distribuição e no tamanho dos agregados, bem como zonas de matriz mais compacta intercaladas com áreas mais vazias. Foram identificados grãos com maior contraste de densidade, compatíveis com a presença de minerais ferruginosos, interpretação corroborada pela análise de XRF, que detectou elevado teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (8,639 %).

Figura 58 - Estrutura interna da amostra A2.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

A possibilidade de visualização interna proporcionada pela micro-CT confirma a natureza não homogênea das argamassas produzidas artesanalmente, nas quais a proporção e a distribuição dos constituintes dependiam diretamente das características dos materiais disponíveis localmente e dos métodos construtivos empregados.

## 5.2 XRF

A amostra foi submetida à análise por Fluorescência de Raio X (XRF), com o objetivo de identificar os principais óxidos constituintes da argamassa e avaliar a natureza mineralógica da argamassa. Os resultados obtidos encontram-se em Anexo 1 e sintetizados na TABELA 2 abaixo.

Tabela 2 – Composição Argamassa XRF.

<b>Composição Argamassa XRF</b>	
<b>Componentes</b>	<b>Quantidade %</b>
SiO <sub>2</sub>	50,580
CaO	38,554
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,639
TiO <sub>2</sub>	0,611
K <sub>2</sub> O	0,603
SO <sub>3</sub>	0,358
SrO	0,333
ZrO <sub>2</sub>	0,100
Outros	0,224

Fonte: Elaborada pela autora.

Os resultados indicam predominância de dióxido de silício (SiO<sub>2</sub>) e óxido de cálcio (CaO), totalizando aproximadamente 89,13 % da composição em massa, o que evidencia o uso de agregados quartzosos e aglomerante calcítico.

O teor de dióxido de silício (SiO<sub>2</sub>) com 50,580 %, reflete o uso de areias naturais ricas em quartzo, principal mineral do sistema detrítico. E o teor elevado de óxido de cálcio (CaO) com 38,554 %, confirma a presença de cal aérea como principal aglomerante, resultado que se comprova pelo ensaio de ataque ácido.

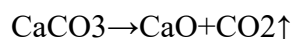
A quantidade significativa de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (8,639 %) identificada na amostra pode ser atribuída, em grande parte, às características geológicas e à procedência dos materiais empregados na produção da cal e dos agregados. Conforme explicado no item 3.3.2 Os materiais das argamassas tradicionais da região de Ouro Preto, a presença natural de minerais ferruginosos nos calcários e nas areias locais é justificada, sem que haja necessidade de deduzir adições artificiais ou contaminações posteriores.

Os teores residuais de TiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, SO<sub>3</sub>, SrO e ZrO<sub>2</sub> indicam a presença de minerais acessórios (ex: ilmenita, feldspatos, zircão), compatíveis com fontes naturais não industrializadas. O grupo “Outros” (0,224 %) apresenta uma quantidade mínima de óxidos, expressa em parte por milhão, sendo consideradas insignificantes para esta análise. Esses valores residuais incluem óxidos como ZnO, MnO, GeO<sub>2</sub>, CuO, SeO<sub>2</sub>, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Rb<sub>2</sub>O e NbO, que não influenciam de maneira relevante as propriedades gerais da argamassa nem a sua classificação composicional.

A composição química da amostra mostra-se compatível com argamassas históricas formuladas a partir de cal aérea e agregados locais, o que fortalece a hipótese de originalidade do material e fundamenta diretrizes para formulação de argamassas de reconstituição compatíveis.

### 5.3 Perda ao fogo

Esse ensaio contribui para estimar, de maneira indireta, a proporção de aglomerante calcítico presente na composição original da argamassa, considerando a decomposição térmica do carbonato de cálcio em óxido de cálcio e dióxido de carbono, conforme a reação:



A TABELA 3 apresenta os resultados obtidos para as amostras analisadas.

Tabela 3 - Resultados obtidos para as amostras analisadas: Perda ao fogo.

<b>Perda ao fogo</b>		
<b>AMOSTRA</b>	<b>PAF 1</b>	<b>PAF 2</b>
Cadinho	37,955	37,844
Amostra ensaiada	2,0017	2,0015
Cadinho + material (Mseca)	39,9613	39,851
Cadinho + material (Mcalcinada)	39,7683	39,6698
PAF (%)	9,6418	9,0532
PAF MÉDIA (%)	9,35	

Fonte: Elaborada pela autora.

Os resultados obtidos indicam uma perda ao fogo média de 9,35%, valor compatível com composições baseadas em cal aérea parcialmente carbonatada, sem indícios de adições pozolânicas ou de natureza hidráulica.

A pequena variação entre as amostras ( $\approx 0,6\%$ ) sugere uma execução relativamente homogênea ou o uso de matérias-primas de origem comum. Além disso, a ausência de perdas elevadas reforça a hipótese de um traço tradicional, com baixa interferência de adições contemporâneas ou contaminantes térmicos.

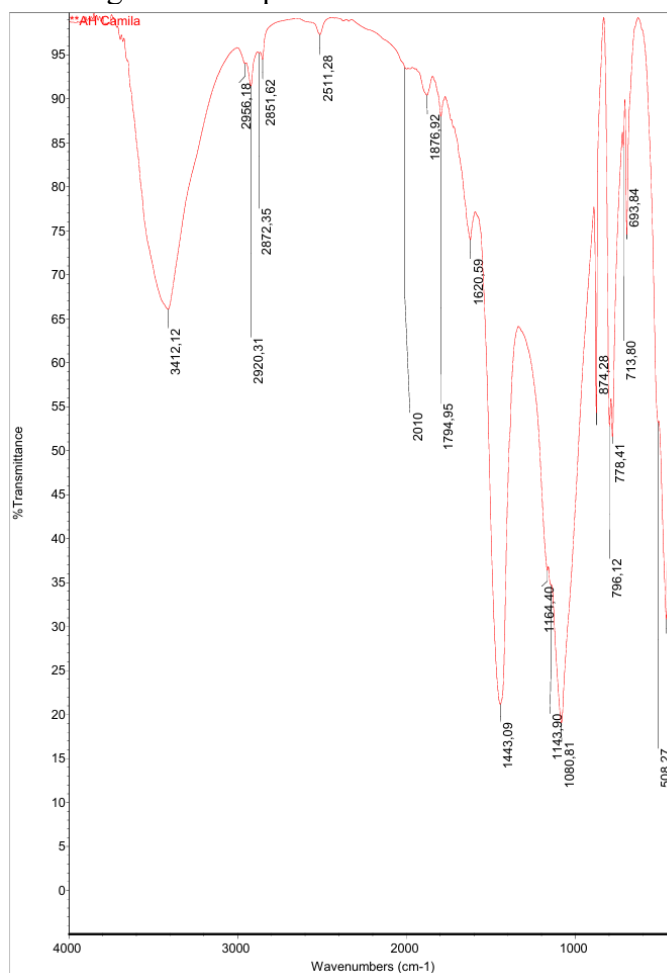
Os resultados de PAF corroboram com os achados na análise de XRF, que revelaram um teor significativo de CaO (38,554%) na composição da argamassa, o que confirma a cal como o aglomerante predominante.

#### 5.4 FTIR

O Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) é uma técnica que a amostra é exposta à radiação infravermelha, onde as ligações químicas dos elementos presentes na amostra absorvem a luz em comprimentos de onda específicos, o equipamento registra essa absorção e gera um gráfico, que é um espectro com bandas de absorção características.

O espectro de FTIR apresenta, no eixo horizontal (número de onda, em  $\text{cm}^{-1}$ ), as regiões de absorção da radiação infravermelha, enquanto no eixo vertical é registrada a intensidade dessa absorção. Cada composto químico possui um padrão característico de absorção, funcionando como uma espécie de ‘impressão digital’ da amostra. As bandas correspondem a regiões do espectro em que ocorre a absorção da radiação infravermelha, manifestando-se como picos característicos. É a partir dessas bandas que se identifica o tipo de ligação química presente, uma vez que cada ligação absorve energia em faixas específicas do espectro. O resultado obtido encontra-se representado na forma de gráfico (FIGURA 59) a seguir:

Figura 59 - Espectro de FTIR da amostra.



Fonte: Elaborada pela autora.

Para a análise do espectro do FTIR, da argamassa do Museu da Inconfidência, foi necessária a interpretação de 18 bandas características detectadas na amostra, baseada em possíveis atribuições feitas por diversos autores que foram pontuados abaixo:

Al Sekhaneh *et al.* (2020), observaram picos característicos da calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), identificando como vibrações de deformação de C-O, atribuindo as bandas 712 e 875  $\text{cm}^{-1}$

como carbonatos. As bandas 1448, 1795 e 2514  $\text{cm}^{-1}$ , são associadas a matéria orgânica, corresponde à vibração de estiramento assimétrico de C-O. As bandas de 797 e 692  $\text{cm}^{-1}$  correspondem a vibrações de estiramento de Si-O que são atribuídas ao quartzo. As bandas de 604, 775 e 1086  $\text{cm}^{-1}$  correspondem a vibrações de estiramento de Si-O atribuídas a silicatos. As bandas de 3449 e 1795  $\text{cm}^{-1}$  foram atribuídas à vibração de estiramento de N-H, e as bandas 1625 e 1685  $\text{cm}^{-1}$  são atribuídas a vibrações de estiramento de C=O e C-O respectivamente, geralmente pode ser atribuída à presença de proteínas, assim como as bandas entre 3500 a 2800  $\text{cm}^{-1}$  têm vibrações de estiramento de C-H. A banda 2875  $\text{cm}^{-1}$  é atribuída à vibração de deformação de C-H de compostos orgânicos. Já a banda 1138 pode ser atribuída a vibrações de estiramento de S-O de sulfatos, correspondente a presença de gipsita ( $\text{CaSO}_4$ ). As bandas acima de 3000  $\text{cm}^{-1}$  são atribuídas a vibrações de estiramento da ligação O-H, incluindo 3450  $\text{cm}^{-1}$  correspondente à água adsorvida, relacionada a componentes hidráulicos como silicatos e aluminatos hidratados. As bandas 2514, 1795, 875 e 712  $\text{cm}^{-1}$  foram associadas aos carbonatos. Já a banda 1138 pode ser associada à vibração de estiramento de Si-O.

