

SÉRIE Tecnologia Ambiental

**Estudo da degradação das
cúpulas do Museu Nacional
de Belas Artes – RJ e
otimização do processo de
limpeza por emplastro**

**Roberto Carlos da Conceição Ribeiro
Caroline Martins de Souza
Elson Rian Rodrigues de Albuquerque
Marceli do Nascimento da Conceição**



SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

Estudo da degradação das cúpulas do Museu Nacional de Belas Artes – RJ e otimização do processo de limpeza por emplastro

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

Subsecretária de Unidades de Pesquisa e Organizações Sociais

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Silvia Cristina Alves França

Diretora

Maurício Moutinho da Silva

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 - 120

Estudo da degradação das cúpulas do Museu Nacional de Belas Artes – RJ e otimização do processo de limpeza por emplastro

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

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

Caroline Martins de Souza

Engenheira Ambiental e Sanitária, aluna de Mestrado na UFRJ

Elson Rian Rodrigues de Albuquerque

Aluno de Graduação em Geologia na UFRJ

Marceli do Nascimento da Conceição

Química, D.Sc., PCI do CETEM/MCTI

CETEM/MCTI

2023

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

Editor: Luis Gonzaga Santos Sobral

Subeditor: Andréa Camardella de Lima Rizzo

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 congrega especialistas, tais como: pesquisadores, tecnólogos, 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).

Copyright © 2023 CETEM/MCTI

Todos os direitos reservados.
A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação de copyright (Lei 5.988)

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 da degradação das cúpulas do Museu Nacional de Belas Artes – RJ e otimização do processo de limpeza por emplastro/ Roberto Carlos da Conceição Ribeiro ... [et al.] – Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2023. 41 p. - (Série Tecnologia Ambiental ; 120).

ISBN 978-65-5919-038-6.

1. Poluentes atmosféricos. 2. Argamassa. 3. Emplastro. 4. MNBA. I. Ribeiro, Roberto Carlos da Conceição. II. Souza, Caroline Martins de. III. Albuquerque, Elson Rian Rodrigues de. IV. Conceição, Marcell do Nascimento da. V. Centro de Tecnologia Mineral. VI. Série.

CDD 363.7392

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

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	9
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Museu Nacional de Belas Artes	11
1.2 Localização Geográfica	13
1.3 Ação do Intemperismo nas Argamassas	15
1.4 Método de Remoção de Sais	16
2 OBJETIVO	17
3 METODOLOGIA	18
3.1 Levantamento Bibliográfico Meteorológico	18
3.2 Avaliação da Exposição do MNBA aos Raios Solares	18
3.3 Avaliação dos Íons Poluentes nas Cúpulas	18
3.4 Determinação da Dureza	18
3.5 Determinação da Concentração de Sal na Cúpula Central	19
3.6 Aperfeiçoamento da Técnica de Emplastro para a Remoção dos Sais	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	21
4.1 Principais Danos	21
4.2 Evolução Urbana no Entorno do MNBA	21
4.3 Variações Termopluviométricas Anuais na Região do Centro do Rio de Janeiro no Ano 2021	24
4.4 Direção do Vento no Entorno do MNBA	24
4.5 Incidência Solar no MNBA	26
4.6 Avaliação de Poluentes Atmosféricos e Dureza das Cúpulas nas três Cúpulas	27
4.7 Melhoramento dos Emplastros	29
5 CONCLUSÕES	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

RESUMO

O Museu Nacional de Belas Artes, no Rio de Janeiro, projetado em 1908, é uma das construções brasileiras mais importantes dedicadas à conservação e divulgação de obras representativas da produção artística. Suas fachadas são revestidas por rochas e argamassa e no seu topo há três imponentes cúpulas construídas em argamassa. Ao longo do tempo, o entorno do prédio passou por diversas alterações urbanas, o que, juntamente ao aumento da circulação de veículos e a ação de intempéries, intensificou a formação de ilhas de calor e dos processos de degradação e decomposição das cúpulas. Este trabalho tem como objetivo compreender como a ação dos poluentes atmosféricos afetou o processo de degradação das cúpulas do Museu, além de aperfeiçoar a técnica de emplastro, que é uma técnica utilizada no processo de restauração para remoção de sais, utilizando pastas de celulose ou algodão por um determinado período de tempo sobre a superfície a ser limpa. Para tal, realizou-se um levantamento bibliográfico e climatológico. Foram coletadas amostras de águas de lavagem das cúpulas que foram avaliadas por ICP-plasma para determinação de Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- e $(\text{SO}_4)^{2-}$, além da determinação de dureza. Para otimização do processo de emplastro aplicaram-se na superfície da argamassa: pasta de celulose, algodão, pasta de celulose recoberta com filme plástico e algodão recoberto com filme plástico. O tempo de exposição dos emplastros com as argamassas foi de 6h, com monitoramento a cada 60 minutos. O procedimento foi realizado com água destilada a 25°C e também a 40°C . Os resultados indicaram que todas as cúpulas apresentam acelerado processo de degradação em decorrência do acúmulo de NaCl proveniente do mar, sendo que as cúpulas sul e central são as mais atingidas, devido à ação das correntes de ventos do sul e sudeste. Foi observado que os teores desse sal ultrapassam os 1.000 mg.L^{-1} , ocasionando oxidação das ferragens de sustentação e perda de resistência mecânica, visto que a dureza das argamassas chega a 125 HLD. Observaram-se, também,

acúmulos de enxofre (em torno de 500 mg.L^{-1}) nas três cúpulas oriundo da emissão dos veículos que circulavam na frente do prédio até o ano de 2013. Tal elemento associou-se ao cálcio presente nas argamassas, formando gipsita em vários pontos das cúpulas, criando-se pontos de fragilidade e de degradação das mesmas. Em relação ao processo de otimização de emplastro pôde-se verificar que os cerca de 800 mg.L^{-1} de Na^+ e Cl^- e os cerca de 600 mg.L^{-1} de Ca^{+2} e $(\text{SO}_4)^{2-}$ presentes nas argamassas poluídas foram removidos em até 3h de ensaio, utilizando-se pasta de celulose a 25°C recoberta com filme plástico. Tal procedimento é favorecido pelo aumento da temperatura para 40°C , pois em cerca de 2h de ensaio a maior parte dos íons foi retirada. A utilização de algodão é menos eficiente que a pasta de celulose, pois mesmo com 6h de ensaio há ainda íons a serem removidos das argamassas, mesmo a 40°C .

Palavras-chave

Poluentes atmosféricos, argamassas, emplastro, MNBA.

