

Série Tecnologia Ambiental

Estudo das argamassas das fachadas da Catedral Presbiteriana do Rio de Janeiro

**Roberto Carlos da Conceição Ribeiro
Giovanna Oliveira dos Santos Consoli Louro
Leila Sabrina Fazolato de Aguiar
Ana Paula Tantos Costa
Rosana Elisa Coppedê Silva**

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

Estudo das argamassas das fachadas da Catedral Presbiteriana do Rio de Janeiro

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Luiz Inácio Lula da Silva

Presidente

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Luciana Santos

Ministra de Estado

Luis Manuel Rebelo Fernandes

Secretário Executivo

Isa Assef dos Santos

Subsecretaria de Unidades de Pesquisa e Organizações Sociais

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Silvia Cristina Alves França

Diretora

Robson Araujo D'Avila

Coordenador de Administração - COADM

Andréa Camardella de Lima Rizzo

Coordenadora de Planejamento, Gestão e Inovação - COPGI

Paulo Fernando Almeida Braga

Coordenador de Processamento e Tecnologias Minerais - COPTM

Marisa Nascimento

Coordenadora de Processos Metalúrgicos e Ambientais - COPMA

Leonardo Luiz Lyrio da Silveira

Coordenador de Rochas Ornamentais - CORON

Arnaldo Alcover Neto

Coordenador de Análises Minerais - COAMI

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

ISSN 0103-7374

STA - 143

Estudo das argamassas das fachadas da Catedral Presbiteriana do Rio de Janeiro

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Engenheiro Químico, D.Sc., Pesquisador do CETEM/MCTI

Giovanna Oliveira dos Santos Consoli Louro

Química, Mestranda em Geociências - UFRJ

Leila Sabrina Fazolato de Aguiar

Conservação e Restauração, bolsista BIC do CETEM

Ana Paula Tantos Costa

Arquiteta, M.Sc.

Rosana Elisa Coppedê Silva

Engenheira Geóloga, D.Sc., Pesquisadora colaboradora CETEM

CETEM/MCTI

2025

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

Editor: Flávio de Almeida Lemos

Subeditor: Antonieta Middea

CONSELHO EDITORIAL: Saulo Rodrigues P. Filho (UNB), Jorge Rubio (UFRGS), José Ribeiro Aires (CENPES), Luis Enrique Sánchez (EPUSP), Virginia Sampaio Ciminelli (UFMG), Luís Alberto Dantas Barbosa (UFBA), Ricardo Melamed (UNB), Marcello F. Veiga (University of British Columbia-Canadá), Bruce Marshall (University of British Columbia-Canadá).

Não existe uma definição única que se enquadre na ampla diversidade que o tema “Tecnologias Ambientais” abrange. Em primeiro lugar, o campo das Tecnologias Ambientais é caracterizado por um alto grau de diversidade e heterogeneidade. Em geral, o termo é usado para incluir tecnologias e aplicações que supostamente ajudam a reduzir o impacto negativo da atividade industrial e dos serviços, de usuários privados ou públicos, no meio ambiente. O conceito se refere, normalmente, a tecnologias "no final do processo" (end-of-pipe) integradas a tecnologias limpas e de recuperação de áreas contaminadas. No entanto, também pode abranger questões de sentido mais amplo, como monitoramento, medição, mudança de produtos ou gerenciamento de sistemas ambientais. As tecnologias ambientais são, portanto, de natureza interdisciplinar e podem ser aplicadas em qualquer etapa da cadeia produção-consumo. Tendo isso em mente, a *Série de Tecnologia Ambiental* tem por objetivo congregar especialistas, tais como: pesquisadores, tecnologistas, professores etc., do CETEM em particular, para que divulguem suas pesquisas em áreas tão diversas para servirem como estímulo para os novos e futuros pesquisadores.

There is no single definition that fits the wide diversity that the theme “Environmental Technologies” covers. First, the field of Environmental Technologies is characterized by a high degree of diversity and heterogeneity. In general, the term is used to include technologies and applications that are supposed to help reduce the negative impact of industrial activities and services, by private or public users, on the environment. The concept usually refers to technologies "at the end of the process" (end-of-pipe) integrated with clean technologies and recovery of contaminated areas. However, it can also cover broader issues such as monitoring, measuring, changing products or managing environmental systems. Environmental technologies are, therefore, of an interdisciplinary nature and can be applied at any stage of the production-consumption chain. Bearing this in mind, the “Environmental Technology Series” aims at bringing together specialists, such as: researchers, technologists, professors etc., from CETEM in particular, to disseminate their research in such diverse areas to serve as a stimulus for new and future researchers.

O conteúdo desse trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

Todos os direitos reservados.

Qualquer parte desta publicação pode ser reproduzida, desde que citada a fonte e atribuídos os devidos créditos. (Lei n. 9.610, de 19/2/1998)

Valéria Cristina de Souza
Diagramação e Editoração Eletrônica

André Luiz Costa Alves
Projeto Gráfico

Informações:

CETEM - Centro de Tecnologia Mineral
Av. Pedro Calmon, 900 - Cidade Universitária
21941-908 - Rio de Janeiro - RJ
Homepage: www.cetem.gov.br

CIP – Catalogação na Publicação

E82

Estudo das argamassas das fachadas da Catedral Presbiteriana do Rio de Janeiro / Roberto Carlos da Conceição Ribeiro [et al.] – Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2025.
69 p. - (Série Tecnologia Ambiental; 143).

ISBN 978-65-5919-063-8.

1. Catedral Presbiteriana, (Rio de Janeiro, RJ). 2. Argamassa – Estudos. 3. Suporte tecnológico. I. Ribeiro, Roberto Carlos da Conceição. II. Louro, Giovanna Oliveira S.C. III. Aguiar, Leila S.F. IV. Costa, Ana Paula Tantos. V. Silva, Rosana Elisa C. VI. Centro de Tecnologia Mineral. VII. Série.

CDD 693.5098161

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do CETEM/MCTI
Bibliotecário(a) Rosana Silva de Oliveira CRB7 – 5849

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	10
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Igreja Presbiteriana do Brasil	13
1.2 Catedral Presbiteriana do Rio de Janeiro	13
1.3 Argamassas	15
1.4 Suporte Tecnológico ao Restauro	18
2 OBJETIVO	20
3 MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1 Avaliação de Danos	27
3.2 Avaliação em Lupa Conta Fios	27
3.3 Fluorescência de Raios-X (FRX)	27
3.4 Difratometria de Raios-X (DRX)	28
3.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV/EDS)	28
3.6 Índices Físicos	29
3.7 Dureza Superficial	29
3.8 Cor e Brilho	30
3.9 Coleta de Sais e Sujidades	30
3.10 Determinação do Traço	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
4.1 Avaliação de Danos	37
4.2 Avaliação em Lupa Conta Fios	45
4.3 Caracterização Química	47

4.4 Caracterização Mineralógica	48
4.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV/EDS)	50
4.6 Índice Físicos	51
4.7 Dureza Superficial	53
4.8 Análise Colorimétrica	58
4.9 Coleta de Sais e Sujidades	59
4.10 Determinação do Traço	62
5. CONCLUSÕES	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

RESUMO

Criada na década de 1930, a Catedral Presbiteriana do Rio de Janeiro é considerada um marco histórico e arquitetônico do protestantismo no Brasil. Revestida em argamassas em suas 4 fachadas, a Catedral vem sofrendo ação das intempéries que aceleram seu processo de degradação, observando-se desprendimentos e quedas de partes de ornatos e rebocos de diversos trechos, tornando a mesma um ambiente inseguro para a utilização dos fiéis, sendo necessário um processo de restauração. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi realizar um estudo sobre o tipo de argamassas que compõem as fachadas, os tipos e causas de suas alterações. Para tal, fez-se uma avaliação dos danos principais, observação em lupa, caracterizações química (FRX) e mineralógica, observação em microscopia eletrônica de varredura, determinação de seus índices físicos, determinação da dureza, dos padrões colorimétricos, estudo das sujidades depositadas nas fachadas e, por fim, o traço de cada argamassa. Os resultados indicaram que a Catedral é revestida por argamassas contendo uma camada de reboco, constituído, em maior proporção, por pó de pedra, emboço, chapisco e tijolos. Tais argamassas vêm apresentando fissuras, rachaduras, fendas, perdas de massa, manchamentos, colonização biológica, crescimento de plantas e presença de crostas negras. As argamassas apresentam, em sua maior composição, a sílica (~60%), seguida de alumina (~10%) e cálcio (~10%). Os minerais proeminentes são quartzo, calcita, etringita, portlandita e biotita, este último muito bem distribuído no pó de pedra do reboco. A porosidade do reboco é, em média, 15% e do emboço chega a 30%. Já absorção de água do reboco é em média 7% e do emboço 15%. Há um ponto na fachada, voltada para Rua República do Paraguai, onde há uma grande fenda com percolação de água, afetando, gravemente, as condições da argamassa naquela região, inclusive adicionaram uma tela metálica para tentar impedir a expansão da argamassa, porém sem sucesso, visto o rompimento da tela. A dureza das argamassas

é condizente com argamassas sãs, chegando a 450 HLD. Porém, nas regiões de grandes fissuras e rachaduras encontrou-se o valor de 55 HLD indicando a total fragilidade das argamassas, que despencam das fachadas. A cor típica das argamassas é o cinza escuro, pois, mesmo após a limpeza o valor de luminosidade (L) apresentou valor de 57. Em pontos de crosta negra esse valor foi de 27.

Palavras-chave

Catedral Presbiteriana, argamassas, suporte tecnológico.

ABSTRACT

Built in the 1930s, the Presbyterian Cathedral of Rio de Janeiro considered a historical and architectural landmark of Protestantism in Brazil. Clad in mortar on its four facades, the Cathedral has been subjected to weathering, accelerating its degradation. Several sections of the cathedral have been experiencing detachment and falling of parts of the ornaments and plaster, making it an unsafe environment for worshippers, necessitating restoration. Therefore, the objective of this work was to study the type of mortar used on the facades, the types and causes of their deterioration. To this end, the main damages were assessed, along with magnifying glass analysis, chemical (XRF) and mineralogical characterizations, scanning electron microscopy, physical index determination, hardness determination, colorimetric patterns, and the soiling deposited on the facades. Finally, the composition of each mortar. The results indicated that the Cathedral covered with mortars containing a layer of plaster, composed largely of stone dust, plaster, roughcast, and bricks. These mortars have been exhibiting cracks, fissures, splits, mass loss, staining, biological colonization, plant growth, and the presence of black crusts. The mortars' composition is largely silica (~60%), followed by alumina (~10%) and calcium (~10%). The prominent minerals are quartz, calcite, ettringite, portlandite, and biotite, the latter very well distributed in the stone dust of the plaster. The porosity of the plaster averages 15% and that of the plaster reaches 30%. Water absorption of the plaster averages 7%, and that of the plaster, 15%. There is a point on the facade facing Republic of Paraguay Street, where there is a large crack with water seeping through, seriously affecting the mortar's condition. A metal screen was added to try to prevent expansion, but to no avail, as the screen ruptured. The hardness of the mortar is consistent with sound mortar, reaching 450 HLD. However, in areas of large fissures and cracks, a value of 55 HLD was found,

indicating the mortar's utter fragility, which causes it to fall off the facades. The typical color of the mortar is dark gray, as even after cleaning, the luminosity value (L) was 57. In areas of black crust, this value was 27.