De acordo com Leopoldino et al. (2020) a banda 3412  $\text{cm}^{-1}$  é atribuída a vibrações de estiramento de O-H, e associando com as informações de Al Sekhaneh et al. (2020) conclui que essa banda corresponde a água adsorvida.

Segundo Shahravan et al. (2012), a banda 2930  $\text{cm}^{-1}$  é atribuída a vibrações de estiramento de C-H, já a banda 2920  $\text{cm}^{-1}$  pode ser atribuída a ligações de C-H.

Conforme Segundo Le Guillou et al. (2015), às bandas entre 3000 e 2820  $\text{cm}^{-1}$  podem estar associadas à matéria orgânica, e as bandas entre 1950 e 1750  $\text{cm}^{-1}$  podem corresponder ao quartzo, assim como as bandas entre 1750 e 1210  $\text{cm}^{-1}$  estão relacionadas a matéria orgânica.

Matei et al. (2020) constataram que as bandas 874 e 712  $\text{cm}^{-1}$  são atribuídas à calcita ( $\text{CaCO}_3$ ). As bandas entre 2982 e 2876  $\text{cm}^{-1}$  podem ser atribuídas a vibrações de estiramento de C-H, correspondente a compostos orgânicos.

Sedita et al. (2020) ressaltaram que a banda 799  $\text{cm}^{-1}$  pode ser atribuída à vibração de estiramento de Si-O-Si, correspondendo ao quartzo. assim como a banda 1155  $\text{cm}^{-1}$  pode ser atribuída a vibrações de estiramento de Si-O-Si do silicato de cálcio. Já a banda 1082  $\text{cm}^{-1}$  corresponde a vibrações de Si-O e Al-O.

Segundo Krol et al. (2017) as bandas 798, 780 e 778  $\text{cm}^{-1}$  são atribuídas a vibrações de estiramento do Si-O correspondente ao quartzo, a banda 1650  $\text{cm}^{-1}$  é atribuída à vibração de deformação de água O-H. A banda 695  $\text{cm}^{-1}$  é atribuída a vibrações de ligação Al-O-Si,

correspondente ao quartzo, como visto em, Al Sekhaneh et al (2020), Yunsheng et al (2010) e Gardolinski et al. (2005).

Rodriguez-Blanco et al. (2011) enfatizaram que as bandas entre 3600 e 2700  $\text{cm}^{-1}$  podem ser atribuídas à vibração de estiramento de O-H, a banda 1650  $\text{cm}^{-1}$  pode ser atribuída à vibração de deformação de O-H, correspondentes a água estrutural. As bandas 1805, 1409, 1090 e 874  $\text{cm}^{-1}$  podem ser atribuídas à vibração de íons carbonatos.

De acordo com Bosch-Reig et al. (2017), os FTIRs do quartzo, feldspato e caulim apresentam bandas sobrepostas entre 800 e 1200  $\text{cm}^{-1}$ . As bandas entre 1200 e 900  $\text{cm}^{-1}$  podem ser atribuídas a vibrações de estiramento de Si-O, com pico máximo em 1080  $\text{cm}^{-1}$ . As bandas 800 e 780  $\text{cm}^{-1}$  são atribuídas a vibrações de estiramento de Si-O; e as bandas de 695, 520 e 450  $\text{cm}^{-1}$  são atribuídas a vibrações de deformação de Si-O.

Para Hajjia et al (2017), as bandas 2924 e 2872  $\text{cm}^{-1}$  são atribuídas à vibração de C-H; já as bandas 718, 875 e 1425  $\text{cm}^{-1}$  são atribuídas a vibrações de deformação e estiramento de O-C-O.

Segundo Yu et al. (1999), a banda  $\sim 875 \text{ cm}^{-1}$  é atribuída à vibração de deformação de carbonatos C-O. Já as bandas 902, 964, 984 e 1081 podem ser atribuídas às vibrações de estiramento Si-O, e as bandas entre 696 e 744  $\text{cm}^{-1}$  podem ser atribuídas a vibrações de deformação de Si-O-Si. As bandas de 450 e 480  $\text{cm}^{-1}$  são atribuídas à vibração de deformação de SiO.

Yunsheng et al. (2010) verificaram que a banda 1086  $\text{cm}^{-1}$  é atribuída à vibração de Si-O, as bandas 914 e 798  $\text{cm}^{-1}$  atribuídas à vibração de estiramento de Al-O e Al-OH respectivamente, a banda 697  $\text{cm}^{-1}$  atribuída à vibração de estiramento de Si-O.

Conforme Tironi et al. (2012), as bandas 789 e 754  $\text{cm}^{-1}$  são atribuídas à vibração de Al-O-Si. Melele et al. (2019) notaram que, a banda 448  $\text{cm}^{-1}$  é atribuída à vibração de Si-O-Si, e a banda 687  $\text{cm}^{-1}$  é atribuída à vibração de Si-O-Si do quartzo, a banda 3428  $\text{cm}^{-1}$  pode ser atribuída à vibração de deformação de O-H.

Segundo Gardolinski et al. (2005), a banda 796  $\text{cm}^{-1}$  pode ser atribuída à vibração de transição de Si. A banda 789  $\text{cm}^{-1}$  pode ser atribuída à vibração de transição de O-H. A banda 468  $\text{cm}^{-1}$  pode ser atribuída à vibração de estiramento de Si-O-Si, estiramento ou deformação de Si-O, e/ou deformação de O-Si-O/O-Al-O mais estiramento Al-O/Si-O.

A partir dessas informações, com a similaridade dos valores das bandas dos autores citados e dos resultados obtidos no espectro da amostra do Museu da Inconfidência, foram associados possíveis atribuições que estão sintetizadas na TABELA 4.

Tabela 4 – Sintetização da similaridade dos valores das bandas dos autores citados e dos resultados obtidos no espectro da amostra do Museu da Inconfidência.

<b>FTIR</b>	
<b>Banda (cm-1)</b>	<b>Possíveis Atribuições</b>
3412	Vibração de Estiramento de N-H (a) Vibração de Estiramento de O-H (água adsorvida) (b, h) Vibração de Deformação de O-H (o)
2956	Vibração de Estiramento de C-H (compostos orgânicos) (e) Vibração de Estiramento O-H (água adsorvida) (h)
2920	Vibração de Estiramento de C-H (k); (carbonatos) (c) (compostos orgânicos) (e) Vibração de Estiramento O-H (água adsorvida) (h)
2872	Vibração de Estiramento de C-H (k) (compostos orgânicos) (e) Vibração de Estiramento O-H (água adsorvida) (h)
2851	Vibração de Estiramento O-H (água adsorvida) (h)
2511	Vibração de Estiramento C-O (compostos orgânica) (a)
1794	Vibração de Estiramento C-O (compostos orgânicos) (a, h)
1620	Vibração de Deformação de O-H (água adsorvida) (g, h)
1443	Vibração de Estiramento C-O (compostos orgânicos) (a, k)
1164	Vibração de Estiramento Si-O-Si (silicato de cálcio) (quartzo) (f, i)
1143	Vibração de Estiramento Si-O-Si (silicato de cálcio) (f, i)
1080	Vibração de Estiramento Si-O (silicatos (a, i, l) Vibrações de Si-O e Al-O (f, m) Vibração de íons carbonatos (h)
874	Vibração de Deformação C-O (calcita) (a, e) (carbonato) (l) Vibração de Deformação O-C-O (k) Vibração de íons carbonatos (h)
796	Vibração de Estiramento Si-O (quartzo) (a, f, g, i, m) Vibração de Al-O-Si (n) Vibração de Transição Si (p)
778	Vibração de Estiramento Si-O (silicatos) (a) Vibração de Estiramento Si-O (quartzo) (g, i)

713	Vibração de Deformação C-O (calcita) (e) (carbonato) (a) Vibração de Deformação O-C-O (k) Vibração de Deformação Si-O-Si (l)
693	Vibração de Estiramento Si-O (quartzo) (a, g, m, o, p) Vibração de Deformação Si-O (i)
459	Vibração de Deformação Si-O (i, l, p) Vibração de Estiramento Si-O (p) Vibração de deformação O-Si-O/O-Al-O + Vibração de estiramento Al-O/Si-O (p) Vibração de Estiramento Si-O-Si (o, p)

a) Al Sekhaneh et al. (2020); b) Leopoldino et al. (2020); c) Shahravan et al. (2012); d) Le Guillou et al. (2015); e) Matei et al. (2020); f) Sedita et al. (2020); g) Król et al. (2017); h) Rodriguez-Blanco et al. (2011); i) Bosch-Reig et al. (2017); k) Hajjia et. al (2017); l) Yu et al. (1999); m) Yunsheng et al. (2010); n) Tironi et al. (2012); o) Melele et al. (2019); p) Gardolinski et al. (2005).







Fonte: Elaborada pela autora.

Pode-se concluir que o ensaio de FTIR, associado aos resultados de DRX e FRX, evidencia a complementaridade dos métodos utilizados. As possíveis atribuições identificadas como bandas específicas atribuídas aos carbonatos e silicatos no FTIR está em consonância com as fases cristalinas reveladas pelo DRX (calcita, quartzo, talco e biotita), assim como com as concentrações elementares detectadas no FRX (predominância de SiO<sub>2</sub> e CaO). Esse cruzamento de dados permite validar a presença de cal aérea como aglomerante e de agregados quartzosos naturais, além de comprovar a influência da mineralogia local na formulação original da argamassa, reforçando a hipótese de compatibilidade

## 5.5 DRX

A análise do DRX foi realizada com o objetivo de identificar as fases cristalinas presentes nas amostras de argamassa, permitindo inferir a natureza do aglomerante e dos agregados. A interpretação dos difratogramas foi conduzida com base na identificação preliminar obtida pelo XRF e na correlação com o banco de dados do programa *HighScore Plus*, considerando a intensidade e a posição dos picos característicos. A análise do DRX identificou minerais como o quartzo, hematita, calcita, calcita magnésiana, talco e biotita (FIGURA 60).

Figura 60 - Lista de minerais identificados no programa *HighScore Plus*.