ABSTRACT

National Museum of “Belas Artes” in Rio de Janeiro, designed in 1908, is one of the most important Brazilian buildings dedicated to the conservation and dissemination of representative works of artistic production. Its facades are covered with rocks and mortar and at the top there are three imposing domes built in mortar. Over time, the surroundings of the building underwent several urban changes, which together with increased vehicle circulation and the action of the weather intensified the formation of heat islands and the processes of degradation and decomposition of the domes. This work aims at understanding how the action of atmospheric pollutants affected the degradation process of the Museum's domes, in addition to optimizing the plastering technique, which is a technique used in the restoration process to remove salts, using cellulose or cotton pastes for a certain period of time on the surface to be cleaned. To this end, bibliographic and climatological surveys were carried out. Samples of dome washing water were collected and evaluated by ICP-plasma to determine Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- and SO_4^{2-} , in addition to hardness determination. To optimize the plastering process, cellulose paste, cotton, cellulose paste covered with plastic film and cotton covered with plastic film were applied to the surface of the mortar. The exposure time of the plasters with the mortars was 6 hours, with monitoring every hour. The procedure was performed with distilled water at 25°C and also at 40°C. The results indicated that all the domes present an accelerated process of degradation due to the accumulation of NaCl from the sea, and the south and central domes are the most affected, due to the action of the south and southeast wind currents, it was observed that the contents of this salt exceed 1,000 mg.L⁻¹, causing oxidation of the support hardware and loss of mechanical resistance, since the hardness of the mortars reaches 125 HLD. Accumulations of sulphur (around 500 mg.L⁻¹) were also observed in the three domes resulting from the emission of vehicles that circulated in

front of the building until 2013. This element was associated with the calcium present in the mortars, forming gypsum in several points of the domes, creating points of fragility and degradation of them. Regarding the plaster optimization process, it was possible to verify that the approximately 800 mg.L⁻¹ of Na⁺ and Cl⁻ and approximately 600 mg.L⁻¹ of Ca²⁺ and SO₄²⁻ present in the mortars polluted materials were removed within 3 hours of testing, using cellulose paste at 25°C covered with plastic film. This procedure is favored by increasing the temperature to 40°C, since in about 2 hours of testing most of the ions were removed. The use of cotton is less efficient than the cellulose paste, because even with 6 hours of testing there are still ions to be removed from the mortars, even at 40°C.

Keywords

Atmospheric pollutants, mortar, plaster, MNBA.

1 | INTRODUÇÃO

1.1 | Museu Nacional de Belas Artes

Quando Dom João VI chegou ao Brasil, em 1808, juntamente com a família real, trouxe consigo uma coleção de obras de arte das quais muitas permaneceram no país após seu regresso para Portugal. O rei, muito interessado por arte, fundou no Brasil a Escola Real de Ciências, Artes e Ofícios que, já estando o país sob comando de Dom Pedro I, passou a se chamar Academia Imperial de Belas Artes. Formou-se, então, uma significativa pinacoteca e uma gliptoteca (*i.e.*, Uma **gliptoteca** (do grego γλύψω, 'incisão', e θήκη, 'armário, caixa') é um museu ou coleção de esculturas, em especial pedras finas gravadas.). A chegada da República no Brasil fez com que a instituição mudasse o nome mais uma vez e passasse a se chamar Escola Nacional de Belas Artes.

A nova sede da Escola Nacional de Belas Artes, já no período republicano, foi construída na Avenida Rio Branco, na cidade do Rio de Janeiro, em meio a um projeto de reforma urbanística. O prédio foi aberto ao público em 1908 apresentando algumas exposições e os ambientes para as aulas práticas e para a administração da escola. Em 1931, a Escola Nacional de Belas Artes deixou de ser uma instituição independente e foi incorporada à Universidade do Rio de Janeiro. O responsável pelo projeto de construção do prédio foi o arquiteto espanhol Adolfo Morales de los Rios, que se inspirou no Museu do Louvre, em Paris. Mas seu projeto inicial passou por algumas alterações e resultou em uma construção de estilo eclético, suas fachadas apresentam marcas das Renascenças francesa e italiana e de Neoclassicismo.

O Museu Nacional de Belas Artes foi criado oficialmente em 13 de janeiro 1937 pelo ministro Gustavo Capanema. Mas antes de sua efetiva abertura ao público, em 19 de agosto de 1938, passou por algumas mudanças (MNBA, 2021a; MNBA, 2021b). O prédio permaneceu com as coleções da Escola Nacional de Belas Artes e com o setor administrativo, mas os cursos foram progressivamente sendo transferidos para outros locais.

O acervo do Museu Nacional de Belas Artes conta com as obras trazidas por Dom João VI ao Brasil e com mais uma ampla quantidade de peças que foram incorporadas ao longo do século XIX e início do século XX. São cerca de 15 mil peças que incluem pinturas, esculturas, desenhos e gravuras de artistas nacionais e estrangeiros, além de uma coleção de arte decorativa, mobiliário, arte popular e arte africana. Na Figura 1 pode ser observado uma imagem atual do prédio do MNBA onde se observa três cúpulas que da esquerda para a direita da imagem foram nomeadas de Cúpula Norte, Cúpula Central e Cúpula Sul, respectivamente.

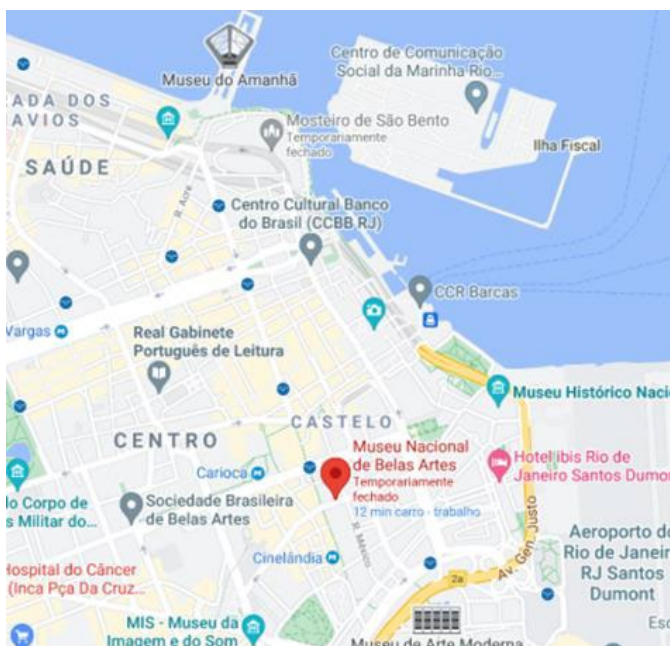


Figura 1: Vista aérea do Museu Nacional de Belas Artes - RJ (AVENTRITUR, 2021).

As cúpulas norte e sul apresentam 206,00 m² e forma semelhante, já a Cúpula Central apresenta 309,00 m² além de um formato mais complexo (IBRAM, 2019). Em 2003 foi iniciada uma obra de restauração da fachada, cúpulas e galerias e também foram realizadas obras de modernização do ambiente no MNBA (Figueiredo, 2006). Tendo em vista a necessidade da restauração do MNBA no ano de 2020 foi anunciado um investimento de 15 milhões em reparos nas fachadas e cúpulas incluindo o aprimoramento dos equipamentos de segurança (CAPOBIANCO, 2021).

1.2 | Localização Geográfica

Ao longo dos anos, o entorno do prédio passou por diversas alterações urbanas, além do aumento da circulação de veículos, o que intensificou a formação de ilhas de calor e dos processos de degradação e decomposição das cúpulas, devido ao crescimento urbano acelerado, Figura 2. O prédio vem sendo submetido à ação de gases como NO_x, CO_x e SO_x oriundos das emissões veiculares, além do spray salino devido à proximidade com o mar. A quantidade médio-baixa de chuvas, as variações bruscas de temperaturas e a insolação, são fatores que intensificam os processos de degradação e decomposição das cúpulas e fachadas (PUCCIONI, 2009).



Fonte: Google Maps.

Figura 2: Localização do prédio no centro do RJ.

O edifício ocupa toda uma quadra por meio de quatro fachadas: fachada principal (Oeste), voltada para a Av. Rio Branco, fachadas laterais (Sul e Norte), voltadas para as Ruas Araújo Porto Alegre e Heitor de Melo, respectivamente, e a fachada posterior (Leste), voltada para a Rua México. Elas estão distribuídas em torno de um pátio central e apresenta embasamento em gnaisse facoidal.

