

SÉRIE Tecnologia Ambiental

**Recomposição de escultura
em mármore presente no
Cemitério do Catumbi – RJ
por meio de impressão 3D**

Vitória da Silva Freitas
Roberto Carlos da Conceição Ribeiro
Marceli do Nascimento da Conceição
Rosana Elisa Coppedê da Silva



SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

**Recomposição de escultura em mármore presente no
Cemitério do Catumbi - RJ por meio de impressão 3D**

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 - 131

Recomposição de escultura em mármore presente no Cemitério do Catumbi - RJ por meio de impressão 3D

Vitória da Silva Freitas

Aluna de Graduação em Conservação e Restauro da UFRJ,
Estagiária do CETEM/MCTI.

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

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

Marceli do Nascimento da Conceição

Química, D.Sc., Bolsista PCI do CETEM/MCTI.

Rosana Elisa Coppedê da Silva

Engenheira Geóloga, D.Sc. Bolsista PCI do CETEM/MCTI.

CETEM/MCTI

2024

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

Editor: Luís Gonzaga Santos Sobral

Subeditor: Andréa Camardella de Lima Rizzo

CONSELHO EDITORIAL: Saulo Rodrigues P. Filho (UNB), Jorge Rubio (UFRGS), José Ribeiro Aires (CENPES), Luís Enrique Sánches (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 © 2024 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

R311

Recomposição de escultura em mármore presente no Cemitério do
Catumbi - RJ por meio de impressão 3D / Vitória da Silva Freitas
[et al.] – Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2024.

52 p. - (Série Tecnologia Ambiental; 131).

ISBN 978-65-5919-083-6.

1. Rochas ornamentais. 2. Arte funerária. 3. Impressão 3D.
I. Freitas, Vitória da Silva. II. Ribeiro, Roberto Carlos da Conceição.
III. Conceição, Marceli do Nascimento da. IV. Silva, Rosana Elisa
Coppedê da. V. Centro de Tecnologia Mineral. VI. Série.

CDD 552.4

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

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Cemitério do Catumbi	9
1.2 Rochas Ornamentais	10
1.3 Arte Funerária	11
1.4 Alterações nas Esculturas	14
1.5 Impressão 3D	18
2 OBJETIVO	19
3 METODOLOGIA	20
3.1 Estudo das Intervenções Contemporâneas do Ponto de Vista da Restauração	20
3.2 Objeto de Estudo	21
3.3 Realização de Mapeamento de Danos	23
3.4 Avaliação Microbiológica	24
3.5 Avaliação de Sujidades e Água de Lavagem	25
3.6 Análises Química e Mineralógica	27
3.7 Avaliação de Dureza	29
3.8 Avaliação Colorimétrica	30
3.9 Preparação dos Compósitos	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
4.1 Mapeamento de Danos e Identificação	34
4.2 Avaliação Microbiológica	36
4.3 Avaliação de Sujidades e Água de Lavagem	38
4.4 Análises Química e Mineralógica	38
4.5 Avaliação de Dureza	40
4.6 Avaliação Colorimétrica	40
4.7 Caracterização dos Compósitos	46
4.8 Impressão 3D em Pó	46
5 CONCLUSÕES	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

RESUMO

A arte funerária em rochas ornamentais data, aproximadamente, do século XIX, mesmo período em que foi construído o Cemitério São Francisco de Paula no bairro do Catumbi na cidade do Rio de Janeiro, que conta com diversas esculturas em mármore, lioz e gnaisses facoidais, dentre outros, que representam enorme beleza sacra. Tais esculturas, além das ações intempéricas, como chuvas ácidas e maresia, sofrem drasticamente pela ação humana, devido aos furtos de objetos metálicos que acarretam danos irreversíveis à parte pétreo. O presente trabalho tem como objetivo a restauração volumétrica de parte de uma asa de uma escultura de um anjo do cemitério supracitado por meio de impressão 3D em pó, uma vez que não se encontram mais escultores de pedras no Brasil. Dessa forma, foram realizadas análises química (FRX) e mineralógica (DRX), determinações de dureza e colorimetria na escultura para servir de base para geração da asa nas mesmas condições por meio da impressão 3D. Os resultados indicaram que a escultura é constituída de mármore de Carrara, com dureza entre 200 e 400HLD, apresentando padrão colorimétrico de luminosidade em torno de 70°. A asa então foi confeccionada utilizando-se uma mistura de pós de mármore de Carrara com a composição de 29% de 0,85 mm; 43% de 0,106 mm, 14% 0,180 mm e 14% da resina epoxídica, pois apresentou resultado de luminosidade em torno de 70° e dureza superior a 400 HLD, assegurando sua reprodução em impressora 3D, permitindo sua reintegração à escultura seguindo-se os princípios da conservação e restauração, uma vez que há compatibilidade de materiais, reversibilidade, além da reestruturação da instância estética da escultura e a preservação de seu valor histórico e sentimental.