Keywords

Presbyterian Cathedral, mortars, technological support.

1 | INTRODUÇÃO

1.1 | Igreja Presbiteriana do Brasil

A Igreja Presbiteriana do Brasil (IPB) é uma denominação protestante de orientação calvinista. Seu surgimento está diretamente ligado à atuação missionária do norte-americano Ashbel Green Simonton, que chegou ao Brasil em 1859 e, três anos depois, fundou a primeira igreja presbiteriana do país, a Igreja Presbiteriana do Rio de Janeiro. Inicialmente, por ser uma religião distinta da fé oficial do Império, o culto presbiteriano enfrentou resistência e foi realizado em locais improvisados ou alugados. Os primeiros encontros da congregação ocorreram em uma sala alugada na Travessa do Ouvidor, no centro da cidade do Rio de Janeiro. Posteriormente, passou por outros endereços como a Rua do Cano, Rua do Regente, Campo de Santana e Rua Conde d'Eu (atual Rua Frei Caneca), até se estabelecer, definitivamente, na Rua Silva Jardim, nº 23 (antiga Travessa da Barreira, nº 15), onde se localiza a atual sede da Catedral Presbiteriana do Rio de Janeiro (ROCHA, 2019).

1.2 | Catedral Presbiteriana do Rio de Janeiro

Segundo Rocha (2019), com o crescimento da comunidade presbiteriana na cidade, surgiu a necessidade de construir um novo templo. Em 1926, durante a instalação de um novo pastorado, foi iniciado o processo de idealização do atual edifício. O engenheiro e arquiteto militar Ascânio Vianna foi o responsável pela elaboração do projeto arquitetônico, que buscou inspiração em catedrais e igrejas da Europa e América do Norte, optando por um estilo neogótico. Inicialmente, o projeto previa a construção

de uma única torre com flecha, mas durante sua execução foram incorporadas duas torres simétricas e uma abside na extremidade posterior do templo. As obras foram oficialmente iniciadas em 2 de agosto de 1927, e a pedra fundamental foi lançada em 30 de outubro de 1928. A construção foi conduzida pela Construtora Adelino & Irmão. Embora inacabado, o templo foi inaugurado em 15 de maio de 1934. Em 1936, as torres frontais foram erguidas com perfis e chapas metálicas, tendo sido consideradas estruturas provisórias, por divergirem do projeto original.

Somente em julho de 1941 foram concluídas as obras da fachada, com a execução dos revestimentos, escadarias, balaustradas e demais elementos de acabamento. Em 1988, decidiu-se substituir os elementos metálicos provisórios das torres pelas flechas e florões em concreto armado conforme o desenho original de Ascânio Vianna. O novo projeto, elaborado pelo arquiteto e urbanista Josias Alves de Souza, teve sua execução iniciada em 1º de março de 1999 e finalizada em 31 de agosto do mesmo ano, com os ornatos e frisos da fachada sendo completados até o início do segundo semestre de 2002 (ROCHA, 2019).

A Catedral Presbiteriana do Rio de Janeiro (Figura 1) é considerada um marco histórico e arquitetônico do protestantismo no Brasil. O imóvel encontra-se sob tombamento provisório desde 11 de setembro de 2008, conforme processo E-18/001.590/2008 do Instituto Estadual do Patrimônio Cultural (INEPAC).



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Igreja_Presbiteriana_do_Rio_de_Janeiro.

Figura 1. Catedral Presbiteriana do Rio de Janeiro.

1.3 | Argamassas

A pasta de argamassa é um material trabalhável usado para unir blocos de alvenaria e preencher as lacunas entre eles. Tipicamente, a argamassa histórica é um composto, com ligante e agregado (CHIARI et al., 1992).

O gesso é um dos ligantes mais antigos usados pela humanidade, tendo sido empregado nas primeiras pirâmides egípcias e, recentemente, a presença de gesso foi relatada na maioria das amostras de uma igreja, fundada entre os séculos IV e V, no final do período em que Milão era a capital do Império Romano, argamassas com outros componentes, como cal e óleo de baleia, surgiram ao longo dos anos, melhorando, assim, as propriedades deste material (COMO et al., 2013; BERTOLINE et al., 2013; CHIARELLI et al., 2015; GLEIZE et al., 2009 e MARIA, 2010).

O uso da argamassa no Brasil é anterior à fundação da cidade de Salvador (Bahia) em 1549, assim como desde o período das Capitanias Hereditárias. Desde seu primeiro uso no Brasil, toda a cal era preparada a partir de pedras de lioz (calcários), como em Lisboa, fornecidas por Portugal. No entanto, fontes abundantes de corais foram descobertas ao longo do litoral brasileiro e logo serviram como um excelente substituto, gerando cal de alta qualidade (SANTIAGO, 2012).

A cal era o ligante mais comum e podia ser encontrada tipicamente em processos de construção, manufatura e revestimento de materiais até o início do século XIX. A partir deste período, com a descoberta do cimento Portland, o ligante caiu em desuso, em detrimento de algumas vantagens oferecidas pelo cimento, como endurecimento rápido, alta resistência mecânica e a possibilidade de uso associado ao aço na produção de elementos estruturais como lajes, vigas e pilares (SANTIAGO, 2012).

As argamassas são compostas essencialmente por dois elementos principais: o aglomerante e o agregado, podendo eventualmente incluir aditivos. Historicamente, foram utilizados diversos tipos de agregados e aditivos, refletindo a diversidade de materiais e

técnicas construtivas disponíveis em diferentes períodos e regiões. Além de sua função estrutural, as argamassas são valiosas devido ao seu registro histórico, pois preservam informações sobre a tecnologia construtiva, os métodos empregados e os materiais utilizados nas edificações. Por essa razão, sua preservação é fundamental, tanto para a conservação do patrimônio quanto para servir de referência na formulação de argamassas de reconstituição (KANAN, 2008).

De acordo com Kanan (2008), em intervenções de conservação, deve-se priorizar ações pontuais e localizadas, evitando a remoção e substituição integral das argamassas. Muitas vezes, os sinais de degradação são superficiais e podem ser tratados por meio de limpeza, consolidação, preenchimento de lacunas ou reparo de fissuras, evitando intervenções mais invasivas e irreversíveis.

Quando a substituição parcial ou total de argamassas, rebocos ou acabamentos se torna necessária, não é obrigatório que os novos materiais sejam idênticos aos originais. O mais importante é garantir a compatibilidade físico-química e estética com os materiais existentes, especialmente com o substrato e demais elementos em contato direto com a nova argamassa. Dessa forma, a escolha dos materiais e técnicas de intervenção deve considerar não apenas as propriedades dos materiais antigos e seu estado de conservação, mas também as condições econômicas, a mão de obra disponível e os recursos locais, sempre com o objetivo de preservar a integridade e autenticidade das alvenarias históricas (KANAN, 2008).

1.4 | Suporte Tecnológico ao Restauro

Estruturas localizadas em áreas abertas, como é o caso da Catedral Presbiteriana do Rio de Janeiro, estão constantemente expostas a agentes físicos, químicos e biológicos, que degradam progressivamente os materiais construtivos, comprometendo suas propriedades estruturais e sua integridade estética. Nesse contexto, o uso de tecnologias aplicadas ao restauro como análises físico-químicas dos materiais e ensaios não destrutivos, auxiliam na compreensão do estado de conservação dessas edificações, de modo a contribuir para a definição de intervenções mais precisas, seguras e compatíveis com os princípios da conservação patrimonial.

A caracterização das argamassas é muito importante, pois possibilita a futura preparação de argamassas de restauração com propriedades semelhantes às originalmente utilizadas na construção de edifícios históricos. Diversos locais no mundo já tiveram suas argamassas caracterizadas, incluindo aquelas do período bizantino, do século VI ao X, Bakolas et al., 1998.

Muitas técnicas têm sido aplicadas com sucesso na caracterização de argamassas como, por exemplo, difração de raios X (MOROPOULOU, 1995), observação macroscópica (LEZZERINI et al., 2014), petrografia (LEONE et al., 2016), análise física (LEZZERINI et al., 2014), espectroscopia no infravermelho (MOROPOULOU, 1995), análise química (MARTÍNEZ et al., 2013), análise termogravimétrica (TG-DTG) (MOROPOULOU, 1995; LEZZERINI et al., 2014), ensaios mecânicos (MOROPOULOU et al., 2003) e granulometria (BAKOLAS et al., 1998).

As argamassas antigas são de alta complexidade, no campanário da igreja de Santa Maria Madalena, no Convento de Nossa Senhora da Consolação em Alcalá de Henares construído por volta de 1672, as características físico-químicas da argamassa original usada durante a construção da estrutura foram aplicadas como um primeiro passo antes do processo de intervenção. Devido ao mau estado de conservação da estrutura, uma análise exaustiva de danos foi aplicada à estrutura usando, entre outros, termografia infravermelha. A caracterização mecânica também foi necessária para determinar a estabilidade estrutural do elemento e a coesão e resistência dos materiais originais. A caracterização da argamassa foi realizada usando técnicas de análise complementares e a conjunção dos resultados obtidos permite a determinação do tipo de ligante, possíveis degradações da argamassa e outras características, permitindo a seleção do material de reparo mais adequado para o processo de intervenção e corroborando a importância do suporte tecnológico na recuperação das argamassas de bens tombados.

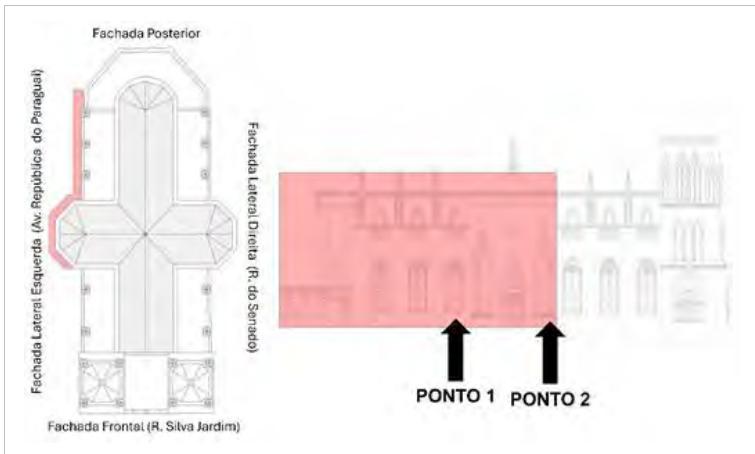
2 | OBJETIVO

A pesquisa teve como objetivo a caracterização tecnológica das argamassas da Catedral Presbiteriana do Rio de Janeiro, a fim de compreender a sua composição, bem como as possíveis causas das alterações observadas, fornecendo suporte tecnológico para ações de conservação e restauro.