Outro aspecto importante a ser observado é a proximidade do prédio em relação ao mar. O ambiente corrosivo de maior umidade, chuva com caráter ácido, são fatores que contribuem para o aceleramento da degradação da construção, pois atacam tanto a estrutura metálica quanto a argamassa.

1.3 | Ação do Intemperismo nas Argamassas

A degradação ou deterioração das rochas e argamassas, ao serem utilizadas na construção civil, ocorre por meio de mudanças nas propriedades desses materiais, em contato com o ambiente natural, no decorrer do tempo (VILES, 1997). Dependendo da natureza e do seu grau de porosidade podem apresentar um alto grau de absorção de água, avançado grau de alteração mineralógica ou presença de minerais deletérios, o que as tornam mais suscetíveis à aparição de manifestações patológicas.

As patologias mais frequentemente observadas em rochas e argamassas são modificação na coloração, manchamentos, eflorescências, degradações, deteriorações, fissuramento, bolor, perda da resistência, desgaste mecânico, descolamento, juntas descontínuas, falhas nos rejuntamentos, perda de brilho, entre outras (AIRES-BARROS, 1991).

As eflorescências são depósitos de sais lixiviados das argamassas ou de materiais sobre os quais as placas de rocha estão colocadas. Podem surgir nas juntas entre os ladrilhos e cobrir a superfície da rocha ou argamassa. O principal efeito das eflorescências é estético, mas a ascensão e a cristalização dos sais produzem tensões na rocha ou na argamassa que podem provocar a degradação completa desses materiais.

A proximidade do MNBA do mar e da circulação intensa de veículos ao seu redor apresenta acelerado processo de degradação em suas cúpulas e fachadas em argamassas devido ao acúmulo de NaCl e enxofre. O NaCl percola toda a argamassa, oxida a ferragem de sustentação gerando diminuição da resistência mecânica das cúpulas. Já o enxofre, emanado pelos veículos, se deposita nas fachadas e cúpulas do museu, reagem com o cálcio presente nas argamassas, forma diversos pontos de sulfato de cálcio, que é um mineral mais fácil de ser degradado.

Um dos exemplos da presença de eflorescências ocorre nas cúpulas do MNBA que, devido à proximidade do mar e da circulação intensa de veículos ao seu redor, apresenta acelerado processo de degradação em suas cúpulas e fachadas em argamassas devido ao acúmulo de NaCl e enxofre. O NaCl percola toda a argamassa, oxida a ferrugem de sustentação e gera diminuição da resistência mecânica das cúpulas. Já o enxofre emanado pelos veículos se deposita nas fachadas e cúpulas do museu, reage com o cálcio presente nas argamassas, forma diversos pontos de sulfato de cálcio, que é um mineral mais fácil de ser degradado.

1.4 | Método de Remoção de Sais

Dentre os métodos de limpeza de argamassas, utilizados pelo setor de restauro e conservação de monumentos, destaca-se o emplastro, que consiste na aplicação de produtos que possuem ação emoliente e de remoção de resíduos que são aplicados num veículo pastoso que cobre a superfície do material a ser limpo durante um período de tempo pré-determinado. Os emplastros mais comuns contêm água e algum material que permita o contato prolongado com a superfície, como o algodão e fibras de papel. Estes emplastros são, geralmente, utilizados na remoção de salinidades, que se solubilizam facilmente, e são transportados para o emplastro por meio da capilaridade (WOOLFITT e ABREY, 2000). No entanto, a literatura não apresenta um sistema padronizado e universal do processo de emplastro de argamassas contendo sais a serem removidos, necessitando-se de uma normatização dessa técnica.

2 | OBJETIVO

O objetivo do trabalho foi verificar o estado de alteração das três cúpulas do Museu Nacional de Belas Artes e aperfeiçoar o método de emplastro, usado na remoção dos sais responsáveis por essa degradação.

3 | METODOLOGA

3.1 | Levantamento Bibliográfico Meteorológico

A metodologia consistiu em um levantamento bibliográfico, climatológico e de cartas sinóticas fornecidas pela estação meteorológica do Aeroporto Santos Dumont, localizado próximo ao museu.

3.2 | Avaliação da Exposição do MNBA aos Raios Solares

A trajetória solar foi avaliada por meio dos programas Sketchup e do site Sun-Path.

3.3 | Avaliação dos Íons Poluentes nas Cúpulas

As cúpulas foram lavadas com água destilada e escovas de cerdas macias sendo, posteriormente, avaliadas por Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma Acoplado (ICP-plasma) para determinação dos íons sódio, cálcio, cloreto e sulfato.

3.4 | Determinação da Dureza

A determinação de dureza foi realizada nos mesmos pontos da lavagem, sendo utilizando o aparelho portátil digital de impacto LEEB (Rebound Hardness Test - HDL) Equotip 550 da marca Proceq.

3.5 | Determinação da Concentração de Sal na Cúpula Central

Para a utilização das técnicas de emplastro, uma amostra de argamassa foi cedida pelo Iphan, retirada da Cúpula Central, como apresentado na Figura 3, com concentrações dos sais NaCl e gipsita previamente determinadas por meio de ICP-plasma.

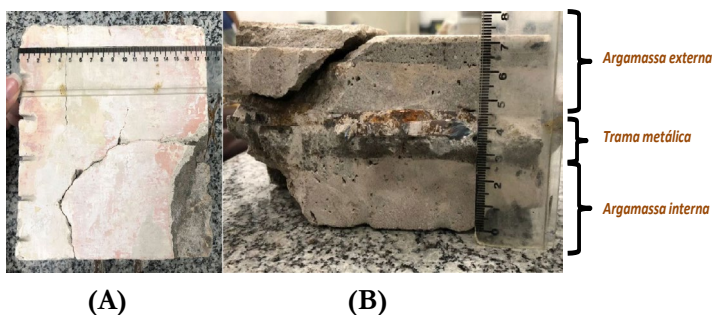


Figura 3: (A) Amostra retirada do MNBA e (B) Secção transversal da amostra.

3.6 | Aperfeiçoamento da Técnica de Emplastro para a Remoção dos Sais

Para realização do emplastro dividiu-se a argamassa externa em 4 partes, com dimensões de 8 x 9 cm cada, na qual cada parte foi coberta por: pasta de celulose (Figura 4A), algodão embebido em água destilada (Figura 4B), além de duas regiões cobertas pelo mesmo material, sobreposto por filme plástico (Figuras 4 C e D). Os emplastros ficaram em contato com a argamassa por 6 horas, sendo retirados e avaliados por ICP-Plasma a cada hora. O processamento foi realizado com água a 25°C e, posteriormente, repetiu-se o processamento utilizando-se água a 40°C na argamassa interna.