No.	Visible	Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula
1	<input checked="" type="checkbox"/>	 96-152-6861	Si O2	O6.00 Si3.00
2	<input checked="" type="checkbox"/>	 96-900-0966	Calcite	Ca6.00 C6.00 O18.00
3	<input checked="" type="checkbox"/>	 96-721-4218	Magnesium calcite	C6.00 O18.00 Ca5.64 Mg0.36
4	<input checked="" type="checkbox"/>	 96-900-8041	Talc	Mg12.00 Si16.00 O48.00
5	<input checked="" type="checkbox"/>	 96-900-2163	Hematite-proto	Fe11.40 H0.36 O18.00
6	<input checked="" type="checkbox"/>	 96-900-0844	Biotite	Mg6.55 Fe3.46 Al5.29 Ti1.34 Si11.36 K4.00 O48.00

Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

Na TABELA 5 abaixo estão inseridos os resultados dos ensaios de XRF e DRX, e uma correlação entre eles, que será explicada a seguir:

Tabela 5 - Resultados do XRF e DRX da Argamassa.

<b>Resultados do XRF e DRX da Argamassa</b>				
<b>Elemento/Óxido (XRF)</b>	<b>% em massa (XRF)</b>	<b>Correlação entre os Resultados</b>	<b>Minerais Identificados (DRX)</b>	<b>Fórmula Química dos Minerais (DRX)</b>
SiO <sub>2</sub>	50,580%	Quartzo, Biotita, Talco	Quartzo	Si <sub>3</sub> O <sub>6</sub>
CaO	38,554%	Calcita, Calcita Magnésiana	Calcita	Ca <sub>6</sub> C <sub>6</sub> O <sub>18</sub>
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,639%	Hematita, Biotita	Calcita magnésiana	Ca <sub>5.64</sub> Mg <sub>0.36</sub> C <sub>6</sub> O <sub>18</sub>
TiO <sub>2</sub>	0,611%	Biotita	Talco	Mg <sub>12</sub> Si <sub>16</sub> O <sub>48</sub>
K <sub>2</sub> O	0,603%	Biotita	Hematita	Fe <sub>11.4</sub> H <sub>0.36</sub> O <sub>18</sub>
SO <sub>3</sub>	0,358%	Não identificado diretamente	Biotita	Mg <sub>6.55</sub> Fe <sub>3.46</sub> Al <sub>5.29</sub> Ti <sub>1.34</sub> Si <sub>11.36</sub> K <sub>4</sub> O <sub>48</sub>
SrO	0,333%	Não identificado diretamente		
ZrO <sub>2</sub>	0,100%	Não identificado diretamente		
Outros	0,224%	-		

Fonte: Elaborada pela autora.

O quartzo ( $\text{Si}_3\text{O}_6$ ) foi identificado como constituinte predominante do agregado, oriundo da areia empregada como inerte, sua presença também foi confirmada com o XRF que apontou 50,58% de óxido de sílica ( $\text{SiO}_2$ ). Esse mineral, de elevada estabilidade química, é responsável pela resistência mecânica e pela durabilidade da argamassa. Sua abundância confirma o uso de recursos regionais, uma vez que a geologia de Ouro Preto apresenta abundância de areias quartzosas.

A calcita ( $\text{Ca}_6\text{C}_6\text{O}_{18}$ ) constitui o produto de carbonatação da cal aérea, principal aglomerante da argamassa, como foi constatado no resultado do XRF com a quantificação de 38,554% de óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ). A presença de calcita magnesiana ( $\text{Ca,MgCO}_3$ ) indica o emprego de calcário dolomítico, rico em magnésio como matéria-prima para a produção da cal. Esse tipo de cal dolomítica, muito presente e explorada na região de Ouro Preto, como descrito no item 3.3.2. A identificação da calcita magnesiana só foi possível com o ensaio do DRX, pois o equipamento de XRF não realiza a detecção do magnésio (Mg), razão pela qual se torna fundamental a complementação dos resultados com outras técnicas.

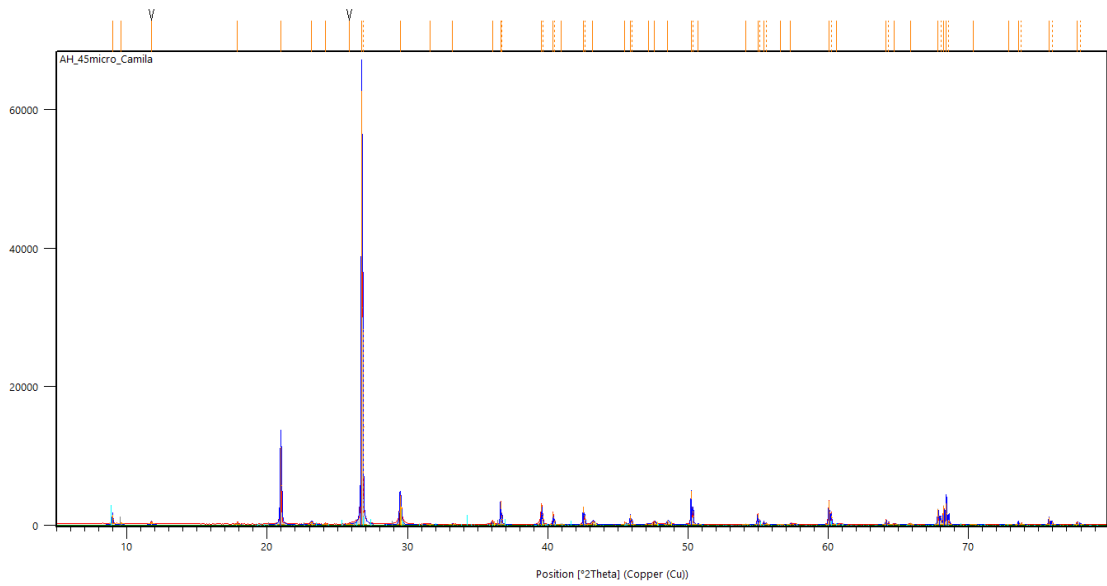
A hematita ( $\text{Fe}_{11.4}\text{H}_{0.36}\text{O}_{18}$ ), provavelmente está associada a impurezas do calcário ou da areia ferruginosa da região empregada na mistura. Sua presença não compromete a coesão, mas pode contribuir para processos de oxidação em condições de elevada umidade, acelerando a degradação superficial. Sua existência pode ser associada ao resultado do XRF que identificou 8,639% de óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

O talco ( $\text{Mg}_{12}\text{Si}_{16}\text{O}_{48}$ ), típico de rochas metamórficas, está provavelmente associado às impurezas dos agregados ou ao calcário magnesiano empregado. Sua presença se comprova diante do XRF que apontou 50,58% de óxido de sílica ( $\text{SiO}_2$ ). Embora atue como fase inerte, confere plasticidade à mistura e reflete a diversidade mineralógica da região de Ouro Preto.

A biotita ( $\text{Mg}_{6.55}\text{Fe}_{3.46}\text{Al}_{5.29}\text{Ti}_{1.34}\text{Si}_{11.36}\text{K}_4\text{O}_{48}$ ) é uma rocha metamórfica da região de Ouro Preto, provavelmente presente nos agregados locais. Sua presença se confirma com a associação com o XRF indicando 0,611 de óxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ); 0,358% de óxido de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) e 8,639% de óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

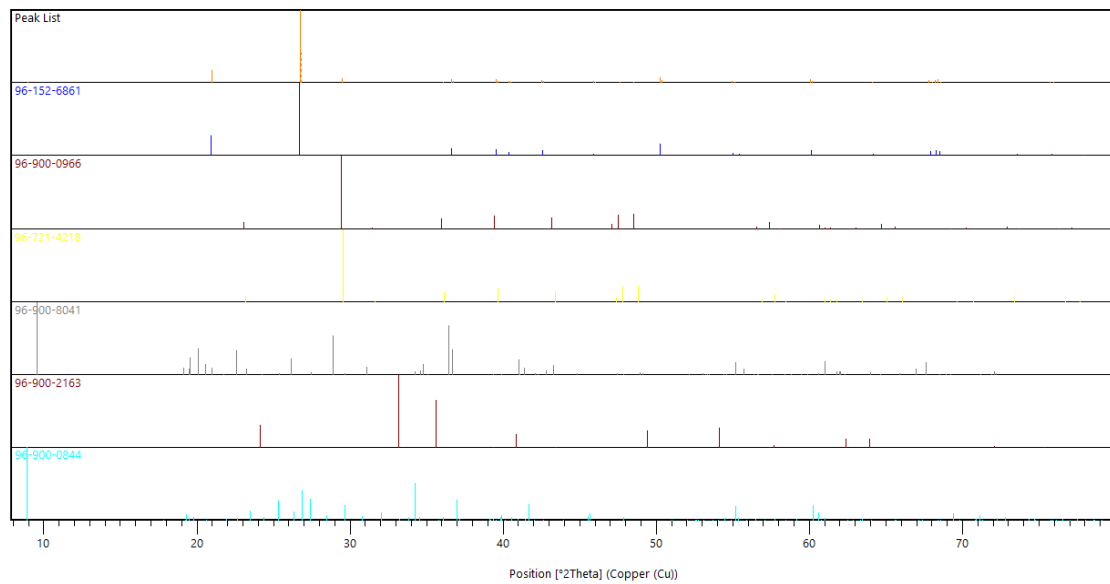
O resultado foi obtido a partir da análise do gráfico abaixo (FIGURA 61), com a identificação mediante a associação dos picos (FIGURA 62). Os códigos na identificação dos picos correspondem aos minerais encontrados, que podem ser conferidos na Figura 60 (Lista de minerais identificados no programa *HighScore Plus*).

Figura 61 - Gráfico resultado do DRX.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

Figura 62 - Identificação dos picos.



Fonte: Elaborada pela Autora (2025).

## 5.6 Absorção de água por imersão

O ensaio foi conduzido com base na NBR 9778:2005, adaptada às restrições impostas pela abordagem de mínima intervenção. Os resultados encontram-se na TABELA 6 de absorção de água:

Tabela 6 – Resultados do ensaio de absorção de água por imersão.

<b>Absorção de água por imersão (amostras)</b>			
<b>AMOSTRA</b>	<b>AFQ 1</b>	<b>AFQ 2</b>	<b>AFQ 3</b>
Massa seca (Ms)	7,1141	3,6984	3,9142
Massa saturada (Mss)	7,9464	4,1992	4,4068
Absorção de água (%)	11,6993	13,5409	12,5849
MÉDIA A(%)	12,60		

Fonte: Elaborada pela autora.