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

Foram coletas amostras de argamassas (reboco e emboço) das 4 fachadas da catedral em 8 pontos diferentes para realização de avaliação laboratorial, bem como da coleta de águas de lavagem das paredes para verificação das sujidades depositadas. Além disso, foram realizados ensaios *in situ* de colorimetria e dureza, além da avaliação de danos.

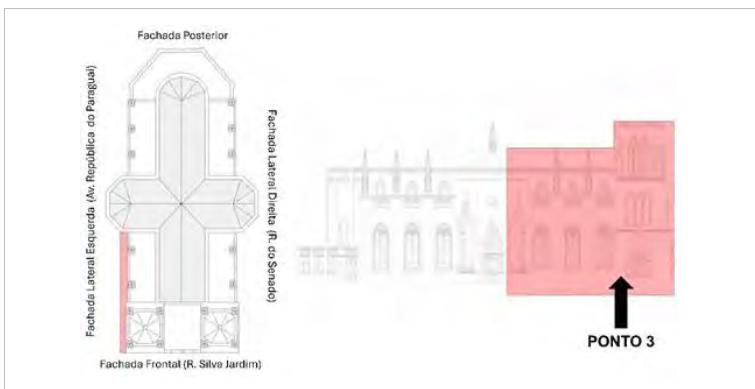
Os pontos 1 e 2 (Figura 2), estão situados na fachada lateral esquerda da Catedral, voltada para a Rua República do Paraguai.



Fonte: Adaptada de Kroy Engenharia (2025).

Figura 2. Localização dos Pontos 1 e 2.

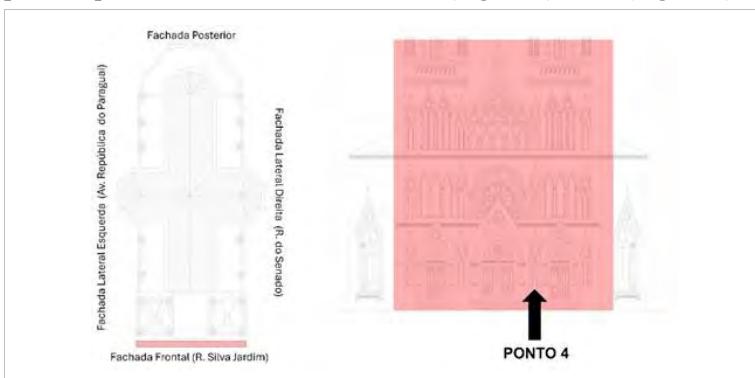
O ponto 3 também se encontra localizado na fachada lateral esquerda da Catedral, voltada para a Rua República do Paraguai, porém numa região mais próxima da fachada frontal (Figura 3).



Fonte: Adaptada de Kroy Engenharia (2025).

Figura 3. Localização do Ponto 3.

O ponto 4 (Figura 4), está localizado na fachada frontal da Catedral, voltada para a Rua Silva Jardim. Observou-se, no entanto, que havia diferenças visuais entre argamassas presentes nesse ponto, sugerindo o uso de composições distintas. Diante disso, optou-se por coletar amostras em diferentes regiões desse ponto, que foram nomeadas como 4.1 (Figura 5) e 4.2 (Figura 6).



Fonte: Adaptada de Kroy Engenharia (2025).

Figura 4. Localização do Pontos 4.



Figura 5. Ponto 4.1 – localizada na fachada frontal da Igreja.

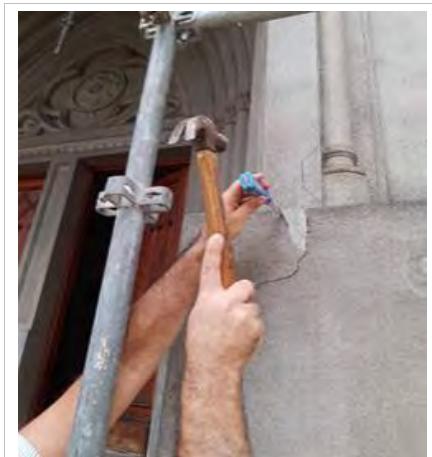
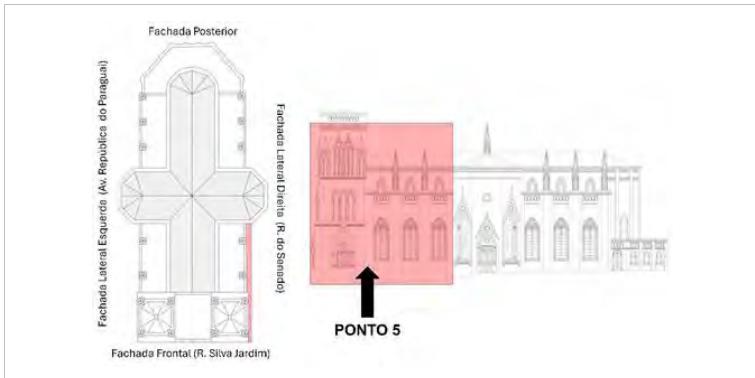


Figura 6. Ponto 4.2 – retirada de amostra em área com argamassa de aspecto diferente.

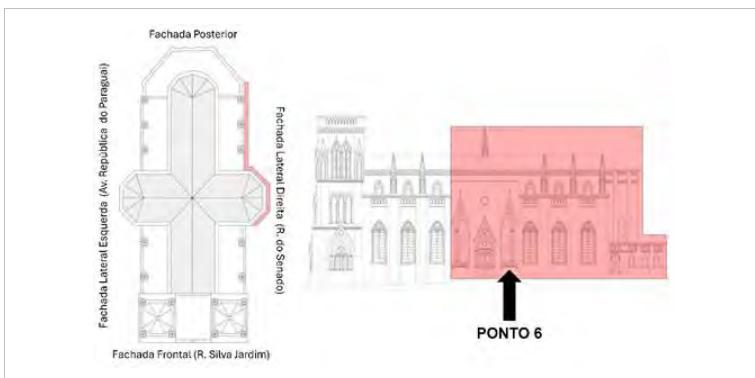
O ponto 5 está situado na fachada lateral direita da Catedral, voltada para a Rua do Senado, em uma área próxima à fachada frontal (Figura 7).



Fonte: Adaptada de Kroy Engenharia (2025).

Figura 7. Localização do Ponto 5.

O ponto 6, Figura 8, está localizado na fachada lateral direita da Catedral, voltada para a Rua do Senado como observado na Figura 9.



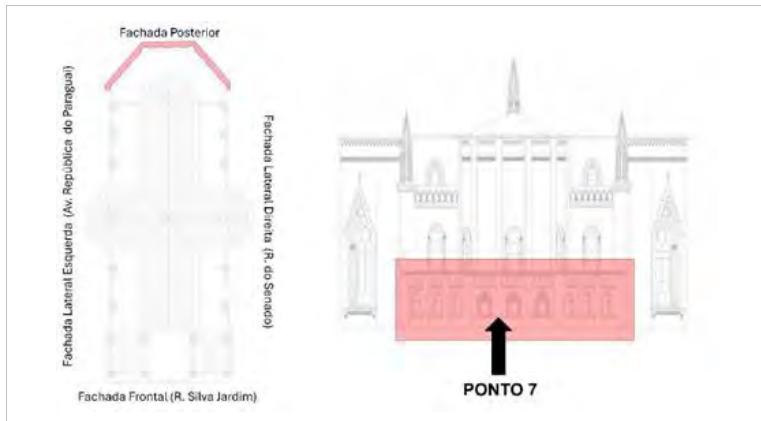
Fonte: Adaptada de Kroy Engenharia (2025).

Figura 8. Localização do Ponto 6.



Figura 9. Retirada de amostra de argamassa do Ponto 6.

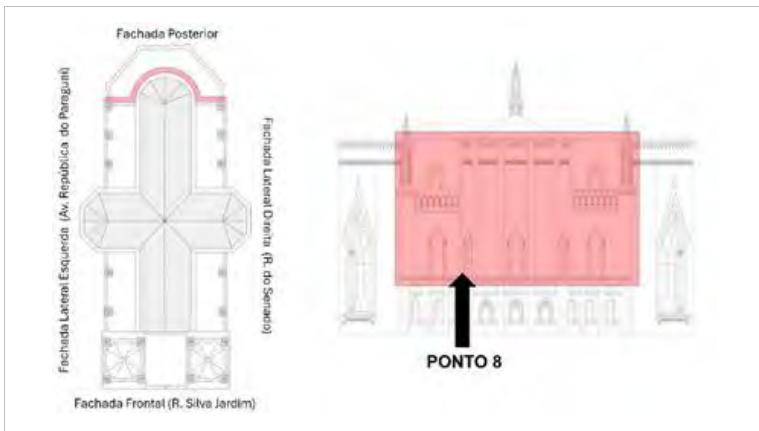
O ponto 7, (Figura 10), corresponde à fachada posterior da Catedral, localizada no andar térreo.



Fonte: Adaptada de Kroy Engenharia (2025).

Figura 10. Localização do Ponto 7.

O ponto 8, (Figura 11), está situado na fachada posterior da Catedral, no andar superior como indica a Figura 12.



Fonte: Adaptada de Kroy Engenharia (2025).

Figura 11. Localização do Ponto 8.



Figura 12. Retirada de amostra de argamassa do Ponto 8.

3.1| Avaliação de Danos

A avaliação dos danos da Catedral se baseou no glossário do ICOMOS (Conselho Internacional de Monumentos e Sítios), que apresenta uma lista de termos técnicos específicos relacionados à conservação e proteção do patrimônio cultural, comumente utilizado por profissionais da área, pesquisadores e estudantes.

3.2| Avaliação em Lupa Conta Fios

Avaliou-se as amostras em secção transversal e frontal em lupa conta fios para verificação das camadas constituintes da argamassa e da distribuição geral dos minerais.

3.3| Fluorescência de Raios-X (FRX)

A caracterização química por fluorescência de raios X (FRX) consiste em uma técnica que permite identificar e quantificar os elementos presentes em uma amostra por meio da análise da intensidade dos raios X emitidos quando a amostra é excitada por partículas ou radiação eletromagnética. Os resultados são expressos em porcentagem de óxidos normalizados a 100%, além da determinação da perda por calcinação (PPC). Para a obtenção da PPC, cerca de 0,2000 g da amostra foram pesadas em cadiinhos e submetidas a um forno mufla a 1000°C por 16 horas. Em seguida, aproximadamente 5 g da amostra foram secas em estufa a 105°C, resfriadas e desagregadas manualmente com gral e pistilo de ágata. A preparação das pastilhas para análise envolveu a mistura da amostra com ácido bórico (H_3BO_3) na proporção de 1:0,3, que atuou como aglomerante, seguida de prensagem automática a 20 toneladas por 30 segundos, utilizando um molde

de 20 mm. Finalmente, as pastilhas foram analisadas no espectrômetro de fluorescência de raios X (modelo AXIOS MAX). Os teores apresentados correspondem à média de três leituras, obtidas por análise semiquantitativa (*standardless*).