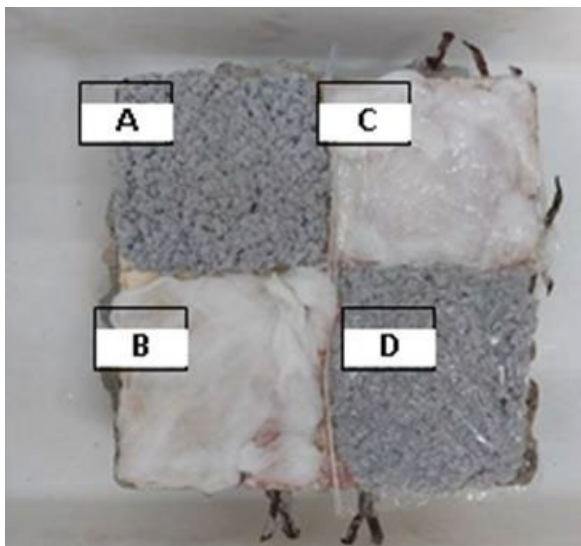


Figura 4: Técnica de emplastro utilizando-se (A) pasta de celulose, (B) algodão, (C) algodão recoberto com filme plástico e (D) pasta de celulose recoberta com filme plástico.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. | Principais Danos

Os principais danos observados nas cúpulas são eflorescências em estágio acelerado de degradação das argamassas e ferragens de sustentação, perdas de massa, manchamentos, oxidação das ferragens e crostas negras. A parte interna da cúpula principal apresenta eflorescências causadas por infiltrações de água salina carregada pelo mar; a parte externa apresenta filmes negros, há fezes de animais, oxidação de ferragens estruturais e oxidação da trama metálica entre as argamassas como apresentado na Figura 5.

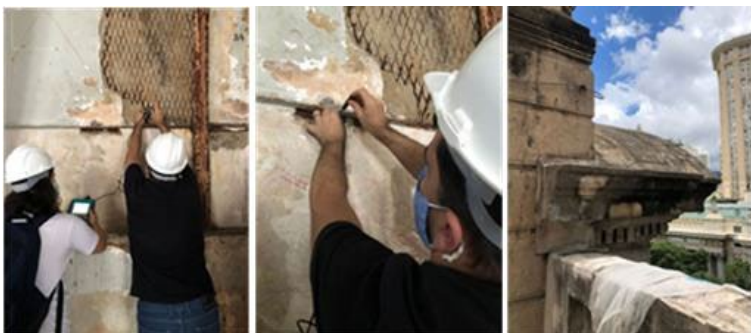


Figura 5: Principais danos nas cúpulas (oxidação, perda de massa e crosta negra).

4.2. | Evolução Urbana no Entorno do MNBA

A área do entorno do MNBA passou por diversas mudanças ao longo do tempo como pode ser observado na Figura 6. Nota-se que no início do século XX ocorreram importantes remodelações urbanas, com o desmonte do Morro do Castelo, a elaboração do Plano Agache e a abertura da Avenida Central. Pode-se verificar a

esplanada criada com o desmonte do Morro do Castelo. É possível observar, ainda, que no período entre 1940 e 1980 ocorreram grandes modificações na estrutura urbana da região do Centro do Rio de Janeiro, o crescimento vertical da região do Centro e o grande fluxo de veículos diários, contribuíram para o acúmulo de poluentes atmosféricos nessa região.

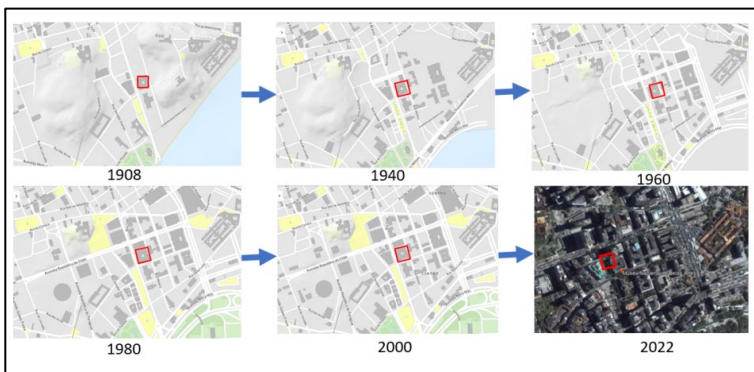


Figura 6: Mapa da evolução urbana na área do entorno de 1908 a 2000.

A Avenida Rio Branco, que era a principal via para passar pelo centro do Rio de Janeiro, ocasionou trânsito intenso e caótico de veículos e mais de 80 linhas de ônibus que a percorriam pela avenida, movimento bem intenso no horário comercial, como apresentado na Figura 7, segundo o Instituto do Meio Ambiente (INEA) (VENTURA e PINTO, 2016).

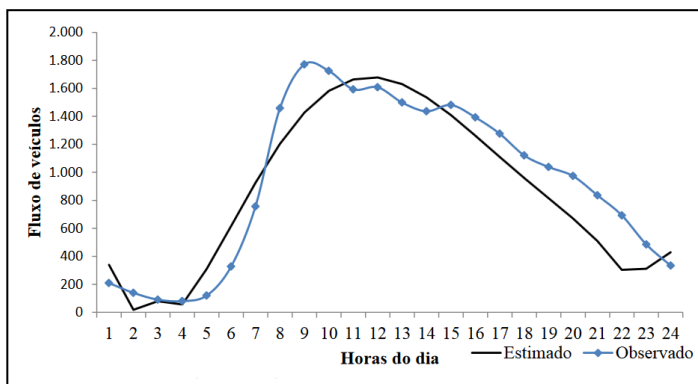


Figura 7: Função horária de tráfego na Av. Rio Branco segundo o anuário do INE (VENTURA e PINTO, 2016).

Por meio do Projeto “Porto Maravilha”, no ano de 2013 ocorreu a demolição da Via da Perimetral e, posteriormente, a inserção do Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) propiciando a finalização de circulação de veículos, Figura 8.



Fonte: Google Maps.

Figura 8: (A) Av. Rio Branco antes da Inserção do VLT. (B) Trecho com VLT.

4.3. | Variações Termopluviométricas Anuais na Região do Centro do Rio de Janeiro no ano 2021

A Figura 9 apresenta as médias das variações termopluviométricas anuais na região do centro da cidade no ano 2021 onde se verifica maior precipitação nos primeiros meses do ano (verão), com máximas de 171 mm e com mínima de 45 mm no mês de agosto (inverno) (DERECZYNSKI et al., 2009). Pode-se verificar que as chuvas não são constantes e extremamente baixas na região do museu, indicando a falta de limpeza natural das cúpulas e fachadas, intensificando o acúmulo de poluentes.

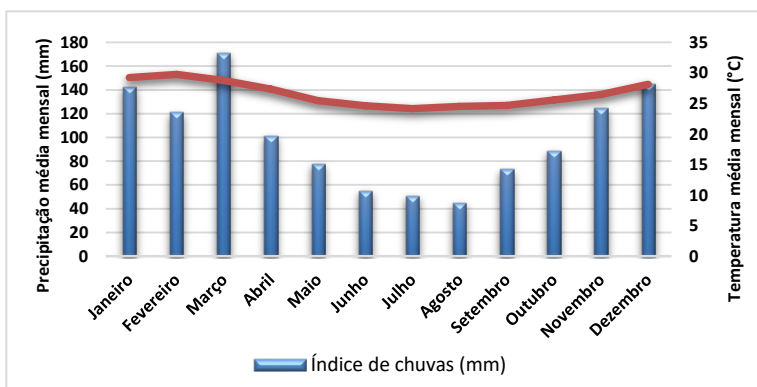
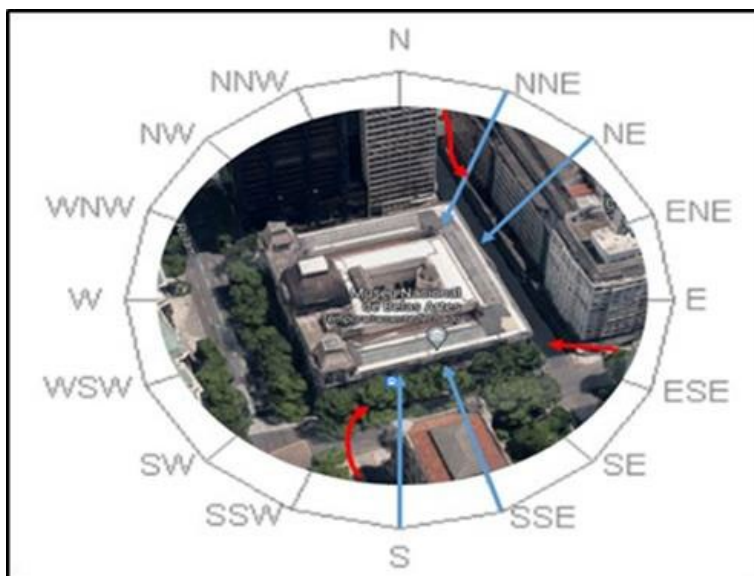


Figura 9: Climograma do Centro do RJ (Estação Meteorológica do Aeroporto Santos Dumont).