Palavras-chave

Arte funerária, Rochas ornamentais, impressão 3D.

ABSTRACT

The funerary art in ornamental rocks dates from approximately the 19th century, the same period in which the São Francisco de Paula Cemetery was built in the Catumbi neighborhood in the city of Rio de Janeiro, which has several sculptures in marble, lioz and facoidal gneisses, among others, which represent enormous sacred beauty. Such sculptures, in addition to weathering actions such as acid rain and salty sea air, suffer drastically from human action, due to the theft of metallic objects that cause irreversible damage to the stone part. The present work aims at volumetric restoring of part of a wing of a sculpture of an angel from the aforementioned cemetery by means of 3D powder printing, since there are no more stone sculptors in Brazil. In this way, chemical (FRX) and mineralogical (DRX) analyses, hardness determinations and colorimetry were carried out on the sculpture to serve as a basis for generating the wing under the same conditions through 3D printing. The results indicated that the sculpture is made of Carrara marble, with hardness between 200 and 400HLD, with a colorimetric standard of luminosity greater than 70°. The wing was then made using a mix of Carrara marble powders with a composition of 29% 0.85 mm; 43% 0.106, 14% 0.180 mm and 14% of the epoxy resin, as it presented a result of luminosity greater than 70° and hardness greater than 400 HLD,) ensuring its reproduction in a 3D printer, allowing its reintegration into the sculpture following the principles of conservation and restoration, since there is compatibility of materials, reversibility, in addition to the restructuring of the sculpture's aesthetic instance and the preservation of its historical and sentimental value.

Keywords

Funerary art, ornamental rocks, 3D printing.

1 | INTRODUÇÃO

1.1 | Cemitério do Catumbi

Em 28 de outubro de 1828 a promulgação da lei imperial, que determinava o dever das câmaras municipais de elaborar posturas sobre o estabelecimento de cemitérios no interior das igrejas, levou a Ordem Terceira São Francisco de Paula a transferir os sepultamentos, antes realizados no interior da igreja homônima, prática comum no Brasil, para um anexo lateral da mesma. Entretanto, graças à epidemia de febre amarela, o aumento de casos de falecimento superlotou o pequeno anexo, localizado no centro histórico da cidade do Rio de Janeiro, e fez-se, assim, a necessidade da realocação do cemitério em uma nova localidade (Figura 1).



Figura 1. Delimitação geográfica do Cemitério. Retirada de: Google Maps.

Surge, então, a compra de uma chácara localizada na Rua Catumbi, N° 22, e em 1850 houve a inauguração do cemitério. A realocação do cemitério trouxe, também, diversas esculturas ricas em técnicas construtivas e sentidos iconográficos.



Figura 2. Aquarela do bairro do Catumbi no séc. XIX

1.2 | Rochas Ornamentais

Apesar da visão geológica mostrar que nem toda rochas silicáticas serem granitos e nem todas as carbonáticas serem mármore, do ponto de vista comercial as rochas ornamentais apresentam a seguinte divisão: silicáticas, classificadas como granito e carbonáticas, classificadas em mármore, além de outras que não se enquadram nestas classificações, como quartzitos, calcários e ardósias (RICARDO, 2011). Além da divisão entre texturas, podendo enquadrar-se em isotrópicas ou anisotrópicas, sendo a primeira a textura homogênea da rocha, e a segunda seu estado mais natural (MELO et al. 2008).

Estas rochas, pelas diversas possibilidades de trabalhos estéticos, têm ampla utilização em elementos arquitetônicos tais como fachadas e pisos, revestimentos internos e externos, inclusive em bancadas e são comumente encontrados em granitos, ardósias, arenitos e mármore. Graças aos seus valores visuais, sua resistência física e durabilidade, desempenham um papel essencial desde a construção arquitetônica a obras constituídas de valor artístico, dentre elas destaca-se a arte funerária.



Figura 3. Fachada em mármore do Edifício Residencial Savoy, Ilha da Madeira. Imagem de: João Morgado.