3.4 | Difratometria de Raios-X (DRX)

As amostras de argamassa destinadas à análise por Difratometria de Raios-X (DRX) foram preparadas por meio do peneiramento do material em malha de 106 µm. A fração retida foi pulverizada manualmente em gral e pistilo de ágata, garantindo a homogeneização da amostra. Em seguida, o material peneirado foi acondicionado em um amostrador com auxílio de um gabarito e submetido à análise no equipamento *Bruker D4 Endeavor*, utilizando o método do pó. As condições operacionais empregadas foram: radiação CoK α (40 kV / 40 mA), velocidade do goniômetro de 0,02° (20) por passo, tempo de contagem de 0,5 segundos por passo, com varredura no intervalo de 4° a 80° (20) e uso do detector de posição *LynxEye*. A interpretação qualitativa dos difratogramas foi realizada com base no banco de dados PDF, por meio do software *Bruker DifracPlus*.

3.5 | Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV/EDS)

O microscópio eletrônico de varredura (MEV) associado à energia dispersiva (EDS), possibilita a caracterização semiquantitativa da composição elementar das amostras, permitindo a identificação dos elementos químicos presentes na amostra. As amostras de argamassa das fachadas foram examinadas por meio do microscópio eletrônico de varredura *Hitachi TM 3030Plus*,

equipado com um espectrômetro de raios X dispersivo de energia *Bruker X-Flash*, que conta com detector *MIN SVE* e gerador de varredura integrado.

3.6 | Índices Físicos

A análise foi conduzida a partir de fragmentos de argamassa coletados nas fachadas da Catedral. Essas amostras foram submetidas a uma saturação gradual com água destilada, em intervalos de 4 horas. Após 48 horas de saturação, foram determinadas as massas saturada e submersa, obtendo-se três medições consecutivas para cada condição. Em seguida, as amostras passaram por secagem em estufa a aproximadamente 70°C durante 24 horas, até que o peso seco alcançasse estabilidade, com variação inferior a 0,1%, conforme estabelecido pela norma ABNT NBR 15845/2010.

3.7 | Dureza Superficial

O ensaio de dureza superficial, pelo método Leeb, é um teste que mede a resistência do material com base na velocidade de impacto e de rebote, quando o corpo de impacto está posicionado a cerca de 1 mm da superfície avaliada. Essa medição reflete as propriedades elásticas e plásticas do material, uma vez que a interação entre o corpo de impacto e a superfície determina a quantidade de energia absorvida. O valor obtido é expresso na escala HLD (*Hardness Leeb*), própria desse método. Para a realização dos testes, utilizou-se um durômetro portátil modelo Equotip, da marca Proceq, equipado com sonda do tipo D.

3.8 | Cor e Brilho

O ensaio foi realizado utilizando um colorímetro portátil de modelo Spectro Guide Sphere Gloss TR220 da marca BYK para determinação dos valores nos eixos **a**, **b** e **L**. Os resultados de coloração devem ser interpretados segundo a distribuição espacial das cores como indicado na Figura 13. Verifica-se que os materiais apresentam 3 valores dispostos nos eixos **a**, **b** e **L**. O eixo **a** indica a variação de cor do verde (**-a**) ao vermelho (**+a**), o eixo **b** indica a variação de cor do azul (**-b**) ao amarelo (**+b**), e o eixo **L** de luminosidade, indica a variação do branco (100) ao preto (0).

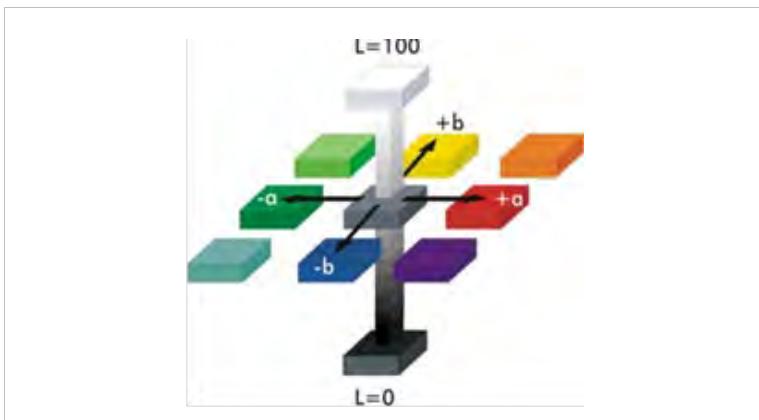


Figura 13. Determinação espacial das cores, nos eixos **a**, **b** e **L**.

3.9 | Coleta de Sais e Sujidades

A técnica de coleta de sais e sujidades tem como objetivo identificar os impactos de fatores ambientais, como o intemperismo químico e a salinidade, e de fatores antrópicos, como a deposição de poluentes atmosféricos oriundos da emissão de gases resultantes da queima de combustíveis fósseis.

O ensaio foi conduzido a partir da água de lavagem das fachadas da Catedral. Para a coleta, as superfícies das fachadas foram higienizadas com água deionizada, aplicada por meio de um pisseite, enquanto escovas de cerdas macias auxiliaram na remoção dos depósitos superficiais, como pode ser observado na Figura 2A e B. O líquido resultante da lavagem (Figura 12) foi coletado em frascos estéreis de polipropileno e, posteriormente, submetido a análises laboratoriais utilizando espectrometria de absorção atômica com chama e cromatografia iônica, com o intuito de identificar e quantificar os íons presentes nas amostras.



Figura 14. (A) Procedimento de coleta de sais e sujidades, (B) sujidade.

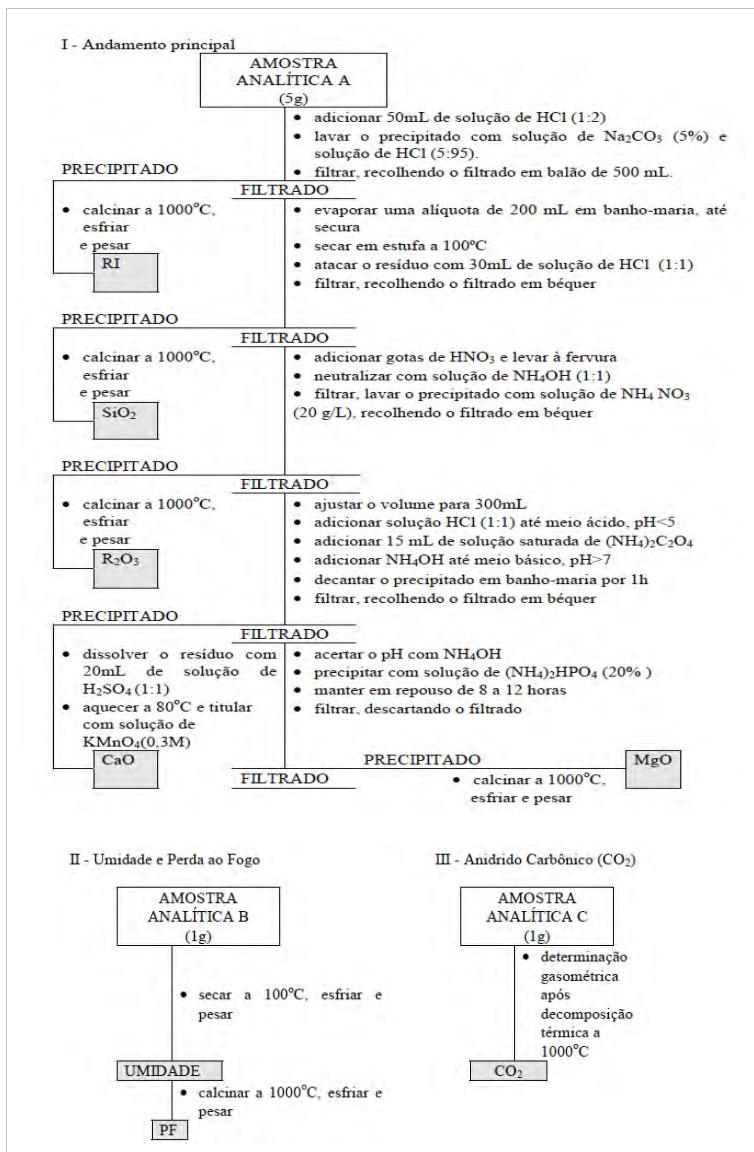
3.10 | Determinação do Traço

O método de reconstituição do traço de argamassa será utilizado, o qual foi desenvolvido originalmente no IPT como apresentado no fluxograma abaixo.

O método de reconstituição de traço, desenvolvido originalmente no IPT para concretos, tem sido utilizado para argamassas, com algumas adaptações; baseia-se no princípio de que a argamassa, ao ser atacada com ácido clorídrico, dá origem a duas frações distintas: uma insolúvel e outra solúvel. Para argamassas convencionais de cimento Portland, cal hidratada e agregado quartzoso, a fração solúvel é composta essencialmente pelos aglomerantes e a fração insolúvel é constituída pelo agregado. Temos ainda uma terceira fração volátil, que permite quantificar as reações ocorridas após a aplicação da argamassa.

Assim sendo, o método prevê as determinações quantitativas do agregado na forma de resíduo insolúvel (RI) e dos aglomerantes na forma de seus íons principais e comuns solubilizados, cujos resultados são expressos na forma dos óxidos correspondentes: anidrido silícico (SiO_2), óxido de cálcio (CaO), óxido de magnésio (MgO) e óxidos de ferro e alumínio (R_2O_3). Na fração volátil determina-se a umidade (UM), perda ao fogo (PF) e anidrido carbônico (CO_2).

A sub-amostra separada por quarteamento é moída até granulometria inferior a 0,84mm (# ABNT n° 20) e separada em amostras analíticas para os diferentes ensaios químicos.



Com base nos dados da análise química calcula-se a proporção aglomerante: agregado, isto é, o traço da argamassa em massa, que poderá ser convertido em volume a partir das massas unitárias dos materiais empregados. A determinação do teor de um constituinte da argamassa, que provém exclusivamente do agregado ou do aglomerante, permite estimar, através de cálculo, a relação aglomerante: agregado presente na mesma.

O roteiro de cálculo a ser adotado depende do conhecimento da composição dos materiais empregados. Quando não se dispõe da composição química destes, torna-se necessário assumir valores médios de composição química de amostras de referência.

Os resultados da análise química são recalculados na base de material não volátil, isto é, excluindo o valor da perda ao fogo até 1000°C, ou seja, água livre, água combinada e anidrido carbônico dos materiais empregados ou incorporados à argamassa na evolução do processo de endurecimento. Justifica-se este artifício de cálculo para permitir a obtenção dos teores de materiais originalmente utilizados na confecção da argamassa: anidros e não carbonatados.