4.4. | Direção do Vento no Entorno do MNBA

Na Figura 10 observa-se que a direção predominante dos ventos ocorre entre o sul (S) e o sudeste (SE), representada pela seta de cor azul, ou sul-sudeste (SSE), com ocorrências de outras direções como nor-nordeste (NNE) entre o norte (N) e o Nordeste (NE).

Foi possível observar que devido aos grandes edifícios no entorno do museu, os ventos oriundos de NNE e SSE sofrem um desvio, como indicado pela seta de cor vermelha, não atingindo diretamente a fachada do prédio nessas direções. A direção frequente do sul (S) é devido a uma forte influência da circulação da brisa marítima e da direção norte (N) correspondente a ventos de brisa terrestre, devido à maior proximidade desta com o Oceano Atlântico, de acordo com os dados da estação meteorológica do aeroporto Santos Dumont.



Fonte: Disponibilização de Informações Climatológicas.

Figura 10: Direção de predominância dos ventos.

4.5. | Incidência Solar no MNBA

Por meio da Figura 11 é possível verificar que nos meses de verão a incidência solar ocorre na maior parte do dia na fachada voltada para o Leste. As cúpulas têm incidência direta do sol apenas no horário de 12h, podendo resultar na evaporação intensa da umidade local, interferindo na resistência mecânica das argamassas.

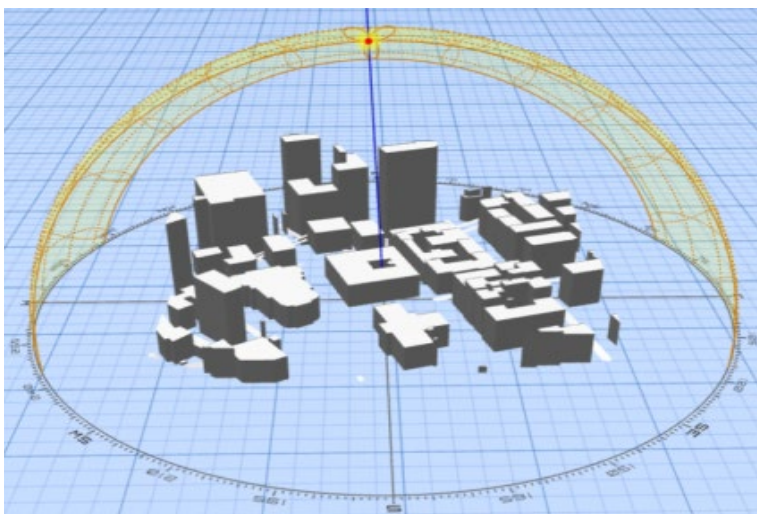


Figura 11: Simulação da insolação no verão às 12h.

Nos meses de inverno, devido aos altos edifícios adjacentes ao Museu, até às 12h a fachada Leste quase não tem incidência direta do sol, Figura 12.

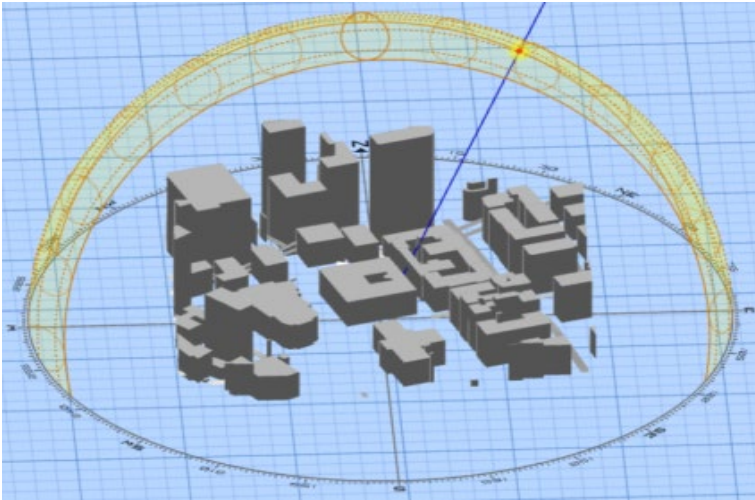


Figura 12: Simulação da insolação no inverno às 10h.

4.6. | Avaliação de Poluentes Atmosféricos e Dureza das Cúpulas nas três Cúpulas

Os valores das concentrações dos íons de Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} e SO_4^{2-} oriundos da atmosfera poluente foram expostos no modelo esquemático do MNBA na Figura 13, bem como os valores de dureza.

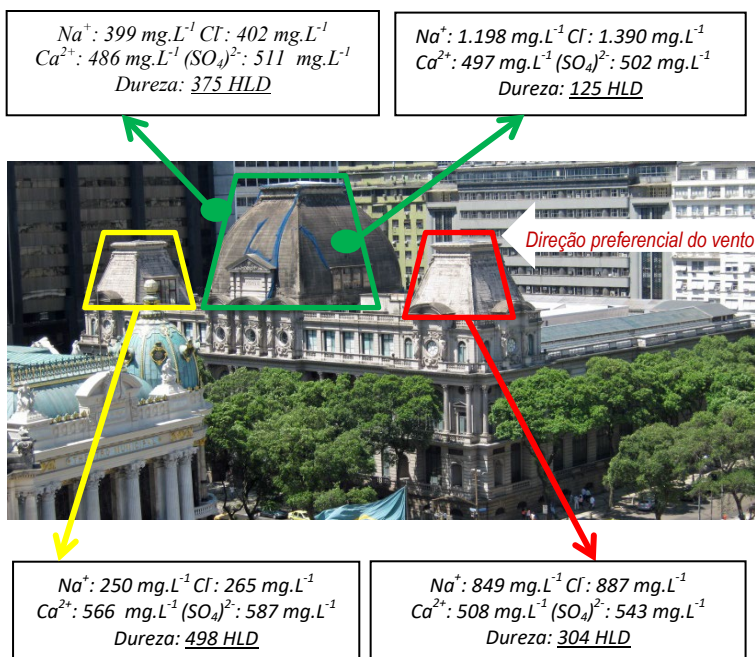


Figura 13: Resultados de poluentes e dureza em cada cúpula.