1.3 | Arte Funerária

Apesar da grande desvalorização, enquanto arte, ao se falar de monumentos funerários, visto que apenas na década de 1980 os

historiadores brasileiros começaram a abordar o tema e fazer investigações por trás de sua iconografia (BORGES, 2011), a cultura marajoara já trazia urnas funerárias confeccionadas em materiais cerâmicos no que se datava entre 400 e 1.400 a.C. e que traziam como objetivo a proteção e o descanso das cinzas dos falecidos naquele povo (BARBOSA; TOJA, 2019). Faz-se, também, interessante ressaltar que para a Carta de Veneza, que tece orientações a princípio da patrimonialidade, um monumento não se limita às criações grandiosas da humanidade, mas rompe essa barreira atingindo obras ou objetos, artefatos e obras cotidianas que marcaram uma cultura (IPHAN, 1964. Art. 1º. Pág. 2).

Com a combinação de fatores que envolvem o progresso da sociedade, o aumento populacional e a exploração de novas técnicas construtivas em materiais artísticos, surge o que hoje conhecemos como arte funerária ou arte tumular. Novos materiais começam a ser explorados à medida que os limites da viabilidade da construção artística se expandem e esculturas em pedra começam a aparecer em locais denominados cemitérios. Apesar de rochas serem matérias primas já utilizadas desde os princípios da humanidade, a riqueza de detalhes minuciosamente trabalhados na representação da figura humana vem como herança da idade moderna, que evoluiu por completo as técnicas artísticas no que se trata à fidelidade na representação do real. Observa-se, então, ao redor de todo o mundo obras cada vez mais ricas artisticamente em cemitérios, ou em túmulos.



Figura 4. Escultura de anjo no cemitério de Montjuïc, em Barcelona. Imagem de: APU Bloguero.

No Brasil, a arte funerária pétreia é fortemente representada pelo escultor mundialmente reconhecido Victor Brecheret. Dentre obras de valor inestimável, o artista modernista criou, inclusive, a obra confeccionada em granito Itaquera: *Mise au Tombeau* (O Sepultamento). Obra exposta no *Salon d'Automne*, exposição anual em Paris, onde recebeu menção honrosa, e logo depois de adquirida por uma família e instalada em um túmulo no Cemitério da Consolação (KUZMICKAS; DEL LAMA, 2014).



Figura 5. Obra *Mise au Tombeau* de Victor Brecheret no Cemitério da Consolação. Imagem de: COMUNALE, Viviane.

A utilização de monumentos funerários em mármore, incluindo especialmente a representação de imagens de anjos, remonta ao início do século XIX, seguindo o padrão neoclássico, período no qual se deu a inauguração do Cemitério do Catumbi.

Com a riqueza da criação de uma nova espiritualidade lírica, a arte funerária vai muito além de uma ornamentação qualquer, cada símbolo presente na escultura é planejado para trazer uma simbologia, carregando consigo um significado específico. (BATISTA, 2009).

1.4 | Alterações nas Esculturas

É de conhecimento geral a existência de dois principais fatores que resultam em danos, sendo eles reversíveis ou não, nos monumentos: a ação do tempo e a ação humana.

Pela constante exposição ao tempo, o intemperismo é um mal que cerca diversas esculturas, visto que as mesmas muitas vezes localizam-se a céu aberto, sem qualquer proteção dos danos causados pelas ocorrências ambientais e pela poluição. O Glossário Ilustrado das Formas de Deterioração em Rochas publicado pelo Conselho Internacional de Monumentos e Sítios (ICOMOS) apresenta uma visão geral das formas de degradação comumente encontradas. Dentre estas, algumas das mais vistas no âmbito da restauração de monumentos pétreos são: Eflorescência, causada pelo acúmulo de cristais de sal, alterações colorimétricas, podendo ser causadas pelo depósito de sujidade ou de altas concentrações de substâncias poluentes em locais onde o tráfego se dá mais movimentado, crostas negras, que se dão pela formação de uma camada de gesso (cristais de gipsita) graças a interação química do enxofre com materiais pétreos que apresentem carbonato, resultando em alterações que podem comprometer desde a instância estética da obra até sua estrutura.



Figura 6. Obra apresentando crosta negra na Catedral de Namburg, Alemanha. Imagem retirada de: Illustrated Glossary on Stone Deterioration Patterns, ICOMOS, 2008, p.43.