Com os valores na base não volátil (NV) e admitindo-se o teor de resíduo insolúvel como sendo a fração agregado (areia), e os óxidos restantes solubilizados como sendo a fração aglomerante (cimento e/ou cal), são calculadas as respectivas proporções percentuais, em referência aos materiais empregados, bem como o traço. Para calcular os constituintes da argamassa, tem-se o seguinte procedimento:

- a) teor de agregado: é o teor de resíduo insolúvel da argamassa expresso na base não volátil (%RI(ARG,NV));
- b) teor de cimento: primeiramente é calculado na base não volátil (%Cim(ARG,NV)), a partir da sílica solúvel da argamassa (% SiO₂(ARG,NV)) e da sílica solúvel do cimento empregado (% SiO₂(CIM,NV)), como indica a equação 1:

$$\%Cim_{(ARG,NV)} = (\%SiO_2_{(ARG,NV)} \cdot 100) / (\%SiO_2_{(CIM,NV)}) \quad (1)$$

Para se obter o teor de cimento originalmente dosado (%Cim(ARG,OR)), corrige-se o calculado na base não volátil, acrescentando a perda ao fogo do cimento empregado (%PF(CIM)), por meio da equação 2:

$$\%Cim_{(ARG,OR)} = (\%Cim_{(ARG,NV)} \cdot 100) / (100 - \%PF_{(CIM)}) \quad (2)$$

Quando o cimento não é conhecido, adota-se para a perda ao fogo o valor máximo especificado em norma ou de algum cimento de referência escolhido.

- c) *teor de cal*: primeiramente é calculado o teor de cal na base não volátil, expresso como cal virgem, (%CV). Este pode ser calculado de duas maneiras:

1ª alternativa: A partir dos teores de agregado e cimento, o teor de cal virgem é obtido por diferença do total (100% do total), como indica a equação 3:

$$\%CV = 100 - (\%Cim_{(ARG,NV)} + \%RI_{(ARG,NV)}) \quad (3)$$

2^a alternativa: A partir do teor de óxido de cálcio da argamassa (%CaO_(ARG,NV)), descontando-se o CaO proveniente do cimento (%CaO_(CIM,NV)), como indica a equação 4:

$$\%CV = (\%CaO_{(ARG,NV)} - \%CaO_{(CIM,NV)}) \cdot \%Cim_{(ARG,NV)} \\ .100/\%CaO_{(CAL,NV)} \quad (4)$$

Para se obter o teor de cal hidratada originalmente empregada (%Cal_(ARG,OR)), corrige-se o teor de cal calculado na base não volátil, em função da perda ao fogo da cal original (%PF_(CAL)), como indica a equação 5:

$$\%Cal_{(ARG,OR)} = \%CV / 100 - \%PF_{(CAL)} \quad (5)$$

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 | Avaliação de Danos

Os principais danos observados na Catedral são crostas negras, presença de fezes de pombos e morcegos, quantidade substancial de fissuras e trincas e, em alguns casos mais graves, a presença de fendas. Há presença de colonização microbiológica, surgimento de vegetação, perdas de massa e manchamentos.

Na Figura 15, identificaram-se inúmeras fissuras, distribuídas tanto no reboco quanto nos elementos ornamentais, sugerindo um quadro mais avançado de degradação estrutural.



Figura 15. Fissuras e trincas na fachada (ponto 2).

Na Figura 16, foram observadas rachaduras bastante extensas, já consideradas como fendas, segundo glossário ICOMOS. Nas Figuras 17 e 18 pode-se observar com mais detalhe o ponto da fenda, onde se percebe a colocação de uma tela metálica (Figura 17) usada na tentativa de conter a expansão da argamassa, porém sem sucesso. Já na Figura 18 observa-se a maior abertura da fenda, podendo-se enxergar completamente os tijolos da fundação da Catedral.

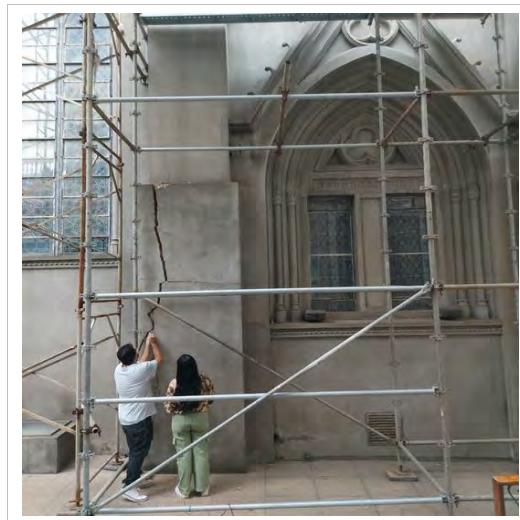


Figura 16. Fendas observadas no Ponto 3.



Figura 17. Tela metálica aplicada na argamassa da fachada lateral da Igreja.



Figura 18: Verificação da fenda localizada no ponto 3.

São observadas quantidades substancialmente maiores de trincas e crostas negras como indicam as Figuras 19 e 20.

Já nas Figuras 21 e 22, além da presença de fissuras e crostas negras observa-se o crescimento de plantas na fachada.



Figura 19. Fissura e crosta negra observada na fachada posterior no andar térreo da Catedral.



Figura 20. Observação de crosta negra.

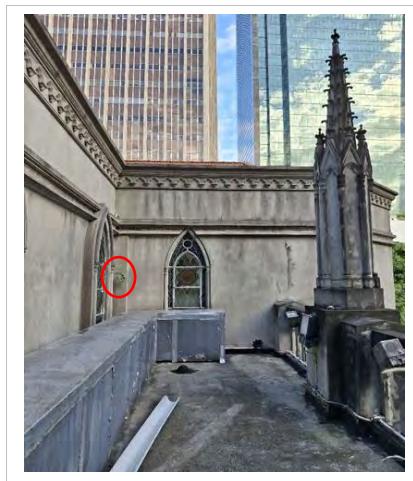


Figura 21. Presença de crostas negras, trincas, fissuras e crescimento de vegetação.



Figura 22. Presença de crostas negras, trincas, fissuras e crescimento de vegetação.

Nas Figuras 23 e 24 observam-se, respectivamente, manchamentos e perda de massa. Nas Figuras 25 e 26 pode-se observar as diferenças colorimétricas presentes na fachada principal, devido às intervenções anteriores, com utilização de cimento de colorações diferentes, falta de aplicação de pó de pedra etc. Nas Figuras 27 e 28 observam-se, mais uma vez, a presença de fissuras e perdas de massa.



Figura 23. Presença de crostas negras e manchamentos.

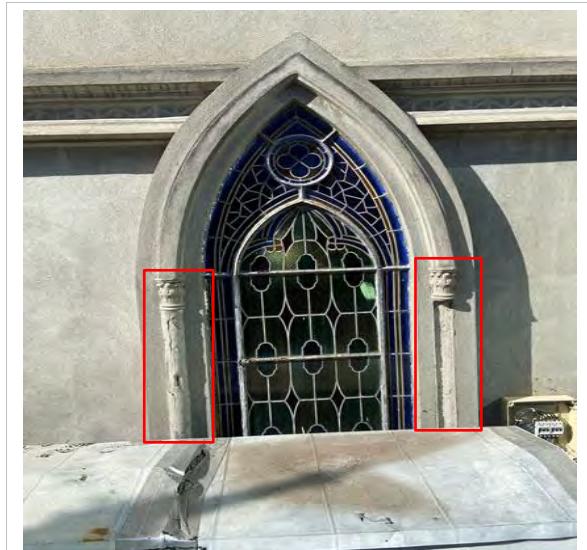


Figura 24. Presença de perdas de massa.



Figura 25. Alterações cromáticas na fachada principal.



Figura 26. Alterações cromáticas na fachada principal.

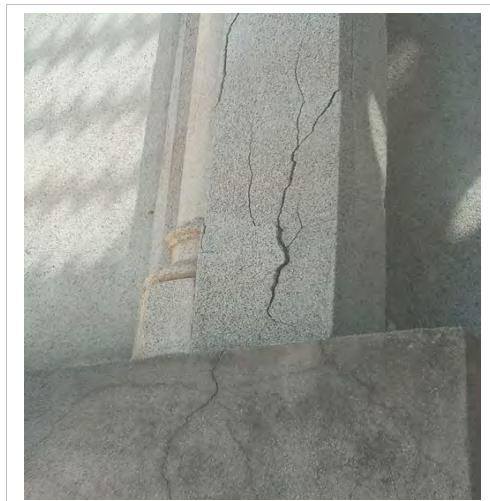


Figura 27. Presença de fissuras e perdas de massa.

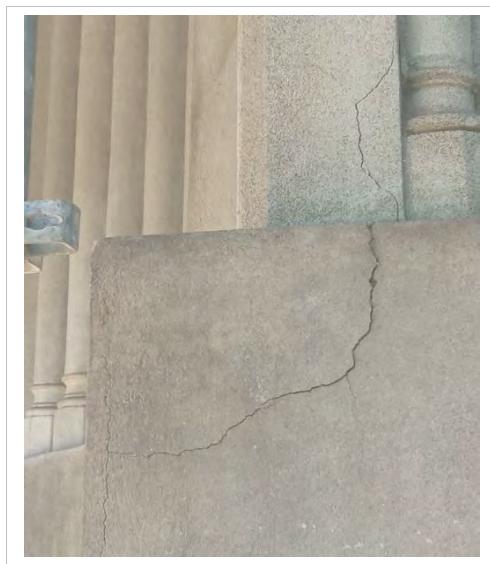


Figura 28. Presença de fissuras e perdas de massa.

4.2 | Avaliação em Lupa Conta Fios

Na Figura 29 pode-se observar a secção transversal do conjunto completo das argamassas encontradas na igreja. Observa-se claramente uma camada de reboco, formada por pó de pedra, uma camada de emboço, seguido de uma nata de cimento (chapisco) e o tijolo de assentamento.

Já na Figura 30 observa-se com mais detalhes o reboco, onde se verifica claramente a homogeneidade da amostra e dispersão das biotitas (pontos pretos brilhantes) na matriz do pó de pedra que compõe todo reboco da igreja. Na Figura 31, destaca-se o trecho da Catedral no ponto de coleta 3, onde há uma imensa fenda e a presença de uma tela metálica que já arrebentou uma vez que não está suportando a “movimentação” dessa região. Nota-se a presença de areia e cimento e também partes da tela metálica arrebentada.

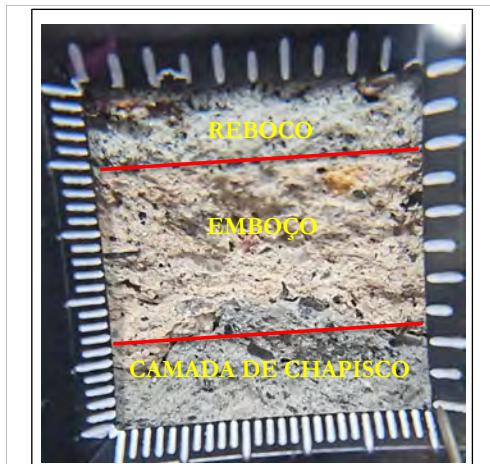


Figura 29. Avaliação em lupa de uma secção transversal das camadas de reboco, emboço, chapisco e tijolo.