A **Cúpula Sul** apresenta teores de íons sódio na ordem de 1.200 mg.L⁻¹ e cloreto na ordem de 1.400 mg.L⁻¹, devido à maior ação das correntes de vento de sul e sudeste oriundas do oceano, ocasionando maior depósito salino nessa cúpula, acarretando acelerada eflorescência, oxidação das ferragens de amarração e perda de resistência mecânica, considerando o valor de dureza nessa região de 125 HLD. Vale ressaltar que a dureza em regiões não afetadas pela ação salina encontra-se na faixa de 700 HLD.

No que tange à **Cúpula Central**, esta também recebe forte influência das correntes de vento do Sul e Sudeste. Os teores de Na⁺ e Cl⁻ chegam a 850 e 890 mg.L⁻¹, respectivamente, na região vizinha

à cúpula sul e encontram-se em torno de 400 mg.L⁻¹ na região vizinha à cúpula Norte. Nessa cúpula, os valores de dureza encontram-se em torno de 300 HLD, indicando, também, acelerado processo de degradação.

Em relação à **Cúpula Norte**, os teores de Na⁺ e Cl⁻ chegam a 250 e 265 mg.L⁻¹, respectivamente, pois há menor influência das correntes do Sul e Sudeste oriundas do oceano e os valores de dureza encontram-se na ordem de 500 HLD, indicando maior coesão das argamassas dessa cúpula. Porém, o acúmulo de cloreto de sódio, mesmo em menor proporção, ocasiona degradação da referida cúpula.

Em termos de íons cálcio e sulfato, verificam-se teores em torno de 500 mg.L⁻¹ em todas as três cúpulas, principalmente devido à ação de emissões veiculares de SO_x, que atingem as superfícies das cúpulas e, ao longo do tempo, ocasionando a reação com o cálcio presente nas argamassas gerando sulfato de cálcio em boa parte das cúpulas, evidenciando acelerados pontos de degradação.

4.7. | Melhoria dos Emplastos

4.7.1 | Determinação dos sais contidos na argamassa da cúpula central

Os resultados da análise química por ICP-plasma das argamassas foram separados da parte interna e externa, segundo indicado na Tabela 1. Segundo os resultados obtidos o percentual de NaCl foi muito superior ao do CaSO₄. Já a diferença da parte interna e externa uma variação mais significativa foi encontrada para o sal CaSO₄, que apresentou maiores concentrações na parte interna, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Teores (mg.L⁻¹) de NaCl e CaSO₄ na Cúpula Central.

	Na ⁺ (mg.L ⁻¹)	Cl(mg.L ⁻¹)	Ca ²⁺ (mg.L ⁻¹)	(SO ₄) ²⁻ (mg.L ⁻¹)
Parte externa	849	887	508	543
Parte interna	789	808	604	600

4.7.2 | Emplastro com algodão e pasta de celulose a 25°C

As Figuras 14 e 15 apresentam os resultados obtidos das concentrações dos íons sódio, cloreto, cálcio e sulfato no processo de emplastro utilizando pasta de celulose e algodão, respectivamente, na argamassa da parte externa do museu a uma temperatura de 25°C. Na Figura 14, verifica-se que quando se utiliza a pasta de papel, a remoção na primeira hora chega a 300 mg.L⁻¹ de íons sódio e cloreto e cerca de 200 mg.L⁻¹ de íons cálcio e sulfato, mantendo-se constante até a 3ª hora de ensaio. Após 5h de ensaio as concentrações desses íons são extremamente reduzidas, verificando-se apenas cerca de 50 mg.L⁻¹ de cloreto e sódio e 20 mg.L⁻¹ para cálcio e sulfato. Já na 6ª h de ensaio verificam-se traços desses íons. Dessa forma, observa-se que as três primeiras horas de ensaios são as mais significativas onde há remoção de mais de 90% dos íons presentes na argamassa e que após 5h de emplastro os demais 10% desses íons são removidos.

No caso da utilização do algodão como emplastro, observa-se na Figura 5 uma remoção mais lenta dos íons, visto que foram necessárias 5h de ensaio para remoção de cerca de 80% dos íons e que após 6h de emplastro há ainda íons a serem removidos indicando que esse tipo de emplastro não é tão eficiente quanto à utilização de pasta de celulose.

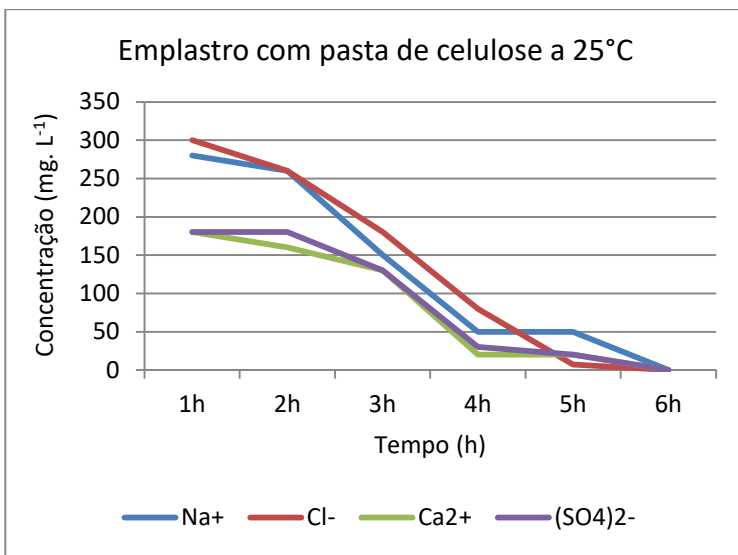


Figura 14: Emplastro com pasta de celulose sem filme plástico a 25°C.

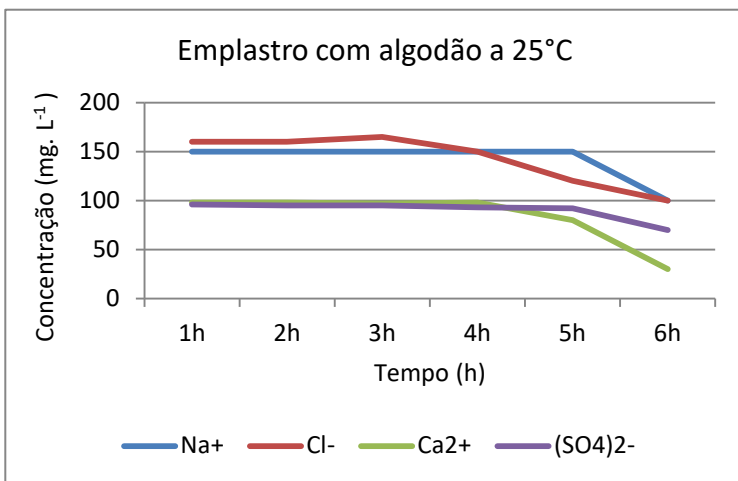


Figura 15: Emplastro com algodão sem filme plástico a 25°C.

No caso da utilização desses mesmos emplastos, porém havendo recobrimento dos mesmos com filme plástico, observa-se nas Figuras 16 e 17 que as remoções são mais efetivas já em 3 horas de ensaio, uma vez que a cobertura plástica impede a evaporação da água, favorecendo a ascensão de mais íons em menor tempo. No entanto, verifica-se mais uma vez que o uso de pasta de celulose é mais efetivo que a utilização de algodão.