Já os danos causados pelas ações humanas consistem desde métodos inapropriados de limpeza em técnicas como o emplastro, que podem causar de manchamentos, alterações colorimétricas até a perfuração da superfície das rochas (LACERDA e RIBEIRO, 2016), choques mecânicos acarretados por transeuntes ou no deslocamento de obras e atrelado, a isso observa-se ainda o roubo de peças metálicas para a venda, gerando danos na parte pétreo dos monumentos, muitas vezes gerando perda de partes indispensáveis para a iconografia das obras.



Figura 7. *Pietà*, escultura de Michelangelo após ser vandalizada com 15 golpes de marreta, Basílica de São Pedro em Roma. Imagem retirada de: L'Arte e Arquitetura.

1.5 | Impressão 3D

A Combinação dos problemas supracitados com a ausência de escultores que possam confeccionar próteses para atender as necessidades de lacunas volumétricas, especialmente em bens que apresentam técnicas construtivas em materiais pétreos por serem muitas vezes mais complexos de se trabalhar com certa riqueza de detalhes pelas próprias características da rocha, acarreta na inviabilização de restauração de obras de valores inestimáveis.

Como uma tentativa de resolução deste problema, tem-se a impressão 3D, já amplamente utilizada em diversas linhas de pesquisa.

Quando se trata de esculturas, a combinação de técnicas de escaneamento e impressão 3D foi um fator essencial para a confecção de obras e protótipos em diferentes materiais e escalas pelo uso da manufatura aditiva, processo construtivo de um material confeccionado em diferentes camadas compilando dados de modelagem (SARGENTIS et al. 2022), e já vinha sendo utilizada há algum tempo na arte contemporânea.

Entretanto, no âmbito da restauração de patrimônio pétreo, utilizando resina atrelada a um pó em diferentes percentuais granulométricos da mesma rocha tem-se um composto próprio para o restauro, respeitando, assim, as instâncias estéticas e históricas da obra.

2 | OBJETIVO

O presente trabalho teve como objetivo realizar a reintegração volumétrica de uma asa em uma estátua pétrea de anjo localizada no Cemitério da Ordem Terceira de São Francisco de Paula, no bairro do Catumbi, RJ, por meio de impressão 3D.

3 | METODOLOGIA

3.1 | Estudo das Intervenções Contemporâneas do Ponto de Vista da Restauração

Antes de qualquer análise ou intervenção direta na obra fez-se necessário um estudo prévio da teoria da conservação e restauração para que se respeitassem, principalmente, seus critérios, com a finalidade de estudar a viabilidade da confecção de uma prótese em impressão 3D.

Com o passar dos anos as técnicas aplicadas à preservação dos bens evoluiu, muitas antes comumente utilizadas caíram em desuso e a invenção de novas tecnologias trouxeram um novo olhar para a possibilidade de solução de antigos problemas (RIBEIRO et al. 2020); entretanto, é necessário observar com atenção o que a fundamentação teórica diz a respeito dos novos materiais e manter-se fiel às recomendações dadas pela Carta de Veneza, a guia utilizada por profissionais da área para tomar escolhas éticas e dentro da legislação, além de estudiosos teóricos que, através de análises, geram recomendações e reflexões acerca do patrimônio histórico cultural.

De acordo com o artigo 10º da Carta de Veneza, publicada em 1964 pelo IPHAN, ao não haverem técnicas tradicionais adequadas para a restauração de uma obra, desde que comprovado cientificamente a eficácia do método, possibilita-se a viabilidade de técnicas modernas de restauração (p.3).

Além disso, para Muñoz Viñas, um dos maiores teóricos dentro do âmbito da conservação e restauração, algumas normas antigas utilizadas na teoria do restauro tornaram-se, com o tempo, obsoletas e limitantes no quesito de salvaguarda do bem (VIÑAS. 2004).

3.2 | Objeto de Estudo

Trata-se de uma estatueta representando a imagem de um anjo, presente no cemitério do Catumbi apresentando acelerado processo de degradação como pode ser observado na Figura 8A. Ademais, como discutido anteriormente, graças à ação humana observa-se a perda parcial de uma das asas da obra (Figura 8B).

Visto que a iconografia de uma obra é feita pela soma do todo, e cada detalhe, por menor ou mais simples que possa parecer, conta parte da história tanto da obra, do escultor quanto do local, essa perda é o enfoque principal de atenção ao se deparar com a escultura.