Figura 30. Avaliação em lupa do reboco em pó de pedra.



Figura 31. Avaliação em lupa do emboço do ponto 3 com a presença de tela metálica.

4.3 | Caracterização Química

A Tabela 1 apresenta os resultados da análise química, por meio de FRX das argamassas emboço/reboco de cada um dos pontos.

Pode-se verificar que os resultados para o reboco em todas as fachadas da Catedral são muito similares. Observam-se teores de sílica na ordem de 60%, composto este que constitui a areia, o cimento e pó de pedra usado em sua composição. Os teores de CaO estão em cerca de 19%, possivelmente associado à composição do cimento. Os baixos teores de perda por calcinação (PPC*), relacionados com a decomposição térmica dos carbonatos, já indica baixos teores de cal. Observam-se outros elementos constituintes do pó de pedra como alumina na ordem de 10%, potássio na ordem de 3% e magnésio na ordem de 2%. Há que se ressaltar que os teores de ferro são alto, na ordem de 5%, indicando a presença de minerais ferrosos no pó de pedra, que nitidamente são identificados como biotita ($K(Mg, Fe)_3AlSi_3O_{10}(F, OH)_2$).

Já no que tange ao emboço, as amostras apresentaram, também, composição química muito similar, com teores majoritários de sílica, na ordem de 60%, relacionado com areia e cimento, teores de alumina na ordem de 10%, associada ao cimento e altos teores de CaO e PPC, em torno de 15 e 10%, respectivamente, indicando a possível presença de cal no traço das argamassas de emboço. Observa-se, claramente, que o reboco é rico em pó de pedra, com baixos teores de cálcio e perda por calcinação e o emboço apresenta altos teores de sílica, cálcio e perda por calcinação, configurando um traço diferenciado, que será apresentado posteriormente.

Tabela 1. Composição química (%) das amostras de reboco e emboço das amostras.

	Pontos	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	PPC* (%)	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃	K ₂ O
Reboco	2	9,5	18,5	1,6	2,0	60,6	4,7	3,1
	3	9,9	18,7	1,2	2,0	59,9	5,0	3,3
	4,1	10,0	19,0	1,3	2,1	60,3	4,3	3,0
	4,2	9,9	18,9	1,4	2,2	60,1	4,5	3,1
	5	9,8	19,1	1,3	2,1	59,9	5,1	2,7
	6	9,9	19,9	1,2	1,9	61,0	4,2	1,9
	7	9,8	19,3	1,1	2,2	60,8	3,8	3,0
	8	10,1	19,0	1,0	2,0	61,0	3,9	3,0
Emboço	2	10,1	15,6	0,5	12,9	57,8	2,2	3,1
	3	9,4	12,1	0,7	13,1	60,1	1,8	2,8
	4,1	9,9	14,9	0,4	10,0	59,8	2,1	2,9
	4,2	10,1	15,2	0,3	10,2	59,7	2,1	2,4
	5	10,2	15,3	0,1	10,1	60,3	2,1	2
	6	10,1	15,2	0,3	10,0	59,9	2,0	2,5
	7	10,8	15,4	0,2	10,3	60,1	1,9	1,3

*Perda por calcinação.

4.4 | Caracterização Mineralógica

Nas Figuras 32 e 33 apresentam-se os resultados da difração de raios-X das amostras de reboco e emboço, respectivamente. Todas as amostras apresentaram os mesmos minerais e seus espectros se sobrepuiseram. É possível verificar em todos a presença de etringita e portlandita, minerais relacionados com a presença de cimento, além de picos intensos de quartzo, corroborando a presença de areia e também cimento. Há picos de biotita evidentes a olho nu nas amostras de reboco, corroborando os teores de ferro mais elevados na avaliação química por FRX e

na composição do pó de pedra, mas também foram encontrados no emboço.

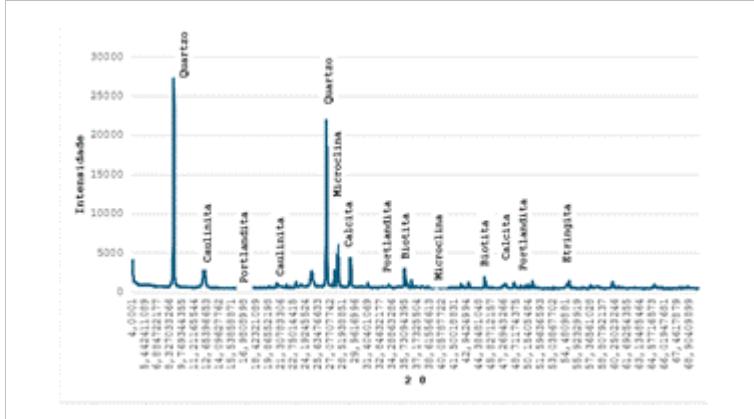


Figura 32. Difração de Raios-x da amostra de reboco.

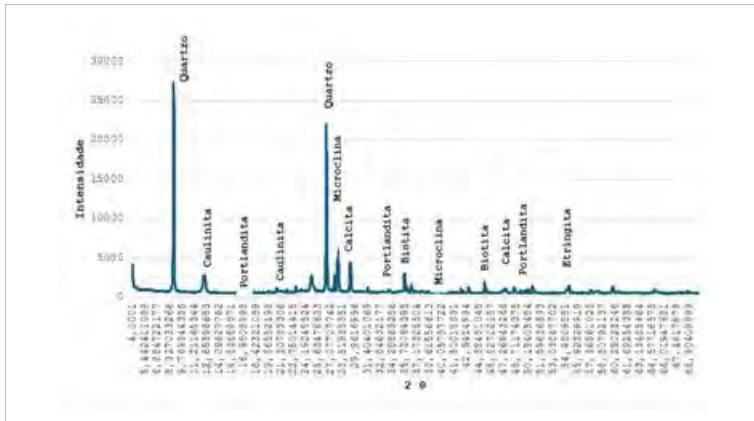


Figura 33. Difração de Raios-x da amostra de emboço.

4.5 | Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV/EDS)

Em relação à microscopia eletrônica de varredura, observa-se na Figura 34 um aspecto da amostra de reboco (ponto 2), com uma dispersão dos grãos de pó de pedra bem homogêneos com ênfase nos pontos brilhantes da biotita em evidência. Trata-se de uma matriz silicatada com os pontos de biotita que configuram o aspecto do reboco da Catedral observado em todas as amostras.

Na Figura 35 apresenta-se o resultado do MEV da amostra de emboço do ponto 2, que representa o comportamento de todas as argamassas de emboço, verificando-se maior heterogeneidade devido à presença de grãos de quartzo da areia, pontos de calcita presente no cimento e cal.

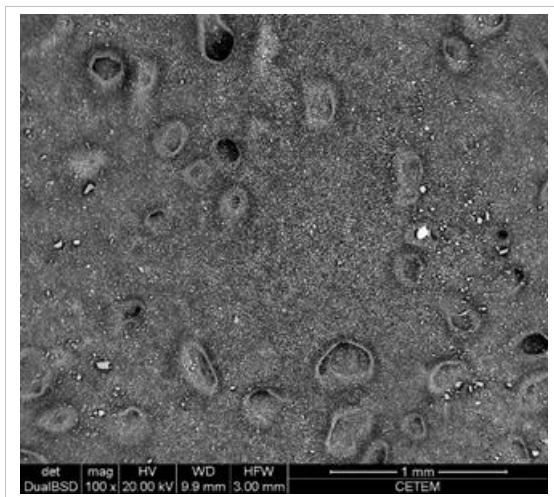


Figura 34. MEV da amostra de reboco (Ponto 2).

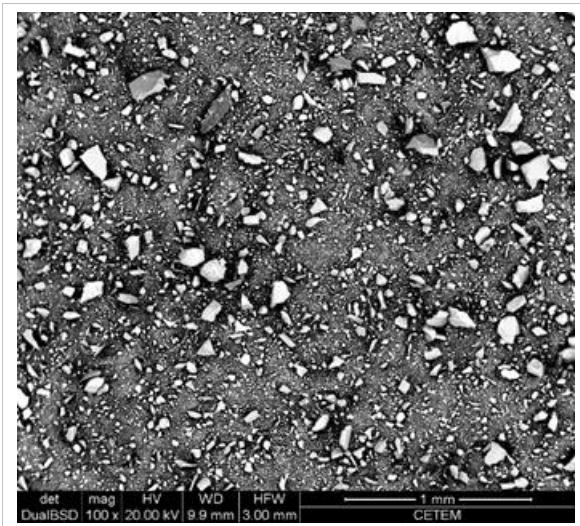


Figura 35. MEV da amostra de emboço (Ponto 2).

4.6 | Índices Físicos

Na Tabela 2 apresentam-se os resultados de massa específica, porosidade e absorção de água das amostras de reboco e emboço.

Pode-se verificar que o reboco é mais coeso, apresentando valores de porosidade na ordem de 15% e baixa absorção de água, na ordem de 6% condizentes com valores da literatura para rebocos, que indicam que rebocos devem apresentar absorção entre 7 e 10% e porosidade inferior a 30% (TAFAREL et al., 2015).

No que tange aos emboços, os valores de porosidade e absorção de água aumentam, principalmente pela maior concentração de areia, estando, respectivamente, com valores em torno de 30% e 15%, respectivamente.

No entanto, há que se ressaltar que a amostra do ponto 3, onde há uma fenda expondo toda a argamassa, os valores de porosidade e absorção estão muito elevados, sendo cerca de 48% e 30%, indicando que a ação dos intemperismos tem causado alterações substanciais na argamassa, que acaba retendo mais água e acaba colapsando a estrutura da argamassa.

Tabela 2. Resultados dos índices físicos do reboco e emboço das argamassas.

	Pontos	Densidade Aparente (kg.m ⁻³)	Porosidade Aparente (%)	Absorção d'água (%)
Reboco	2	1.952	14,14	7,24
	3	1.711	15,33	7,72
	4.1	2.062	15,18	8,33
	4.2	1.787	16,21	6,67
	5	1.987	15,10	6,61
	6	1.951	16,50	8,97
	7	2.054	15,13	6,40
	8	2.044	15,33	6,13
Emboço	2	1.342	28,22	14,11
	3	1.089	47,99	29,98
	4.1	1.444	29,46	14,91
	4.2	1.542	28,55	15,02
	5	1.432	28,41	15,02
	6	1.467	30,21	14,93
	7	1.398	30,00	14,89
	8	1.489	29,97	15,01

4.7 | Dureza Superficial

No Ponto 1, a medição de dureza foi realizada em uma área considerada íntegra, como pode ser observado na Figura 36, apresentando o valor de 316 HLD. A superfície não apresentava danos visíveis, o que contribuiu para um valor de dureza aceitável para uma argamassa.



Figura 36. Determinação da dureza do Ponto 1.