A média aritmética dos valores obtidos resulta em 12,6% de absorção de água por imersão, indicativo de uma argamassa de elevada porosidade, característica típica de sistemas tradicionais à base de cal aérea e agregados naturais. Essa estrutura porosa favorece a respirabilidade das alvenarias tradicionais, permitindo trocas de vapor e controle da umidade interna.

A variação entre as amostras (11,70% a 13,54%) está dentro de um intervalo considerado aceitável, apesar de não existir um padrão nacional ou internacional aceito que fixe valores limites para o índice de absorção de água por imersão. A uniformidade dos resultados, apesar da pequena dimensão das amostras, válida a metodologia aplicada e confere confiabilidade aos dados obtidos.

Os valores obtidos podem ser atribuídos a granulometria, à heterogeneidade do agregado insolúvel e ao grau de carbonatação da cal residual. Nas argamassas de cal aérea recém-executadas, a porosidade inicial é elevada porque a microestrutura é composta por cristais de hidróxido de cálcio e espaços intergranulares; à medida que a carbonatação progride esses poros são parcialmente preenchidos com carbonato de cálcio, densificando a matriz e reduzindo a absorção de água. Essa redução, entretanto, varia conforme a disponibilidade de CO<sub>2</sub>, o teor de umidade e a ocorrência de microfissuras: em zonas úmidas ou fissuradas a absorção pode permanecer alta. No caso estudado, a predominância agregados médios e grossos, e a escassez de finos aumentam o volume de vazios, o que justifica o valor de absorção médio de 12,6 % observado e evidencia a influência direta da granulometria na capacidade de armazenamento de água.

### 5.7 Teor aglomerante e agregado

A estimativa do teor de aglomerante (Mi-Mr) e de agregado (Mr) foi obtida com base na massa inicial da amostra seca (Mi) e na massa do resíduo insolúvel (Mr). Os resultados obtidos para as duas amostras analisadas estão apresentados na TABELA 7.

Tabela 7 – Resultados da Determinação do teor de aglomerante e agregado por ataque ácido (HCl 37%).

<b>Determinação do teor de aglomerante e agregado por ataque ácido (HCl 37%)</b>		
<b>Amostra</b>	<b>AFQ 1</b>	<b>AFQ 3</b>
<b>Massa inicial seca (Mi) [g]</b>	7,0721	3,8997
<b>Massa do resíduo (Mr) [g]</b>	5,5903	3,1401
<b>Teor de agregado (%)</b>	79,04	80,52
<b>Teor de aglomerante (%)</b>	20,96	19,48

Fonte: Elaborada pela autora.

Com base na média dos resultados obtidos (aglomerante  $\approx$  20,22 %; agregado  $\approx$  79,78 %), foi estimado o traço gravimétrico da argamassa como 1:3,94 (cal:areia). Para conversão em traço volumétrico, consideraram-se as densidades médias dos componentes: 2,2 g/cm<sup>3</sup> para a cal aérea hidratada e 2,65 g/cm<sup>3</sup> para a areia seca, resultando no traço final de 1:3,3 (cal:areia).

Esse valor encontra-se dentro da faixa típica para argamassas tradicionais utilizadas em alvenarias de época colonial, nas quais o teor de ligante é deliberadamente reduzido em função de limitações econômicas, disponibilidade local de materiais ou tradição construtiva.

### 5.8 Análise granulométrica

Neste estudo, a análise granulométrica foi aplicada ao resíduo insolúvel remanescente do ataque ácido com HCl, correspondente ao agregado da argamassa. A metodologia utilizada seguiu o procedimento de peneiramento a seco, adaptado ao volume

reduzido de amostra disponível, em conformidade com os princípios de mínima intervenção. A seguir, são apresentados e discutidos os resultados obtidos, com base na distribuição de massas por faixa granulométrica e, posteriormente, na curva acumulada do percentual passante, que sintetiza o perfil granulométrico da amostra analisada.

A TABELA 8 revela que os maiores percentuais retidos se concentram nas malhas de 600  $\mu\text{m}$  (38,38%) e 1200  $\mu\text{m}$  (24%), evidenciando a predominância de partículas de dimensão média a grossa. A fração de 300  $\mu\text{m}$  também apresenta retenção expressiva (17,26%), reforçando o padrão de agregados com textura grosseira e baixa proporção de finos. As peneiras de 150  $\mu\text{m}$ , 75  $\mu\text{m}$  e 45  $\mu\text{m}$ , por sua vez, representam juntas menos de 13% do total, o que indica uma granulometria deficiente em partículas menores.

Tabela 8 - Maiores percentuais resultantes da análise granulométrica.

<b>Análise Granulométrica</b>		
<b>Granulometria</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
2400 $\mu\text{m}$	0,3540	5,12
1200 $\mu\text{m}$	1,6603	24
600 $\mu\text{m}$	2,6526	38,38
300 $\mu\text{m}$	1,1926	17,26
150 $\mu\text{m}$	0,5861	8,48
75 $\mu\text{m}$	0,2743	4
45 $\mu\text{m}$	0,0206	0,3
Perda	0,1701	2,46
<b>TOTAL</b>	<b>6,9106</b>	<b>100</b>

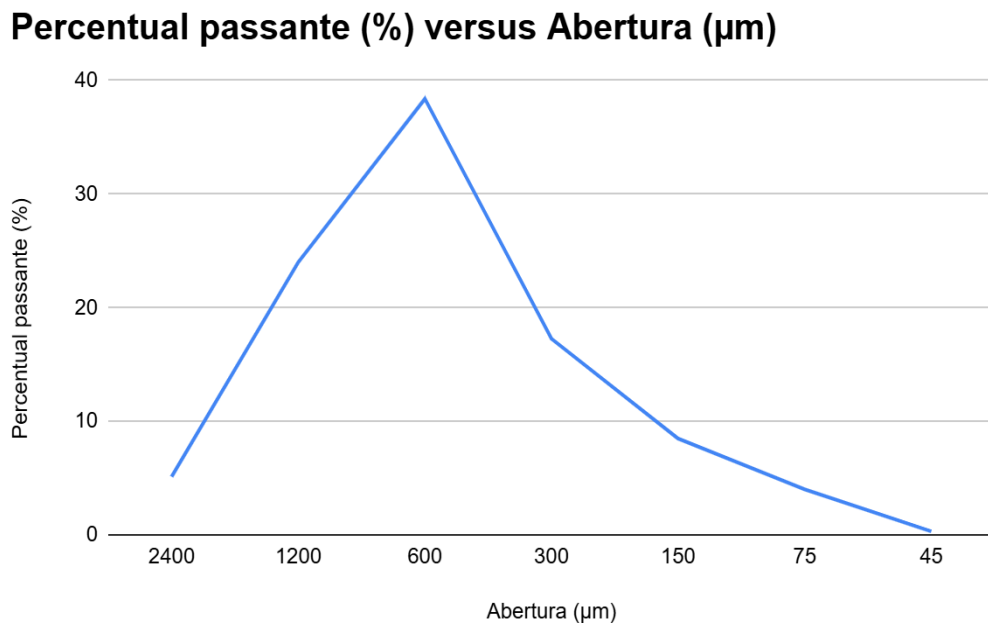
Fonte: Elaborada pela autora.

O reduzido percentual de material passante na peneira de 45  $\mu\text{m}$  (0,3%), aliado à perda de massa inferior a 2,5%, corrobora a confiabilidade do procedimento de peneiramento.

Ainda que a massa total analisada (aproximadamente 6,91 g) seja pequena, ela foi suficiente para fornecer uma amostragem representativa da granulometria do agregado insolúvel, respeitando os limites impostos por diretrizes éticas de preservação.

Essa análise quantitativa é complementada pela curva granulométrica acumulada apresentada a seguir, que permite visualizar, de forma contínua, o comportamento da amostra em relação à distribuição de tamanhos de partícula (FIGURA 63).

Figura 63 - Gráfico percentual passante (%) versus abertura ( $\mu\text{m}$ ).



Fonte: Elaborada pela autora.

A curva granulométrica obtida demonstra um padrão unimodal, típico de argamassas tradicionais, com predomínio de agregados nas faixas de 600  $\mu\text{m}$  e 1200  $\mu\text{m}$ , que juntas correspondem a aproximadamente 62% do total passante. Essa distribuição está em conformidade com traços utilizados em alvenarias estruturais dos séculos XVIII e XIX, caracterizados por agregados de origem natural, não britados, de modulação granulométrica ampla e ausência de peneiramento técnico (SOUZA, 2011; VELOSA, 2006).

A escassez de frações finas ( $< 150 \mu\text{m}$ ), evidenciada pelos baixos valores das peneiras de 75  $\mu\text{m}$  e 45  $\mu\text{m}$ , sugere uma seleção rudimentar ou uso direto de materiais extraídos localmente, como areias de leito de rio ou solos granulares. Essa característica tende a favorecer boa permeabilidade e porosidade, importantes para a respirabilidade das paredes tradicionais, mas pode comprometer a coesão superficial e a resistência à erosão, sobretudo se a argamassa for pobre em aglomerante (ARAÚJO, 2020; RIBEIRO, 2003).

Do ponto de vista da compatibilidade físico-tecnológica, os dados obtidos oferecem subsídios para formulação de argamassas de reparo com granulometria similar à encontrada, conforme recomendam os princípios de intervenção compatível (KANAN, 2008; VEIGA, 2005).

### 5.9 Ensaios com corpos de prova

#### a) Resistência à compressão:

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão encontram-se sintetizados na TABELA 9. A resistência média obtida foi de 1,24 MPa, com desvio padrão de 0,06 MPa e desvio percentual de 4,86%, indicando baixa dispersão dos valores e boa uniformidade no preparo, moldagem e cura dos corpos de prova.

De acordo com a ABNT NBR 13281:2005, esse valor enquadra a argamassa na Classe P1 ( $\leq 2,0$  MPa). Tais valores são típicos de argamassas à base de cal, que apresentam resistência inicial reduzida devido à elevada porosidade e ao processo de endurecimento lento, baseado na carbonatação.