Para uma melhor compreensão das escolhas que seriam realizadas posteriormente na proposta de intervenção, realizou-se o preenchimento da ficha de identificação da obra, procedimento padrão realizado na conservação e restauração, para que se pudessem avaliar as técnicas construtivas, os materiais utilizados, datação aproximada, estilo da obra, além da ideia do autor no ato da criação da obra, para que se preserve, ao máximo, não só sua integridade física e estética mas também sua instância histórica.



Figura 8A. Escultura de anjo localizada no Cemitério do Catumbi.



Figura 8B. Perda parcial de uma das asas da escultura.

3.3 | Realização de Mapeamento de Danos

Realizaram-se ensaios organolépticos, que consistiram na inspeção visual da escultura a olho nu para a determinação dos danos com base no Glossário ICOMOS, o que possibilitou uma visão geral dos agentes responsáveis pela deterioração da obra, e em conjunto com a ficha de identificação foi a base para a análise da viabilidade das escolhas de restauração.



Figura 9. Levantamento de dados para realização do mapeamento de danos.

3.4 | Avaliação Microbiológica

Para avaliação microbiológica foram realizados esfregaços utilizando-se *swab* estéril em toda a escultura sendo encaminhado para o Laboratório de Fungos Filamentosos da Fiocruz – RJ. Para cada ponto coletado, o material foi inoculado em placa contendo meio TSB e/ou meio BDA, em duplicatas. O meio TSB (caldo de tripton de soja) é um meio altamente nutritivo e versátil, normalmente utilizado para crescimento de bactérias. Já o meio BDA (Batata Dextrose Agar) é o meio comumente empregado para a cultura de fungos.

Em laboratório, as placas foram mantidas em estufa a 30°C, por 4 dias. Ao final desse tempo, foi possível observar o crescimento de diversas colônias de microrganismos.

A avaliação do crescimento microbiano foi visual, sendo selecionados os diferentes morfotipos presentes nas placas. Após a seleção das colônias, procedeu-se ao esgotamento por estrias no meio sólido correspondente (TSB ou BDA).

As identificações e classificações por gênero e espécies foram feitas segundo Seifert e Gams (2011).



Figura 10. Indicação de local de coleta de amostras microbiológicas.

3.5 | Avaliação de Sujidades e Água de Lavagem

A realização do ensaio se deu com água destilada e escovas de cerdas macias (Figura 11A). Esse material foi decantado e, posteriormente, a parte líquida avaliada por Espectrometria de

Emissão Atômica por Plasma Acoplado (ICP-plasma) para determinação dos íons sódio, cálcio, cloreto e sulfato, e a parte sólida avaliada em Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV-EDS) para análise dos elementos químicos presentes, especialmente a investigação da presença de NaCl. Além da coleta estratégica de sujidades em pontos específicos da escultura que foram analisadas também no MEV-EDS para caracterização elementar, com o auxílio de uma espátula. (Figura 11B).



Figura 11A. Realização da coleta de água de lavagem.



Figura 11B. Coleta de sujidades.

3.6 | Análises Química e Mineralógica

Foram realizadas análises, química e mineralógica, utilizando-se de pequenos fragmentos e grãos que estavam desprendidos de seu corpo original, por meio de fluorescência de raios-X (FRX) e difração de raios-X (DRX) e, posteriormente, avaliação em lupa, com o objetivo de verificar os elementos químicos depositados sobre a estátua e possíveis alterações visuais em lupa.



Figura 12. Fragmentos retirados da base do anjo.

3.7 | Avaliação de Dureza

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



Figura 13. Realização de ensaio de dureza *in situ*.

3.8 | Avaliação Colorimétrica

Também realizada nos pontos onde os ensaios anteriores ocorreram, a determinação colorimétrica utilizou um equipamento *Guide Sphere Gloss*, da marca *BYK*, obtendo valores correspondentes às cores nos eixos a, b e L. Tal análise foi realizada na escultura *in loco* com o objetivo de verificar a degradação e alteração da cor partindo de um mármore são, além da comparação com os compósitos confeccionados em laboratório.



Figura 14. Realização de ensaio colorimétrico *in situ*.

3.9 | Preparação dos Compósitos

Após a determinação do tipo de rocha da escultura, foram preparadas 10 formulações, como apresentado na Tabela 1, contendo Mármore de Carrara comercial que foi cominuído, peneirado e separado em amostras retidas em 0,85 mm, 0,106 mm, 0,180 mm e passante em 0,180 mm. A Figura 15 mostra o aspecto visual dos corpos de prova.