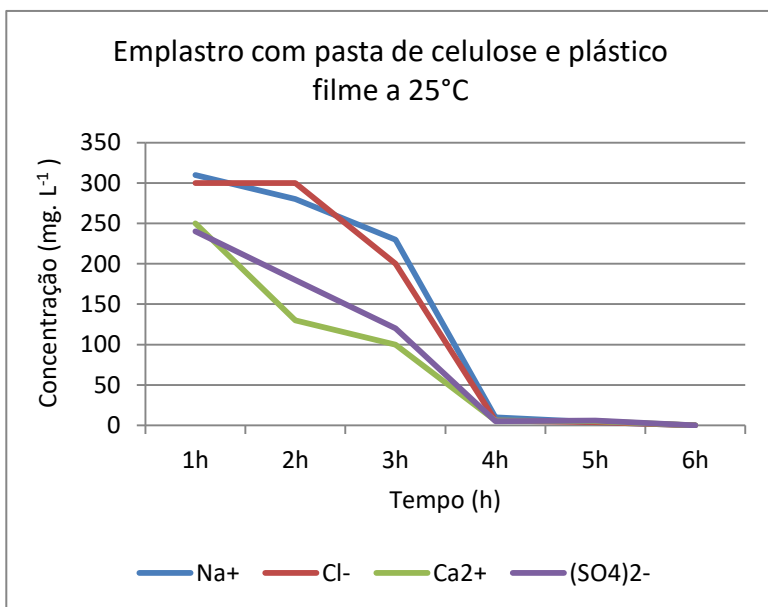


Figura 16: Emplastro com pasta de celulose e filme plástico a 25°C.

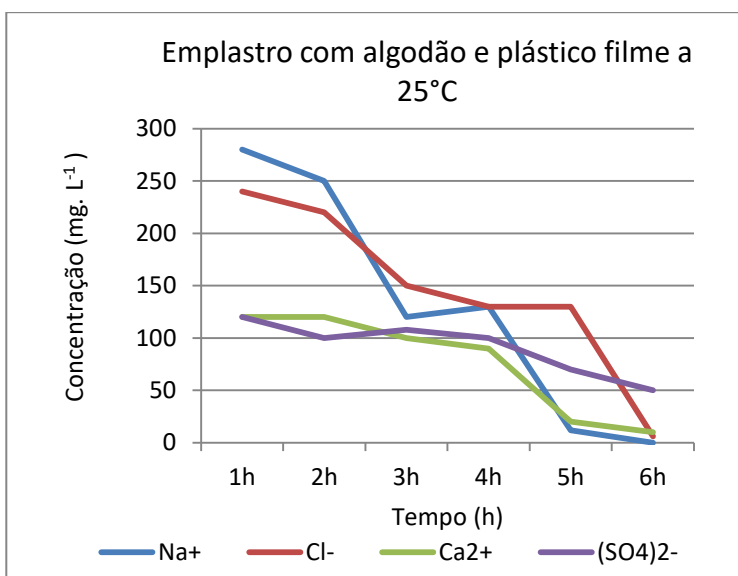


Figura 17: Emplastro com algodão e filme plástico a 25°C.

4.7.3 | Emplastro com algodão e pasta de celulose a 40°C

Nas Figuras 18 e 19 pode-se verificar o comportamento do emplastro de pasta de celulose e algodão sem filme plástico, respectivamente, e com filme plástico, Figuras 20 e 21, respectivamente, mas variando a temperatura para 40°C. Pode-se verificar que o aumento de temperatura favorece a remoção dos sais, visto que em 2h de avaliação mais de 99% dos íons já haviam sido retirados. O padrão de remoção utilizando-se a pasta de celulose foi mais efetivo que o algodão e a utilização de cobertura plástica favorece a intensidade de remoção dos meios emolientes.

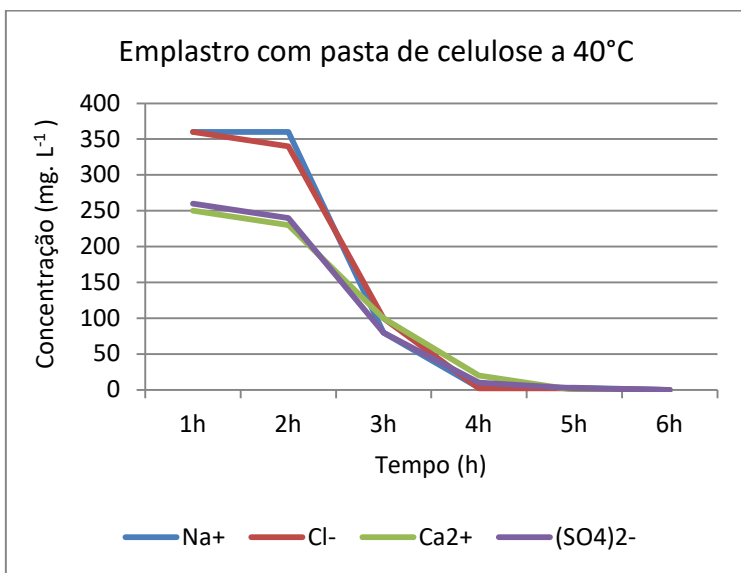


Figura 18: Emplastro com pasta de celulose sem filme plástico a 40°C.

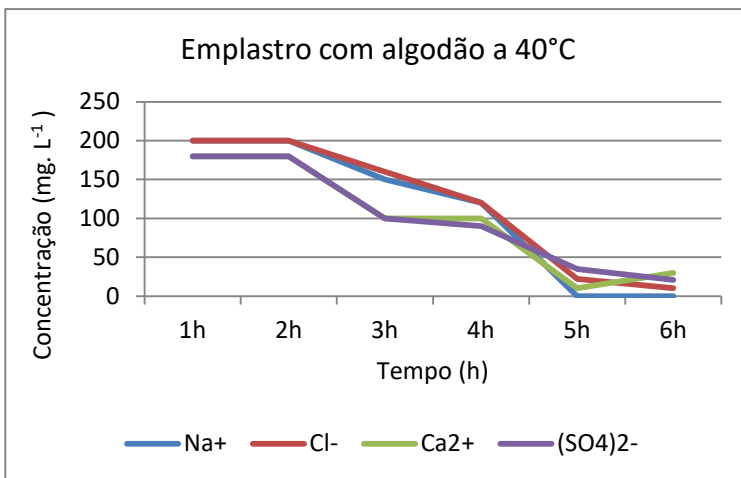


Figura 19: Emplastro com algodão sem filme plástico a 40°C.

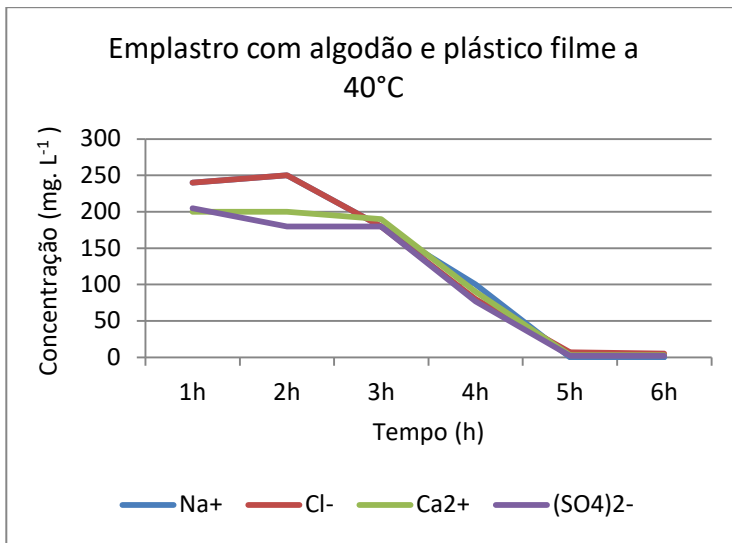


Figura 20: Emplastro com pasta de celulose com filme plástico a 40°C.