Do ponto de vista da conservação e restauração de alvenarias tradicionais, a resistência obtida é considerada adequada, pois garante compatibilidade mecânica com substratos antigos, minimizando a ocorrência de tensões internas que poderiam provocar fissuração e destacamento do revestimento.

Tabela 9 - Resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão.

<b>Resistência à compressão</b>						
<b>Corpo de prova</b>	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>	<b>CP3</b>	<b>CP4</b>	<b>CP5</b>	<b>CP6</b>
Área (m <sup>2</sup> )	0,001643 611	0,001621 625	0,001643 062	0,001628 524	0,001613 218	0,001662 98
Tensão (MPa)	1,28	1,29	1,28	1,23	1,12	1,26
Média (MPa)	1,24					
Desvio padrão (MPa)	0,06					
Desvio percentual (%)	4,86					

Fonte: Elaborada pela autora.

## b) Absorção de água:

O ensaio de absorção de água por imersão, realizado conforme a ABNT NBR 9778:2005, apresentou média de 16,64%, com variação entre 15,82 e 17,10% (Tabela 10). Esses resultados indicam a presença de elevada porosidade aberta, característica intrínseca às argamassas à base de cal, especialmente em estágios iniciais de cura.

Essa condição física, de elevada porosidade, favorece a permeabilidade ao vapor de água, permitindo a troca de umidade entre o revestimento e o substrato, contribuindo para a função “respirante” da parede. Ao mesmo tempo, requer atenção em contextos de elevada umidade ou presença de sais solúveis, visto que a capacidade de absorção pode acelerar processos de cristalização salina e degradação superficial.

Tabela 10 – Resultados do ensaio de absorção de água por imersão.

<b>Absorção de água (corpos de prova)</b>						
<b>AMOSTRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Massa seca (Ms)(g)	106,73 g	104,91 g	106,13 g	111,13 g	107,21 g	108,23 g
Massa saturada (Mss)(g)	124,66 g	122,82 g	124,28 g	128,72 g	124,89 g	126,21 g
Absorção de água (A)(%)	16,79 %	17,07 %	17,10 %	15,82 %	16,49 %	16,61 %
MÉDIA A(%)	16,64%					

Fonte: Elaborada pela autora.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo principal caracterizar o traço e os materiais constituintes da argamassa aplicada nas alvenarias internas do Museu da Inconfidência, visando subsidiar tecnicamente futuras ações de conservação e restauração. Para isso, foram estabelecidos objetivos específicos que incluíam a coleta de amostras, a identificação dos constituintes por meio de técnicas analíticas laboratoriais (Micro-CT, FRX, DRX, FTIR, Perda ao Fogo, Absorção de Água por Imersão, Teor de Aglomerante e Agregado e Análise Granulométrica) e a interpretação dos resultados com base na bibliografia técnico-científica e normativas da área.

As hipóteses centrais da pesquisa foram: (i) as argamassas apresentam composição predominantemente calcária; (ii) há presença de adições tradicionais como pó de pedra e barro; (iii) parte das amostras evidencia intervenções posteriores com emprego de cimento.

Os resultados experimentais obtidos por meio das análises laboratoriais permitiram uma avaliação aprofundada das hipóteses inicialmente propostas. A primeira hipótese, que sugeria uma composição predominantemente calcária das argamassas, foi amplamente confirmada. A análise por Fluorescência de Raios X (FRX) revelou uma predominância de óxido de cálcio (CaO) e dióxido de silício (SiO<sub>2</sub>), totalizando aproximadamente 89,13% da composição em massa, evidenciando o uso de agregados quartzosos e aglomerante calcítico. O teor elevado de CaO (38,554%) confirmou a presença de cal aérea como principal aglomerante, corroborado pelo ensaio de ataque ácido. A Perda ao Fogo (PAF) média de 9,35% também se mostrou compatível com composições baseadas em cal aérea parcialmente carbonatada, sem indícios de adições pozolânicas ou de natureza hidráulica, reforçando a natureza calcária do ligante.

A segunda hipótese, referente à presença de adições tradicionais como pó de pedra e barro, pode ser considerada pouco provável, uma vez que as análises apontaram baixos teores de agregados finos. Embora a análise de FRX tenha identificado uma quantidade significativa de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (8,639%), atribuída às características geológicas e à procedência dos materiais empregados na produção da cal e dos agregados locais, o documento não detalha a presença de pó de pedra ou barro como adições intencionais. A presença de minerais ferruginosos nos calcários e areias locais justifica os teores elevados de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, sem a necessidade de deduzir adições artificiais ou contaminações posteriores. Outros teores residuais de TiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, SO<sub>3</sub>, SrO e ZrO<sub>2</sub> indicam a presença de minerais acessórios compatíveis com fontes naturais não industrializadas, mas não especificam adições de pó de pedra ou barro.

Quanto à terceira hipótese, que previa a evidência de intervenções posteriores com emprego de cimento, o estudo não apresentou resultados que a confirmassem. Pelo contrário, os dados da PAF, com valores abaixo de 10%, sugerem sistemas cal-areia com baixa adição de materiais orgânicos ou silicatados, e a ausência de perdas elevadas reforça a hipótese de um traço tradicional, com baixa interferência de adições contemporâneas ou contaminantes. A Microtomografia Computadorizada (Micro-CT) também evidenciou elevada porosidade, característica típica de argamassas tradicionais formuladas com cal aérea, e densidade significativamente inferior à de matrizes cimentícias modernas. A composição química da amostra é compatível com argamassas tradicionais formuladas a partir de cal aérea e agregados locais.

As conclusões gerais e específicas são apresentadas a seguir:

a) Traço da Argamassa: com base nos resultados dos ensaios, foi possível caracterizar o traço da argamassa do Museu da Inconfidência como predominantemente de cal aérea e areia, com um traço em massa de 1:3 (cal : areia), conforme reproduzido nos corpos de prova. Os principais componentes identificados foram o aglomerante calcítico (cal aérea) e o agregado quartzoso (areia natural);

b) Perda ao Fogo (PAF): este ensaio revelou uma perda média de 9,35%. Este valor é um indicativo direto da presença de carbonato de cálcio parcialmente carbonatado, principal componente do aglomerante calcário. A compatibilidade deste valor com as faixas típicas de argamassas de cal aérea (8% a 15%) e a ausência de perdas elevadas confirmam a natureza tradicional do ligante e a baixa interferência de adições contemporâneas ou contaminantes térmicos. A pequena variação entre as amostras ( $\approx 0,6\%$ ) sugere uma execução relativamente homogênea ou o uso de matérias-primas de origem comum, reforçando a interpretação de uma composição original e consistente;

c) Determinação do teor de aglomerante e agregado: embora o documento não apresente os valores percentuais exatos do teor de aglomerante e agregado resultantes do ensaio de ataque ácido, ele afirma que o procedimento visa dissolver a fração carbonática (aglomerante) e deixar como resíduo os inertes não reativos ao ácido (agregado). A confirmação da presença de cal aérea como principal aglomerante, evidenciada pelo alto teor de CaO (38,554%) na análise de FRX e pela PAF, corrobora que a fração aglomerante é predominantemente calcítica. A reprodução do traço de 1:3 (cal hidratada: areia) para os corpos de prova reforça a proporção identificada entre aglomerante e agregado;

d) Absorção de água por imersão: este ensaio, que foi conduzido de acordo com a NBR 9778:2005, indicou um valor médio de 12,6%, situando a argamassa estudada no patamar

de elevada porosidade característico de sistemas tradicionais formulados com cal aérea e agregados naturais. Essa estrutura porosa garante maior respirabilidade às alvenarias tradicionais, favorecendo as trocas de vapor e o controle da umidade interna, aspectos compatíveis com a conservação preventiva do patrimônio. A variação entre as amostras (11,70% a 13,54%) mostrou-se uniforme e dentro de um intervalo aceitável, reforçando a confiabilidade da metodologia empregada. O valor obtido está diretamente relacionado à granulometria predominante de agregados médios e grossos, com escassez de finos, condição que amplia o volume de vazios e potencializa a absorção de água. Tais resultados evidenciam não apenas a influência da composição granulométrica e do grau de carbonatação da cal residual, mas também a coerência entre o desempenho físico identificado e as práticas construtivas tradicionais da região de Ouro Preto, baseadas na utilização de argamassas porosas, compatíveis e duráveis;

e) Distribuição granulométrica: a análise granulométrica do agregado é fundamental para compreender a textura e o comportamento da argamassa. O ensaio indica que a areia natural total utilizada na reprodução do traço foi distribuída em frações granulométricas específicas, com predominância de partículas nas faixas de 1200  $\mu\text{m}$ , 600  $\mu\text{m}$  e 300  $\mu\text{m}$ . A presença majoritária de dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) na análise de FRX (50,580%) confirma que o agregado é composto principalmente por areias quartzosas. A heterogeneidade da microestrutura, com variações na distribuição e no tamanho dos agregados, observada na Micro-CT, é consistente com o uso de areias naturais e métodos de produção artesanais, onde a uniformidade perfeita não era alcançada. A granulometria do agregado, juntamente com a natureza do aglomerante, define as propriedades físicas e mecânicas da argamassa, influenciando diretamente sua trabalhabilidade, porosidade e resistência.

Destaca-se as significativas contribuições deste estudo para a área conservação do patrimônio edificado, particularmente no contexto brasileiro, pois, a identificação precisa do traço e dos materiais constituintes da argamassa original do Museu da Inconfidência fornece subsídios técnicos essenciais para a formulação de argamassas de reconstituição compatíveis. A compatibilidade, tanto física quanto química e mecânica, é um princípio fundamental na conservação, visando evitar patologias futuras e preservar a autenticidade material do bem cultural. O uso de argamassas modernas, especialmente as cimentícias, em substituição às formulações tradicionais à base de cal, tem sido associado a problemas como fissuras, destacamentos e degradação físico-química dos substratos, comprometendo a integridade e a autenticidade das edificações tradicionais. Ao caracterizar a argamassa original como predominantemente calcária e com agregados quartzosos locais, este trabalho oferece um

modelo para a replicação de materiais que respeitem as propriedades higrotérmicas e mecânicas do edifício tradicional, garantindo a durabilidade e a reversibilidade das intervenções.