O Ponto 2 apresentava diversas rachaduras, o que motivou a realização de medições em diferentes áreas da fachada. A primeira medição, Figura 37, foi feita em uma região íntegra, que apresentou dureza de 418 HLD, o valor mais elevado entre todos os pontos avaliados. Em seguida, foram feitas duas medições ao longo de uma mesma rachadura, a primeira, em uma área menos

comprometida (Figura 38A), apresentou dureza de 321 HLD, enquanto a segunda, localizada em uma parte mais crítica (Figura 38B), registrou **276** HLD. Além disso, também foram avaliados duas regiões ao longo de uma faixa de ornamentos, em uma delas, o ornato encontrava-se em bom estado de conservação (Figura 39A), com dureza de 321 HLD, enquanto no outro, o ornato apresentava grandes fissuras (Figura 39B), fazendo com que o valor registrado fosse de **55** HLD.

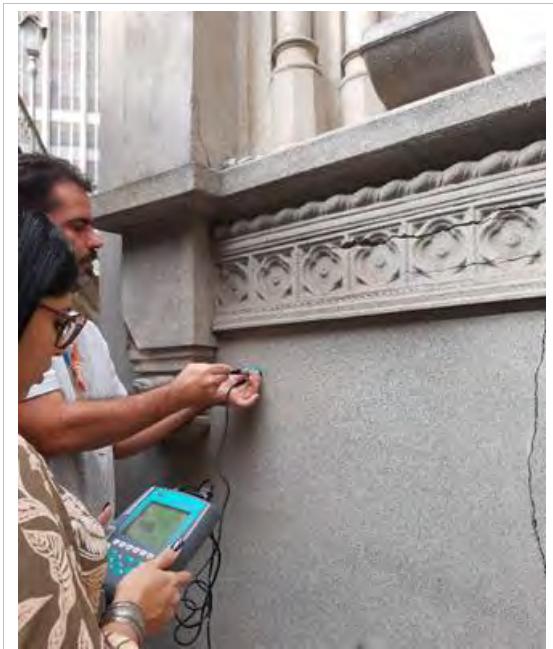


Figura 37. Medição da dureza em área íntegra do Ponto 2.



Figura 38. Extensão da rachadura, sendo (A) a área menos comprometida, e (B) a área mais crítica.

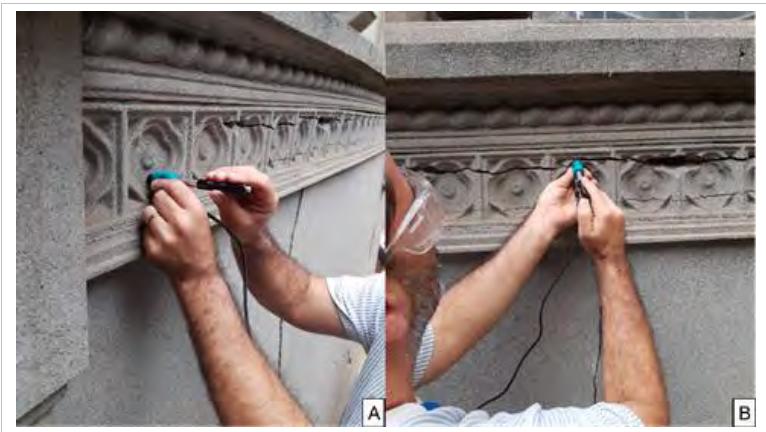


Figura 39. Faixa de ornamentos com (A) ornato em bom estado e (B) ornato degradado.

No Ponto 3, a medição foi feita, inicialmente, em uma área íntegra, que apresentou dureza de 359 HLD. Outra medição foi realizada em uma região com aplicação de espuma expansiva, Figura 40, que proporcionou aumento da fenda, onde o valor registrado foi de 216 HLD. A diferença entre os dois valores sugere que a presença da espuma compromete a resistência da argamassa.

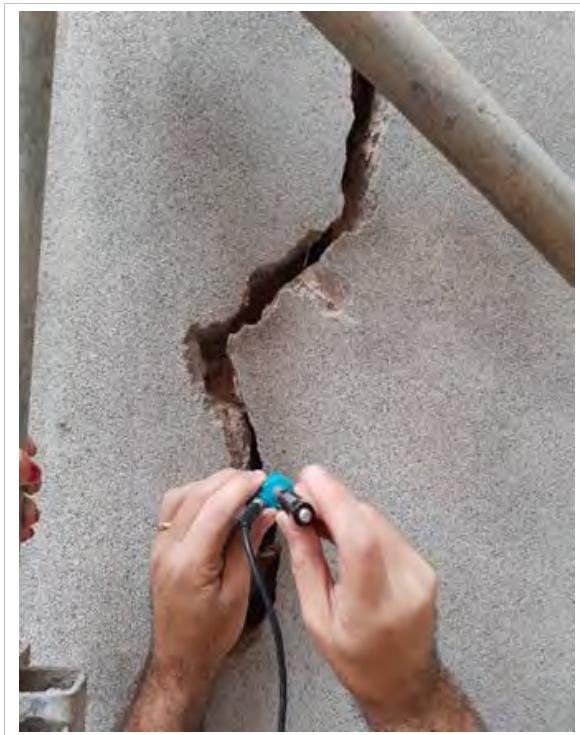


Figura 40. Avaliação da dureza no Ponto 3 em área com intervenção por espuma expansiva.

A medição da dureza no Ponto 4 foi feita em uma região com fissuras evidentes, Figura 41, resultando em um valor de dureza de

256 HLD. A presença dessas fissuras contribui para a redução da resistência superficial.

Os demais pontos apresentaram valores de dureza na ordem de 350 HLD indicando integridade das argamassas. Somente nas regiões com trincas a dureza reduzia-se para valores em torno de 250 HLD.



Figura 41: Determinação da dureza do Ponto 4.

4.8 | Análise Colorimétrica

Na Tabela 03 estão apresentados os resultados da avaliação colorimétrica da Catedral. Os valores indicaram que as regiões onde há crosta negra os valores de luminosidade (L) são extremamente baixos, bem inferiores a 50, caracterizando a baixa luminosidade e a coloração preta. Em áreas onde não havia crosta negra, mas continha as sujidades do local, o valor da luminosidade aumentava para valores em torno de 57 e o valor de b deslocado para 7 indicava uma coloração cinza escura da fachada. Após limpeza com água destilada, notou-se pouca alteração do valor da luminosidade, permanecendo na região de 57 e o valor de b apresentou pequena redução para 6, indicando que o padrão de cor da Catedral é cinza escuro.

Tabela 3. Avaliação colorimétrica nas fachadas.

Local	L*	a*	b*	Coloração
 A (crosta negra)	26,80	1,18	4,34	Preto
 B	57,43	0,40	7,22	Cinza escuro
 B (limpo)	57,55	0,20	6,38	Cinza escuro

4.9 | Coleta de Sais e Sujidades

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados em p.p.m. dos contaminantes encontrados depositados nas fachadas da Catedral. Pode-se observar um teor de cloreto, sódio e potássio extremamente elevados nos pontos 1, 2 e 3. Tal fato está relacionado com o posicionamento geográfico da Catedral e a rua República do Paraguai fica posicionada de frente para o mar, como pode ser observado na Figura 41, recebendo com mais intensidade a influência da maresia e, consequentemente, a deposição dos íons oriundos dos sais presentes na atmosfera. Por isso, encontram-se teores de cloreto de 732 ppm, 611 ppm de sódio e 250 ppm de potássio. Nas demais fachadas esses teores são reduzidos substancialmente.

Outro elemento que reflete a poluição da Catedral é o enxofre, emanado pela queima de combustível dos veículos. Os teores de enxofre foram os mais elevados, chegando-se a 1.020 ppm na fachada dos fundos da Catedral, mas obteve-se um valor médio de 950 ppm, principalmente na fachada principal e na fachada voltada para a Rua do Senado.

Foram detectados teores de ferro um pouco elevados, chegando-se a 126,2 ppm no ponto 3, relacionado com a oxidação da tela metálica aplicada ou até mesmo das oxidações das ferragens dos ornatos.

Por fim, os teores de nitrato variaram de 2 a cerca de 70 ppm e estão diretamente ligados às fezes de animais que sobrevoam a Catedral.

Tabela 4. Composição química (%) das sujidades presentes nas fachadas.

Pontos Íons \	1	2	2	4	5	6	7	8
Cl ⁻	732,0	522,0	511,0	75,4	35,0	9,2	4,5	72,7
(SO ₄) ²⁻	652,1	634,0	830,0	948,0	996,7	981,2	1.020,1	982,2
Na ⁺	611,0	530,0	420,0	5,3	76,1	8,6	5,8	1,3
(NO ₃) ⁻	43,1	2,2	5,9	7,3	68,8	11,6	5,8	33,1
Fe ³⁺	1,3	1,6	126,2	2,7	33,4	56,2	2,2	12,7
K ⁺	213,0	250,0	244,0	1,4	29,3	6,8	3,3	9,4



Figura 42. Posicionamento da Catedral frente ao mar

Na Figura 42 e 43 estão apresentados a microscopia eletrônica de varredura e o EDS de uma das sujidades avaliadas, onde se pode verificar a deposição de enxofre misturada com cloreto de sódio contaminando as fachadas da Catedral. No ponto 1 destaca-se uma região de NaCl e no ponto 2 destaca-se a matriz de enxofre.



Figura 43. MEV da sujidade recolhida.

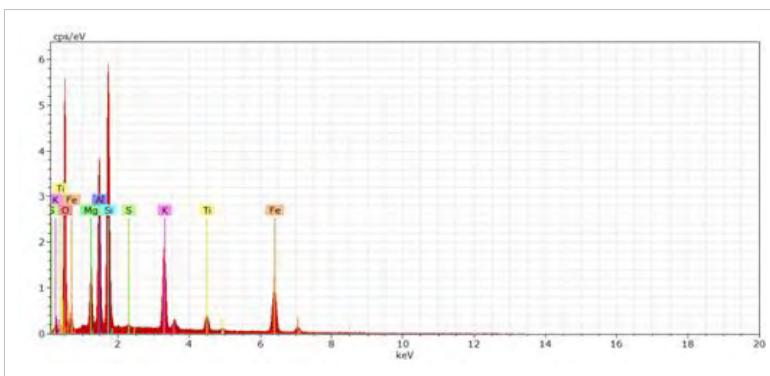


Figura 44. EDS da sujidade recolhida.

4.10 | Determinação do Traço

Na Tabela 5 apresenta-se o resultado do traço realizado para o reboco e para o emboço. Pode-se observar que o traço é muito homogêneo em todas as fachadas da Catedral, mesmo com intervenções realizadas ao longo dos anos.

O reboco apresenta uma distribuição média de 1 de cimento para 3 de pó de pedra e 0,5 de areia. No ponto 4.2 houve alguma intervenção e o teor de pó de pedra foi reduzido e a areia foi aumentada.

Já o emboço apresenta uma distribuição média de 1 de cimento para 2 de areia e alguns pontos aparece cerca de 1 de cal. Nas regiões onde se detectou a cal no emboço, observou-se que o teor de areia também aumentou para 3, indicando, também, alguma intervenção nesses pontos, principalmente na lateral esquerda da Catedral (voltada para Rua República do Paraguai) e na fachada principal, alterando o traço médio que é de 1 de cimento para 2 de areia.