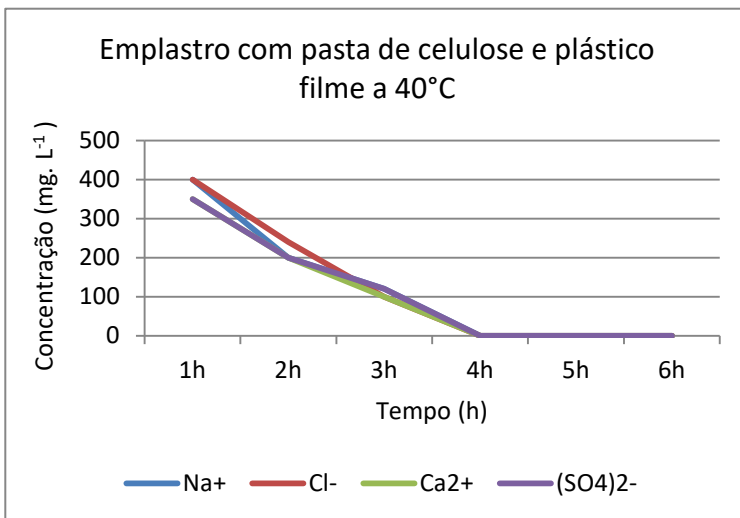


Figura 21: Emplastro com algodão com filme plástico a 40°C.

5 | CONCLUSÕES

Pôde-se concluir que as cúpulas do Museu Nacional de Belas Artes apresentam acelerado processo de degradação causado pelo acúmulo de cloreto de sódio oriundo do oceano, sendo as cúpulas sul e central as mais atingidas devido a ação das correntes de ventos do sul e sudeste. Observando-se que teores desse sal ultrapassam 1.000 mg.L^{-1} , ocasionando oxidação das ferragens de sustentação e perda de resistência mecânica, visto que a dureza das argamassas chega a 125 HLD, onde deveria apresentar resultados no entorno dos 700 HLD. Observam-se, também, acúmulos de enxofre nas três cúpulas oriundo da emissão veicular que circulava na frente do prédio até o ano de 2013, tal elemento se associou ao cálcio presente nas argamassas formando gipsita em várias regiões das cúpulas, criando-se pontos de fragilidade.

Em relação aos emplastros a 25°C pôde-se concluir que a pasta de celulose foi mais efetiva que os que utilizaram algodão, principalmente devido à maior área superficial da pasta de celulose, sendo capaz de remover mais de 90% dos íons presentes na estrutura da argamassa em apenas 3h de ensaio. Já com o algodão, mesmo após 6h de ensaio havia traços dos íons contaminantes.

O aumento da temperatura para 40°C , nos diferentes processamentos de emplastros, permite aumento da eficiência de remoção iônica, uma vez que em menos de 3h de ensaio mais de 95% dos íons contaminantes já haviam sido removidos.

Em relação ao recobrimento do emplastro com filmes plásticos, este permite maior remoção dos íons contaminantes em menor tempo, pois o filme impede a evaporação da água, facilitando o processo de remoção dos íons por capilaridade.

Define-se, então, que a limpeza de argamassas contaminadas por sais inorgânicos é otimizada quando se utiliza um tempo mínimo de 3 horas usando-se pasta de celulose como emoliente, com recobrimento de filme plástico e água destilada a uma temperatura de 40°C.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIRES-BARROS L., 1991. Alteração e Alterabilidade de Rochas. INIC, Lisboa.

AVENTRITUR. Disponível em: <https://www.aventritur.com.br/2016/07/mnba-museu-nacional-de-belas-artes.html>. Acessado em 16 de dezembro de 2021.

CAPOBIANCO, M. Veja Rio. Grupo Abril. Publicado em 5 de março de 2020. <https://vejario.abril.com.br/cidade/museu-nacional-belas-artes-restauracao/>. Acesso em: 16 de dezembro de 2021.

DERECZYNSKI, C.P. et al (2009) Climatologia da precipitação no município do Rio de Janeiro, Revista Brasileira de Meteorologia, v. 24, n. 1, 24-38.

FIGUEIREDO, T. Museu Nacional, no Rio, reabre com "Primeira Missa" restaurada: MNBA se moderniza e promove recuperação da fachada, cúpulas e galerias. Folha de São Paulo-Ilustrada. 2006. Disponível em <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/ilustrad/fq1812200617.htm>. Acessada em 8 de janeiro de 2021.

Instituto Brasileiro de Museus (IBRAM). Museu Nacional de Belas Artes (MNBA). Projeto Básica: Concorrência N° 1/2019-MNBA. SEI/IBRAM - 0692156. EDITAL N° 1/2019/MNBA; CONC1/MNBA. <https://www.museus.gov.br/wp-content/uploads/2020/01/Projeto-Basico-Conc-01-2019.pdf>. 2019. Acessado em 8 de janeiro de 2021.

Museu Nacional de Belas Artes (MNBA). Histórico. Disponível em: <https://antigo-mnba.museus.gov.br/museu/historico>. Acessado em: 16 de dezembro de 2021b.

Museu Nacional de Belas Artes (MNBA). In: ENCICLOPÉDIA Itaú Cultural de Arte e Cultura Brasileira. São Paulo: Itaú Cultural, 2021. Disponível em: <http://enciclopedia.itaucultural.org.br/instituicao16694/museu-nacional-de-belas-artes-mnba>. Acesso em: 16 de dezembro de 2021a.

PUCCIONI, S. (2009). Restaurando as cúpulas de Bernardelli. Anuário do Museu Nacional de Belas Artes, v. I, pp. 217-228.

VENTURA, L.M.B.; PINTO, F.O. Instituto Estadual do Ambiente INEA (RJ). Inventário de emissões de fontes veiculares: região metropolitana do Rio de Janeiro, Ano-Base 2013 Gerência de Qualidade do Ar, 2016. <<http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/01/Invent%C3%A1rio-de-Emiss%C3%B5es-de-Fontes-Veiculares.pdf>> acesso em 11 de julho de 2022.

VILES, H.A. (1997). Urban Air Pollution and the Deterioration of Buildings and Monuments. In *The Global Environment* (eds D. Brune, D.V. Chapman, M.D. Gwynne and J.M. Pacyna). <https://doi.org/10.1002/9783527619658.ch34>.

WOOLFITT, C. e ABREY, G. (2000) Poullices. In: *Building Conservation directory*. Wiltshire: Cathedral Communications.

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 2023, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, mais de 380 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-119 – **Biodeterioração dos painéis de azulejos de Cândido Portinari do Palácio Gustavo Capanema.** Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, Giovana Oliveira dos Santos Consoli, Cláudia Regina Nunes, 2022.

STA-118 – **Processos de fabricação de cerâmica vermelha.** Mariane Costalonga de Aguiar, Monica Castoldi Borlini Gadioli, Maria Angélica Kramer Sant'Anna, Ana Júlia Nali Giori, 2022.

STA-117 – **Efeito da Poluição atmosférica nas rochas das fachadas do Paço Imperial do Rio de Janeiro.** Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, Caroline Martins de Souza, Amanda Menezes Ricardo, 2021.

INFORMAÇÕES GERAIS

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral
Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ
Geral: (21) 3865-7222
Biblioteca: (21) 3865-7218
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 45 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.