Além disso, a metodologia empregada, que combinou diversas técnicas analíticas laboratoriais, serve como um referencial para futuras pesquisas em outros bens culturais. A integração dos resultados de ensaios como XRF, DRX, FTIR, Micro-CT, PAF, absorção de água, análise granulométrica e teor de aglomerante e agregado permitiu uma compreensão holística da composição e do comportamento da argamassa, demonstrando a importância de uma abordagem multidisciplinar na caracterização de materiais tradicionais. A capacidade de reproduzir o traço original em laboratório, como demonstrado pela produção dos corpos de prova, válida a aplicabilidade prática dos achados para o desenvolvimento de argamassas de restauro. Este conhecimento é vital para profissionais da conservação, arquitetos, engenheiros e restauradores, fornecendo-lhes as ferramentas necessárias para tomar decisões informadas e eticamente embasadas em projetos de intervenção no patrimônio cultural.

## REFERÊNCIAS

- AL SEKHANEH, W. et al. Use of ftir and thermogravimetric analysis of ancient mortar from the church of the cross in Gerasa (Jordan) for conservation purposes. **Mediterranean Archaeology and Archaeometry**. v. 20, n. 3, p. 159 - 174, Nov. 2020.
- ARAÚJO, C. M. **Caracterização de argamassas históricas**: estudo de caso da ponte da pedra lavrada. 2020. 46 f. (Monografia). Rio Grande do Norte: Universidade Federal Rural do Semi Árido, campus Angicos, Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/7071b120-35ca-4d7f-b1d4-e522a224d64d/content>. Acesso em: 13 ago. 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos - Preparo. Rio de Janeiro, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: agregados: argamassa e concreto endurecidos: determinação da absorção de água por imersão: índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9779**: argamassa e concreto endurecidos: determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13207**: Gesso para construção civil: requisitos. 2 ed. Rio de Janeiro, 2017.
- ADRIANO, P. Caracterização físico-química de argamassas antigas de revestimento em edifícios históricos. **Conservar Patrimônio**, Lisboa, n. 20, p. 47–56, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.14568/cp2014005>. Acesso em: 12 jul. 2025.
- ANDRADE, R. M. F. A criação do Museu da Inconfidência. **Revista do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional**, Rio de Janeiro: SPHAN, n. 6, p. 45–54, 1952.
- ANDRADE, R. M. F. Na inauguração do Museu da Inconfidência. Ouro Preto, p. 165, ago. 1944. In: CHAGAS, M. (Org.). Museus: antropofagia da memória e do patrimônio. **Revista do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional**. n. 31, p. 165, 2005. [http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/RevPat31\\_m.pdf](http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/RevPat31_m.pdf). Acesso em: 12 jul. 2025.
- BOSCH-REIG, F. et al. Quantification of minerals from ATR-FTIR spectra with spectral interferences using the MRC method. **Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc**. v. 181, p. 7-12, Jun. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1386142517301002>. Acesso em: 13 ago. 2025.

BRANDI, C. **Teoria da restauração**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2004. 146 p.

BRAGA, M. **Conservação e restauro: arquitetura brasileira**. Rio de Janeiro: Rio, 2003. 129 p.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Museus - Ibram. **Política Nacional de Museus**. Abril, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/museus/pt-br/assuntos/politicas-do-setor-museal/politica-nacional-de-museus>. Acesso em: 13 ago. 2025.

BRUSADIN, L. B. O Museu da Inconfidência em Ouro Preto (MG) e sua interface com o turismo, o patrimônio e a comunidade local. **Caderno Virtual de turismo**. Rio de Janeiro, v. 14, n.3, p.298 - 315, dez. 2014.

CALLISTER, W. D. **Fundamentos da ciência e engenharia de materiais**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

CANDEIAS, A. E. et al. Characterization of ancient mortars. Present methodology and future perspectives. **Workshop on Chemistry in the conservation of Cultural Heritage: present and future perspective**. Perugia, Chairmen of the European Research Councils' Chemistry Committees, p. 1-4, 2006. Disponível em: [http://conservarcal.Inec.pt/pdfs/YCW\\_candeias.pdf](http://conservarcal.Inec.pt/pdfs/YCW_candeias.pdf). Acesso em: 13 ago. 2025.

CONSELHO INTERNACIONAL DE MONUMENTOS E SÍTIOS ESCRITÓRIO (ICOMOS). II Conselho Internacional de Arquitetos e Técnicos dos Monumentos Históricos. **Carta de Veneza**. Carta internacional sobre conservação e restauração de monumentos e sítios. Mai. 1964. In: IPHAN. p. 1-4. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20de%20Veneza%201964.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2025

CHAGAS, M. Museus e patrimônios: por uma poética e uma política decolonial: Iphan 1937–2017. In: SCHLEE, A. R. (Org.). **Revista do patrimônio histórico e artístico nacional**. n. 35, p. 121, 2017. Disponível em: [http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/revpat\\_35.pdf](http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/revpat_35.pdf). Acesso em: 04 ago. 2025

COSTA, A. G. Pedras de Minas: usos históricos e contemporâneos. In: NETO, C. C.; GODOY, A. M.; MANTESSO-NETO, V. (org.). **Patrimônio em pedra**. São Paulo: Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 2021. p. 243-257.

DAMAS, A. L. et al. Characterisation of old azulejos setting mortars: a contribution to the conservation of this type of coatings. **Construction and Building Materials**, v. 171, p. 128-139, May 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061818305932>. Acesso em: 01 ago. 2025.

FALCÃO, S. L. T. G. **Caracterização das argamassas antigas da igreja do colégio de Portimão**. 2010. 107 f. Dissertação (Mestrado em Química Aplicada ao Patrimônio Cultural). Lisboa: Departamento de Química e Bioquímica, Universidade de Lisboa. Disponível em: [https://repositorio.ulisboa.pt/bitstream/10451/8849/1/ulfc104269\\_tm\\_Silvia\\_Falc%c3%a3o.pdf](https://repositorio.ulisboa.pt/bitstream/10451/8849/1/ulfc104269_tm_Silvia_Falc%c3%a3o.pdf). Acesso em: 01 ago. 2025.

GARDOLINSKI, E. F. C. **Interlayer grafting and delamination of Kaolinite**. 2005. 250 f. Thesis (Doctotal), Kiel: Faculty of Mathematics and Natural Sciences of the Christian-Albrechts-University, Jan. 2005. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/321907277>. Acesso em: 13 ago. 2025.

GENESTAR, C. et al. Analytical characterisation of ancient mortars from the archaeological Roman city of Pollentia (Balearic Islands, Spain). **Analytica Chimica Acta**. v. 557, n. 1–2, p. 373-379, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003267005017927>. Acesso em: 13 ago. 2025.

GOMES, J. B. **Argamassas antigas: caracterização e reconstituição**. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade do Minho, Guimarães, 2000.

GOMES, M. R. **Argamassas de cal aérea: caracterização e formulação de argamassas para restauro**. Lisboa: LNEC, 2000.

HAJJI, S. et al. Study of cadmium adsorption onto calcite using full factorial experiment design. **Desalination and Water Treatment**. v. 83, n. 1, p. 222-233, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1944398624115858>. Acesso em: 13 ago. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MUSEUS – IBRAM. **Guia do Museu da Inconfidência**. Ouro Preto: IBRAM, 2016.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL (IPHAN). **Iphan inaugura obras do Museu da Inconfidência e abre o 2º Fórum Nacional de Museus em MG**. In: IPHAN, ago. 2006. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/noticias/detalhes/1678/iphan-inaugura-obras-do-museu-da-inconfidencia-e-abre-o-2%C2%B0-forum-nacional-de-museus-em-mg>. Acesso em: 01 ago. 2025.

KANAN, L. H. **Argamassas na conservação do patrimônio cultural: orientações para intervenções em bens imóveis**. 2. ed. Rio de Janeiro: IPHAN, 2008. 72 p.

KANAN, M. I. **Manual de conservação e intervenção em argamassas e revestimentos à base de cal**. Brasília: IPHAN/Programa Monumenta, 2008. (Cadernos Técnicos, 8).

KANAN, V. C. **Manual de conservação e reconstituição de argamassas históricas**. São Paulo: Instituto do Patrimônio, 2008.

KRÓL, M. et al. IR spectroscopy studies of zeolites in geopolymeric materials derived from kaolinite. **Journal of Molecular Structure**. v. 1126, p. 200-206, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022286016301211>. Acesso em: 13 ago. 2025.

LE GUILLOU, F. et al. How does grinding affect the mid-infrared spectra of soil and their multivariate calibrations to texture and organic carbon? **Soil Research**. v. 53, n. 8, p. 913-921, Jan. 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/282420764>. Acesso em: 13 ago. 2025.

- LEITE, M. G. P.; FUJACO, M. A. G. A atividade de beneficiamento de quartzitos na cidade de Ouro Preto-Brasil: características gerais e principais impactos ambientais. **Econ. Soc. Territ**, Toluca, v. 13, n. 41, p. 227-243, abr. 2013. Disponível em: <[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-84212013000100008&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-84212013000100008&lng=es&nrm=iso)>. Acesso em: 20 ago. 2025.
- LEOPOLDINO, E. C. et al. Síntese do acetato de celulose a partir da bainha foliar da palmeira-real australiana. **Revista Técnico-Científica do IFSC**. v. 9, p. 11–23, abr. 2020.
- LEZZERINI, M. et al. Archaeometric study of mortars from the Pisa's Cathedral Square (Italy). **Measurement**, v. 126, p. 322–331, Out. 2018.
- LIMA, R. M. F. et al. Caracterização tecnológica de resíduos de pedreiras de quartzito da região de Ouro Preto/MG. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 60, n. 4, p. 663–668, out. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rem/a/BjXtbG6XwMKcJwB3Yc3KhHr/?lang=pt>. Acesso em: 20 ago. 2025.
- MAGALHÃES, M. B. **Caracterização físico-química de argamassas históricas: contribuições ao projeto de conservação do Solar do Barão de Suaçuí**. Ouro Preto: UFOP, 2018.
- MARTINS, R. B. Vila Rica, vila pobre: dilema de uma historiografia de aluvião. **História e Economia Revista Interdisciplinar**. v. 17, n. 2, p. 15-54, jun. 2016.
- MATEI, C. et al. Calcium carbonate as silver carrier in composite materials obtained in green seaweed extract with topical applications. **Journal of Sol-Gel Science and Technology**. v. 93, p. 315–323, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10971-019-05145-6#citeas>. Acesso em: 13 ago. 2025.
- MATTOS, C. A. B. de. Casa da Câmara e Cadeia de Vila Rica: arquitetura do poder. **Anais do Museu da Inconfidência**, Ouro Preto, v. 27, p. 73–92, 1976.
- MELELE, S. J. K. et al. Improvement of the reactivity of soda–lime–silica glass solution as a hardener for producing geopolymer materials. **SN Appl. Sci**. n. 1, p. 1208, Sep. 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-019-1242-5#citeas>. Acesso em: 13 ago. 2025.
- MENESES, U. P. de. **A invenção de Ouro Preto como cidade-museu**. 2001. Dissertação (Mestrado em História) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.
- MISIEWICZ, J. et al. Investigation of mortars from historical monuments of North-East Poland and assessment of compatibility between historic and restoration mortars. **Construction and Building Materials**. v. 474, n. 141075, p. 1-12, May. 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061825012231>. Acesso em: 06 ago. 2025.
- MOROPOULOU, A. et al. Investigation of the technology of historic mortars. **Journal of Cultural Heritage**. v. 1, n. 1, p. 45–58, 2000. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Asterios->