Tabela 5. Traços do reboco e emboço das argamassas.

	Pontos	Cimento	Areia	Pó de Pedra
Reboco	2	1	0,5	3
	3	1	0,5	3
	4.1	1	0,5	3
	4.2	1	1	2
	5	1	0,5	3
	6	1	0,5	3
	7	1	0,5	3
	8	1	0,5	3
	Pontos	Cimento	Areia	Cal
Emboço	2	1	2	0
	3	1	3	1
	4.1	1	2	0
	4.2	1	3	1
	5	1	2	0
	6	1	2	1
	7	1	2	0
	8	1	2	0

5 | CONCLUSÕES

Conclui-se que a Catedral Presbiteriana do Rio de Janeiro é revestida por argamassas contendo uma camada de reboco, constituído, em maior proporção, por pó de pedra, emboço, chapisco e tijolos. Tais argamassas vêm apresentando fissuras, rachaduras, fendas, perdas de massa, manchamentos, colonização biológica, crescimento de plantas e presença de crostas negras. As argamassas apresentam em sua maior composição a sílica (~60%), seguido de alumina (~10%) e cálcio (~10%). Os minerais proeminentes são quartzo, calcita, etringita, portlandita e biotita, este último muito bem distribuído no pó de pedra do reboco. A porosidade do reboco é em média 15% e do emboço chega a 30%. Já a absorção de água do reboco é em média 7% e do emboço 15%. Há um ponto na fachada voltada para Rua República do Paraguai onde há uma grande fenda com percolação de água, afetando, gravemente, as condições da argamassa naquela região, inclusive utilizaram uma tela metálica para tentar impedir a expansão da argamassa, porém sem sucesso, visto o rompimento da tela. A dureza das argamassas é condizente com argamassas sás, chegando a 450 HLD. Porém, nas regiões de grandes fissuras e rachaduras encontrou-se o valor de 55 HLD, indicando a total fragilidade das argamassas, que despencam das fachadas. A cor típica das argamassas é o cinza escuro, pois, mesmo após a limpeza, o valor de luminosidade (L) apresentou valor de 57. Em pontos de crosta negra esse valor foi de 27.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADRIANO, P.; SILVA, A.S.; VEIGA, R.; MIRAO, J. e CANDEIAS, A.(2009) Microscopic characterization of old mortars from the Santa Maria Church in Évora, Materials Characterization 60 (7) 610 - 620, 11th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials (EMABM). doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matchar.2008.11.008>.
- BAKOLAS, A.; BISCONTIN, G.; MOROPOULOU, A. E ZENDRI, E.; (1998) Characterization of structural byzantine mortars by thermogravimetric analysis, Thermochimica Acta 321 (12) 151 - 160. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0040-6031\(98\)00454-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0040-6031(98)00454-7).
- BERTOLINI, L.; CARSANA, M.; GASTALDI, M.; LOLLINI, F. e. REDAELLI, B., (2013) Characterization of mortars used at different ages in the San Lorenzo church in Milan, Materials Characterization 80 9 - 20. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matchar.2013.03.008>.
- BISCONTIN, G.; BIRELLI, M.P. e ZENDRI, E. (2002) Characterization of binders employed in the manufacture of Venetian historical mortars, Journal of Cultural Heritage 3 (1) 31 - 37. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1296-2074\(02\)01156-1](http://dx.doi.org/10.1016/S1296-2074(02)01156-1).
- BUDAK, M.; AKKURT, S. E BKE, H. (2006) Evaluation of heat treated clay for potential use in intervention mortars, Applied Clay Science 49 (4) (2010) 414 - 419, fourth Mediterranean Clay Meeting Selected papers from the meeting in Ankara, Turkey, 5-10 doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2009.11.031>.
- CHIARI, G.; SANTARELLI, M.; TORACCA, G. (1992) Caraterizzazione delle malte antiche mediante l'analisi di campioni non frazionati, Materiali e Strutture 1 (3) 111 - 137.
- CHIARELLI, N., MIRIELLO, D., BIANCHI, G.; FICHERA, G.; GIAMELLO, M.; e MEMMI, I.T.; (2015) Characterization of ancient mortars from the S. Niccoló archaeological complex in Montieri (Tuscany Italy), Construction and Building Materials 96 442-460. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.023>.
- COMO, M.; Statics of Historic Masonry Constructions, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013.

- FREIDIN, C. e MEIR, I. (2005) Byzantine mortars of the Negev Desert, Construction and Building Materials 19 (1) 19 - 23. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.05.001>.
- GLEIZE, P.; MOTTA, E.; SILVA, D. e ROMAN, H. (2009) Characterization of historical mortars from Santa Catarina (Brazil), Cement and Concrete Composites 31 (5) 342 - 346. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.02.013>.
- KANAN, M.I. (2008) Manual de conservação e intervenção em argamassas e revestimentos à base de cal. Brasília, DF : Iphan, 172 p.
- LEZZERINI, M., LEGNAIOLI, S.; LORENZETTI, G.; PALLESCHI, V. e TAMPONI, M. (2014) Characterization of historical mortars from the bell tower of St. Nicholas Church (Pisa, Italy), Construction and Building Materials 69, 203 - 212. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.051>.
- LEONE, G.; VITA, A. D.; MAGNANI, A. e ROSSI, C. (2016) Characterization of archaeological mortars from Herculaneum, Thermochimica Acta 624 86 - 94. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.tca.2015.12.003>.
- MARIA, S. (2010) Methods for porosity measurement in lime-based mortars, Construction and Building Materials 24 (12) 2572 - 2578, special Issue on Fracture, Acoustic Emission and NDE in Concrete (KIFA-5). doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.05.019>.
- MARTÍNEZ, I.; CASTILLO, A.; MARTÍNEZ, E. e CASTELLOTE, M. (2013) Physic-chemical material characterization of historic unreinforced masonry buildings: The first step for a suitable intervention, Construction and Building Materials 40, 352 - 360, special Section on Recycling Wastes for Use as Construction Materials. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.091>.
- MOROPOULOU, A.; POLIKRETI, K.; BAKOLAS, A. e MICHAILIDIS, P. (2003) Correlation of physicochemical and mechanical properties of historical mortars and classification by multivariate statistics, Cement and Concrete Research 33 (6) 891 - 898. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)01088-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(02)01088-8).

MOROPOULOU, A.; BAKOLAS, A. e BISBIKOU, K. (1995) Characterization of ancient, byzantine and later historic mortars by thermal and X-ray diffraction techniques, *Thermochimica Acta* 269, 779 – 795, recent Advances in Thermal Analysis and Calorimetry. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0040-6031\(95\)02571-5](http://dx.doi.org/10.1016/0040-6031(95)02571-5).

MOROPOULOU, A.; BAKOLAS, A. e BISBIKOU, K.; (2000) Investigation of the technology of historic mortars, *Journal of Cultural Heritage* 1 (1) 45 - 58. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1296-2074\(99\)00118-1](http://dx.doi.org/10.1016/S1296-2074(99)00118-1).

ROCHA, K.R.B. (2019) Testemunho e transcendência: relação entre imagem e palavra nos vitrais da Catedral Presbiteriana do Rio. 2019. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em História da Arte) – Escola de Belas Artes, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SANJURJO, J.; SANCHEZ, M.; TRINDADE, R.; BLANCO-ROTEA, R. B.; GARCIA, D. F. MOSQUERA, C.; BURBIDGE, M. e PRUDÊNCIO, M., (2010) Chemical and mineralogical characterization of historic mortars from the Santa Eulalia de Bóveda temple, NW Spain, *Journal of Archaeological Science* 37 (9) 2346 - 2351. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2010.04.008>.

SANTIAGO, C.C.; (2012) O restauro de argamassa de cal no Brasil, Construindo - Belo Horizonte, Revista Construindo, Belo Horizonte, v. 4, n. 1.

TAFAREL, N.F.; MACIOSKI, K.G., QUERNE, A.C., NAGALLI, D.C.F. e PASSIG, F.A. (2016) Avaliação das propriedades do concreto devido à incorporação de lodo de estação de tratamento de água, *Revista Matéria*, ISSN 1517-7076 artigo 11759, pp.974-986.

ZENG, Y.; ZHANG, B. e LIANG, X. (2008) A case study and mechanism investigation of typical mortars used on ancient architecture in China, *Thermochimica Acta* 473 (12) 1-6; doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tca.2008.03.019>.

SÉRIES CETEM

As Séries Monográficas do CETEM são o principal material de divulgação da produção científica realizada no Centro. Até o final do ano de 2024, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, mais de 390 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED). A Série Iniciação Científica consiste numa publicação eletrônica anual.

A lista das publicações poderá ser consultada em nossa homepage. As obras estão disponíveis em texto completo para download. Visite-nos em <https://www.gov.br/cetem/pt-br/assuntos/repositorio-mineralis-e-biblioteca>.

Últimos números da Série Tecnologia Ambiental

STA-142 - Avaliação de risco à saúde humana da utilização de resíduos de rochas ornamentais como fertilizantes naturais. Cristiane Andrade de Lima, Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, Manuella de Lima Ribeiro e Pedro Paulo Cardoso Lima, 2025.

STA-141 – Produção de piso gerador de energia constituído por resina e resíduos do mármore Bege Bahia. Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, Lucas Marques Palermo de Aguiar, Williane Gomes de Figueiredo, Pedro Paulo Cardoso Lima, Marceli Nascimento da Conceição, Henriette Santos Branco, José Marcos do Rosário Barreira e Ana Clara Soares, 2025.

STA-140 – Georreferenciamento da região de extração do mármore Bege Bahia – Revisão da Literatura. Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, Marcelle Lemos de Amorim Cerqueda, Rosana Elisa Coppedê Silva e Caroline Martins de Sousa, 2025.

INFORMAÇÕES GERAIS

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral
Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ
E-mail: biblioteca@cetem.gov.br
Homepage: <http://www.cetem.gov.br>

NOVAS PUBLICAÇÕES

Se você se interessar por um número maior de exemplares ou outro título de uma das nossas publicações, entre em contato com a nossa biblioteca no endereço acima.

Solicita-se permuta.

We ask for interchange.



Missão Institucional

Desenvolver tecnologias inovadoras e sustentáveis, e mobilizar competências visando superar desafios nacionais do setor mineral.

O CETEM

O Centro de Tecnologia Mineral - CETEM é um instituto de pesquisas, vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI, dedicado ao desenvolvimento, à adaptação e à difusão de tecnologias nas áreas minerometalúrgica, de materiais e de meio ambiente.

Criado em 1978, o Centro está localizado no campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, na cidade Universitário, no Rio de Janeiro e ocupa 20.000m² de área construída, que inclui 25 laboratórios, 4 plantas-piloto, biblioteca especializada e outras facilidades.

Durante seus 47 anos de atividade, o CETEM desenvolveu mais de 800 projetos tecnológicos e prestou centenas de serviços para empresas atuantes nos setores minerometalúrgico, químico e de materiais.