Bakolas/publication/223494508\_Investigation\_of\_the\_technology\_of\_historic\_mortars/links/5bcf28fc299b1a43d9b11e7/Investigation-of-the-technology-of-historic-mortars.pdf?\_sg%5B0%5D=started\_experiment\_milestone&origin=journalDetail&\_rtd=e30%3D. Acesso em: 06 ago. 2025.

MOTTA, E. V. **Caracterização de argamassas de edificações históricas de Santa Catarina**. Florianópolis, 2004. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

MUSEU da Inconfidência. In: ENCICLOPÉDIA. **Itaú Cultural de Arte e Cultura Brasileira**. São Paulo: Itaú Cultural, 2025. Disponível em: <http://enciclopedia.itaucultural.org.br/instituicoes/70104-museu-da-inconfidencia>. Acesso em: 01 ago. 2025.

NASCIMENTO-DIAS, B. L. et al. A utilização e a relevância multidisciplinar da fluorescência de raios X. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, n. 4, p. e4308, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/mJH5NgLXg7bTdX7TD7HWCyC/>. Acesso em: 05 ago. 2025.

NASCIMENTO, I. R. Q. S. et al. Avaliação do comportamento reológico de argamassa de revestimento por meio do ensaio de cisalhamento direto. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**. v. 10, n. 1, e17010111617, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/11617>. Acesso em: 5 ago. 2025.

OLIVEIRA, H. S.; PASSUELLO, A. C. **Caracterização de argamassas históricas: análise de trabalhos da região Nordeste do Brasil**. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2020.

OLIVEIRA, M. C. M.; PASSUELLO, L. C. Métodos de análise de argamassas antigas para intervenções compatíveis. **Revista CPC**, n. 30, p. 45–66, 2020.

OLIVEIRA, V.; PASSUELLO, A. Análise e caracterização de argamassas históricas: contribuições metodológicas para a conservação de edificações patrimoniais. **Revista de Arquitetura IMED**, Passo Fundo, v. 9, n. 1, p. 90–104, 2020. Disponível em: <https://seer.imed.edu.br/index.php/arquitetura/article/view/4332>. Acesso em: 12 jul. 2025.

PINHEIRO, A. C.; SILVA, M. L. V. A importância do Museu da Inconfidência para preservação e perpetuação da memória de Tiradentes. **Temporalidades. Revista Discente do Programa de Pós-Graduação em História da UFMG**. v. 6 (Suplemento, 2014) – Belo Horizonte: Departamento de História, FAFICH/UFMG, 2014. Alejandro de Campos Pinheiro

RIBEIRO, A. J. H. et al. Análise das propriedades da argamassa com diferentes teores de grafite por substituição parcial de cimento portland. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 6, p. 1-12, 2022.

RIBEIRO, N. P. Técnicas construtivas nas alvenarias históricas, no Brasil. Unidade 3, p. 51-93. In: BRAGA, M. **Conservação e restauro: arquitetura brasileira**. Rio de Janeiro: Rio, 2003. 129 p.

RODRIGUEZ-BLANCO, J. D. et al. The kinetics and mechanisms of amorphous calcium carbonate (ACC) crystallization to calcite, viavaterite. **Nanoscale**. v. 3, n. 1, p. 265-271, 2011. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2011/nr/c0nr00589d>. Acesso em: 13 ago. 2025.

SANTIAGO, E. M. A arquitetura do poder: as casas de câmara e cadeia no Brasil colonial. **Cadernos do IPHAN**, Rio de Janeiro: IPHAN, n. 44, p. 153–178, 2007. Disponível em: [http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/revpat\\_35.pdf](http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/revpat_35.pdf). Acesso em: 12 jul. 2025.

SHAHRAVAN, A. et al. Controlled manipulation of wetting characteristics of nanoparticles with dry-based plasma polymerization method. **Applied Physics Letters**. v. 101, n. 25, p. 1-5, Dec. 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/257952730>. Acesso em: 13 ago. 2025.

SILVA, A. S. et al. Caracterização de argamassas do conjunto monumental do Castelo de Viana do Alentejo. **Conservar Património**, Lisboa, n. 1, p. 21–32, 2005. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/5136/513653425003.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2025.

SILVA, R. R. C.; RIBEIRO, R. C. C. Metodologias disponíveis para cálculo do traço das argamassas históricas. **VIII Jornada do Programa de Capacitação Institucional – PCI/CETEM**, p. 120-127, out. 2019. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/2291/1/Rosana%20Elisa%20Copped%C3%AA%20Silva.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2025.

SOUZA, M. L. **Caracterização de argamassas históricas de conventos franciscanos do Estado de Pernambuco**. 2011, 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Recife: Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: [https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/5897/1/arquivo7572\\_1.pdf](https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/5897/1/arquivo7572_1.pdf). Acesso em: 04 ago. 2025.

TELES, C. D. M. **Inspeção de fachadas históricas: levantamento de materiais e danos de argamassa**. 2010. 321 f. Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo e área de concentração em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia). São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Disponível em: [https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-16062011-093105/publico/Tese\\_TELES\\_CDM.pdf](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-16062011-093105/publico/Tese_TELES_CDM.pdf). Acesso em: 13 ago. 2025.

TIRONI, A. et al. Thermal treatment of kaolin: effect on the pozzolanic activity. **Procedia Materials Science**. v. 1, n. 1, p. 343-350, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211812812000478>. Acesso em: 13 ago. 2025.

TRAVINCAS, R. et al. X-ray microtomography applied to mortars: review of microstructural visualization and parameterization. **Micron**. v. 164, n. 103375, p. 1-13, Jan. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968432822001718>. Acesso em: 05 ago. 2025.

URBANIÁK-DOMAGALA, W. The use of the spectrometric technique FTIR-ATR to examine the polymers surface. In: FARRUKH, M. A. Advanced aspects of spectroscopy. **InTech**, p. 98, Aug. 2012. Disponível

em:<https://books.google.com.br/books?id=ZOacDwAAQBAJ&lpg=PA85&ots=nMaFIFKo26&dq=URBANIAC-DOMAGALA%202012&lr&hl=pt-BR&pg=PA98#v=onepage&q=URBANIAC-DOMAGALA%202012&f=false>. Acesso em: 13 ago. 2025.

VEIGA, M. R. Comportamento de rebocos para edifícios antigos: exigências gerais e requisitos específicos para edifícios antigos. In: **Comunicação ao seminário sais solúveis em argamassas de edifícios antigos: danos, processos e soluções**. Lisboa: LNEC, p. 1-14. fev. 2005. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/895682850/Comportamento-Do-Reboco-Em-Edificios-Antigos>. Acesso em: 13 ago. 2025.

VEIGA, M. R. Argamassa de cal para conservação e reabilitação de edifícios: conhecimento consolidado e necessidade de intervenção. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 4, p. 85-96, out. 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/wKffwhKP8ZvjVjctsQ9ZyCJ/?lang=pt>. Acesso em: 12 jul. 2025.

VEIGA, M. R. et al. Compatible mortars for restoration of ancient buildings. **Materials Research**. v. 21, n. 4, p. e20170909, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000400295>. Acesso em: 12 jul. 2025.

VELOSA, A. L. **Caracterização e durabilidade de argamassas antigas: o caso das construções históricas portuguesas**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de Aveiro, 2006.

VELOSA, A. L. G. **Argamassas antigas: caracterização e contribuição para a formulação de argamassas de reparação**. 2006. 467 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Portugal: Universidade de Aveiro, 2006.

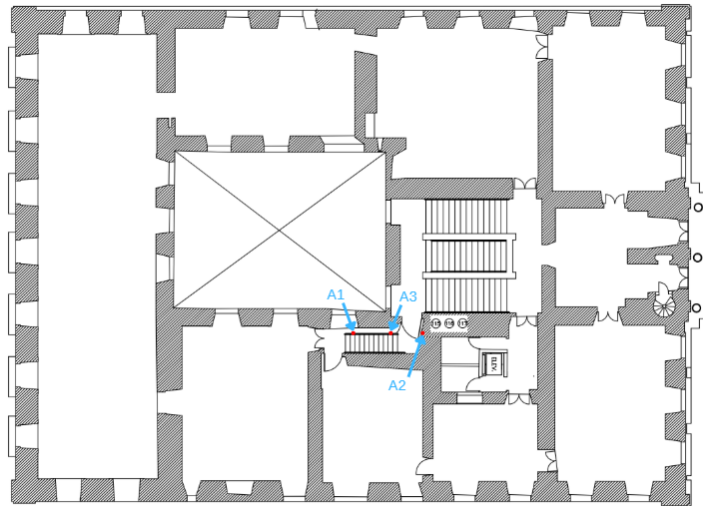
VENTOLÀ, L. et al. Traditional organic additives improve lime mortars: new old materials for restoration and building natural stone fabrics. **Construction and Building Materials**. v. 25, n. 8. p. 3313-3318, Ago. 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061811000663>. Acesso em: 12 jul. 2025.

YU, P. et al. Structure of calcium silicate hydrate (C-S-H): Near-, mid-, and far-infrared spectroscopy. **J. Am. Ceram. Soc.** v. 82, n. 3, p. 742–48, Mar. 1999. Disponível em: <https://ceramics.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1151-2916.1999.tb01826.x>. Acesso em: 13 ago. 2025.

YUNSHENG, Z. et al. Composition design and microstructural characterization of calcined kaolin-based geopolymer cement. **Applied Clay Science**. v. 47, n. 3-4, p. 271–275, Feb. 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169131709002981>. Acesso em: 13 ago. 2025.

## APÊNDICE 1 - Ficha de Coleta de Amostra de Argamassa do Museu da Inconfidência

### Trabalho de Campo



PLANTA BAIXA 2º PAVIMENTO

### 1. Identificação da Amostra

1.1 Código da Amostra: Amostra A1

1.2 Data da Coleta: 26 /06 /2025 Hora: 11:04

1.3 Responsável pela Coleta: Camila Lana

1.4 Local/Setor/Ambiente: 2º pavimento/circ.2

1.5 Identificação da Parede/Fachada: \_\_\_\_\_

### 2. Descrição da Argamassa

2.1 Tipo de Argamassa: Revestimento

2.2 Estado de Conservação: Bom

2.4 Descrição Macroscópica: \_\_\_\_\_

2.5 Presença de Sais, Fungos, ou Eflorescências? ( ) Sim ( x ) Não

2.6 Presença de trincas ou fissuras? ( ) Sim ( x ) Não

2.6 Características do Suporte (tipo de alvenaria): provavelmente pedra argamassada

2.7 Umidade Aparente: ( ) Seca ( x ) Úmida ( ) Muito Úmida

### 3. Descrição Ambiental

3.1 Condições Ambientais (vento, insolação, umidade do ar): ambiente fechado (sem ventilação), a posição estratigráfica da coleta da amostra não recebe insolação direta, umidade do ar no dia da coleta 52%.

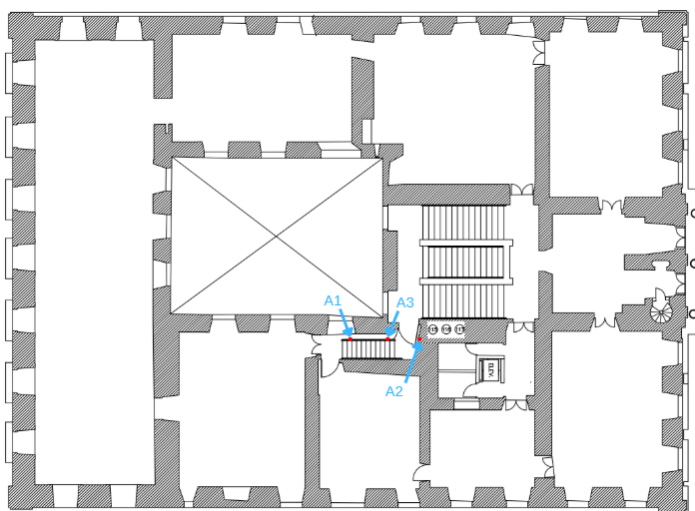
3.2 Incidência Solar Direta? ( ) Sim ( x ) Não

**3.3 Ventilação do Ambiente:** ( ) Boa ( ) Regular (x) Ruim

**3.4 Temperatura Aproximada:** 21°C

**3.5 Umidade Relativa Aproximada:** 52 %

**Ficha de Coleta de Amostra de Argamassa do Museu da Inconfidência  
Trabalho de Campo**



PLANTA BAIXA 2º PAVIMENTO

**1. Identificação da Amostra**

**1.1 Código da Amostra:** Amostra A2

**1.2 Data da Coleta:** 26 /06 /2025 **Hora:** 11:13

**1.3 Responsável pela Coleta:** Camila Lana

**1.4 Local/Setor/Ambiente:** 2º pavimento/circ.2

**1.5 Identificação da Parede/Fachada:** \_\_\_\_\_

**2. Descrição da Argamassa**

**2.1 Tipo de Argamassa:** Revestimento

**2.2 Estado de Conservação:** Bom

**2.4 Descrição Macroscópica:** \_\_\_\_\_

**2.5 Presença de Sais, Fungos, ou Eflorescências?** ( ) Sim ( x ) Não

**2.6 Presença de trincas ou fissuras?** ( ) Sim ( x ) Não

**2.6 Características do Suporte (tipo de alvenaria):** provavelmente pedra argamassada

**2.7 Umidade Aparente:** ( ) Seca ( x ) Úmida ( ) Muito Úmida

**3. Descrição Ambiental**

**3.1 Condições Ambientais (vento, insolação, umidade do ar):** ambiente fechado (sem ventilação), a posição estratigráfica da coleta da amostra não recebe insolação direta, umidade do ar no dia da coleta 52%.

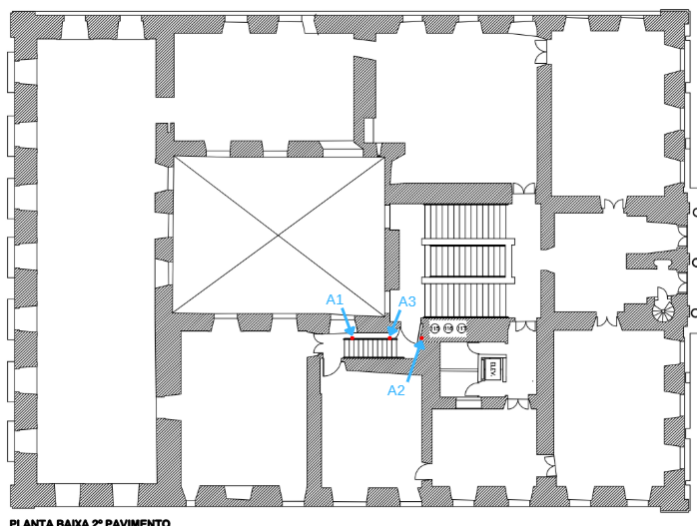
**3.2 Incidência Solar Direta?** ( ) Sim (x) Não

**3.3 Ventilação do Ambiente:** ( ) Boa ( ) Regular (x) Ruim

**3.4 Temperatura Aproximada:** 21°C

**3.5 Umidade Relativa Aproximada:** 52 %

### Ficha de Coleta de Amostra de Argamassa do Museu da Inconfidência Trabalho de Campo



#### 1. Identificação da Amostra

**1.1 Código da Amostra:** Amostra A3

**1.2 Data da Coleta:** 26 /06 /2025 **Hora:** 11:17

**1.3 Responsável pela Coleta:** Camila Lana

**1.4 Local/Setor/Ambiente:** 2º pavimento/circ.2

**1.5 Identificação da Parede/Fachada:** \_\_\_\_\_

#### 2. Descrição da Argamassa

**2.1 Tipo de Argamassa:** Revestimento

**2.2 Estado de Conservação:** Bom

**2.4 Descrição Macroscópica:** \_\_\_\_\_

**2.5 Presença de Sais, Fungos, ou Eflorescências?** ( ) Sim ( x ) Não

**2.6 Presença de trincas ou fissuras?** ( ) Sim ( x ) Não

**2.6 Características do Suporte (tipo de alvenaria):** provavelmente pedra argamassada

**2.7 Umidade Aparente:** ( ) Seca ( x ) Úmida ( ) Muito Úmida

**3. Descrição Ambiental**

**3.1 Condições Ambientais (vento, insolação, umidade do ar):** ambiente fechado (sem ventilação), a posição estratigráfica da coleta da amostra não recebe insolação direta, umidade do ar no dia da coleta 52%.

**3.2 Incidência Solar Direta?**  Sim  Não

**3.3 Ventilação do Ambiente:**  Boa  Regular  Ruim

**3.4 Temperatura Aproximada:** 21°C

**3.5 Umidade Relativa Aproximada:** 52 %

## ANEXO 1 - Resultado do XRF

Sample : AH CAMILA Gustavo  
 Operator:  
 Comment : Comment  
 Group : Analise ATive  
 Date : 2024-07-30 12:58:17

### Measurement Condition

```
-----
Instrument: EDX-720   Atmosphere: Vac.   Collimator: 10(mm)   Sample Cup:Polypropylene
-----
Analyte              TG kV   uA      FI      Acq. (keV)  Anal. (keV)  Time(sec)  DT(%)
-----
Ti-U                 Rh 50   59-Auto ----  0 - 40     0.00-40.00  Live-1200  40
Na-Sc                Rh 15   770-Auto ----  0 - 20     0.00- 4.40  Live-1200  39
-----
```

### Quantitative Result

```
-----
Analyte              Result              [3-sigma]  Proc.-Calc.  Line  Int. (cps/uA)
-----
SiO2                 50.580 %           [ 0.079]  Quan-FP     SiKa  3.3631
CaO                  38.554 %           [ 0.036]  Quan-FP     CaKa  9.0713
Fe2O3                8.639 %           [ 0.022]  Quan-FP     FeKa  18.5635
TiO2                 0.611 %           [ 0.020]  Quan-FP     TiKa  0.3544
K2O                  0.603 %           [ 0.010]  Quan-FP     K Ka  0.1280
SO3                  0.358 %           [ 0.008]  Quan-FP     S Ka  0.0542
SrO                  0.333 %           [ 0.002]  Quan-FP     SrKa  4.5397
ZrO2                 0.100 %           [ 0.002]  Quan-FP     ZrKa  1.3929
ZnO                  0.053 %           [ 0.002]  Quan-FP     ZnKa  0.2853
MnO                  0.047 %           [ 0.005]  Quan-FP     MnKa  0.0839
GeO2                 0.036 %           [ 0.002]  Quan-FP     GeKa  0.2255
CuO                  0.028 %           [ 0.003]  Quan-FP     CuKa  0.1258
SeO2                 0.020 %           [ 0.002]  Quan-FP     SeKa  0.1536
Y2O3                 0.017 %           [ 0.002]  Quan-FP     Y Ka  0.2273
Rb2O                 0.015 %           [ 0.002]  Quan-FP     RbKa  0.1970
NbO                  0.008 %           [ 0.001]  Quan-FP     NbKa  0.1326
-----
```