A partir da criação dos corpos de prova apresentados na Tabela a seguir, os mesmos foram submetidos aos ensaios de caracterização que antes foram realizados no anjo: colorimetria (Figura 16A) e dureza (Figura 16B), para que se pudesse chegar ao resultado mais compatível possível com a escultura original.

Tabela 1. Composição das pastas de rocha para impressão 3D.

Amostras	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Resina	5g	5g	5g	5g	4g	4g	3g	5g	5g	5g
> 0,85mm	25g	20g	15g	10g	25g	20g	20g	0g	0g	0g
>0,106mm	5g	5g	10g	15g	5g	5g	5g	0g	0g	30g
>0,180mm	0g	30g	0g							
< 0,180mm	0g	5g	5g	5g	0g	5g	5g	30g	0g	0g



Figura 15. Aspecto visual dos compósitos.



Figura 16A. Avaliação colorimétrica.



Figura 16B. Avaliação de dureza.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 | Mapeamento de Danos e Identificação

Na Figura 17 estão apresentados os principais danos encontrados na escultura, observando-se arenização, perdas de massa, principalmente metade da asa direita, biodeterioração, eflorescências e crostas negras.



Figura 17. Principais danos encontrados.

A realização da ficha de identificação pôde constatar que a obra é confeccionada em mármore de Carrara e a escultura pertence ao neoclassicismo; sua data de confecção estimada data entre 1820-1850, levando em consideração o levantamento histórico do cemitério e o período histórico ao qual a escultura atende. A técnica de construção da mesma é cinzelagem, comumente utilizada para escultura em pedra. Não apresenta camada pictórica. Já o estado do pedestal se encontra menos afetado que a obra em

si, mas ainda muito deteriorado, já que se observam a presença de fissuras, rachaduras, além das intempéries causadas pela exposição ao tempo, depósito de poluentes, microrganismos (Figura 18).



Figura 18. Presença de microrganismos.

Na análise iconográfica a figura do anjo representa a esperança, as asas abertas mostram o voo da alma até o céu, o lenço presente em seu braço representa a pureza, a mão sobre o coração demonstra a empatia e o compadecimento pelo luto dos ali presentes.

4.2 | Avaliação Microbiológica

A avaliação microbiológica indicou que as propagações são na parte interna do azulejo, verificando-se que na área negra há *Aspergillus niger*, *Nigrospora sp.*, *Fusarium sp* e na área rosa há *Aspergillus japonicus*, *Cladosporium sp.*, *Aspergillus nidulans*, *Penicillium sp.* e *Trichoderma sp.*, que são produtores de enzimas (CAZymes, oxidoreductases, proteases, esterases etc.) e ácidos orgânicos e inorgânicos (glucômico, cítrico, fumárico e oxálico), produzidos em seus metabolismos, reagindo com o mármore da escultura, gerando íons Ca^{2+} livres que se associam com o enxofre, oriundo da poluição depositada na parte externa, formando a gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), ponto frágil para degradação da escultura.



Figura 19. Imagem de colonização microbiológica na perna da escultura.

4.3 | Avaliação de Sujidades e Água de Lavagem

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados da água de lavagem da escultura onde se podem observar altos teores e cálcio, indicando a degradação da rocha, principalmente pela ação de microrganismos que geram ácidos orgânicos que atacam esses substratos minerais disponibilizando o cálcio ao ambiente e liberando CO₂. Não foram observados teores substancias de sódio e cloreto, visto que não há uma proximidade tão significativa do mar e os teores de enxofre também são extremamente baixos, principalmente pela escultura não estar tão próxima à via pública não sofrendo, conseqüentemente, a ação da poluição emanada dos veículos.

Tabela 2. Elementos identificados nas águas de lavagem (mg.L⁻¹).

Analitos	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	S total
Local 1	1,4	0,60	39,8	0,65	0,00	1,3
Local 2	1,5	2,1	36,3	0,59	0,81	0,63
Local 3	1,4	0,39	26,8	0,42	0,77	0,63
Local 4	2,2	1,3	25,3	1,2	0,64	2,1
Local 5	2,0	2,2	49,6	1,2	0,34	1,5

4.4 | Análises Química e Mineralógica

A caracterização química indicou que a escultura apresenta cerca de 50% de CaO e 50% perda por calcinação, configurando se tratar de um Mármore e corroborado nos resultados de difração de raios-X, que identificou um pico intenso de calcita e a presença de gipsita oriunda da ação da poluição de enxofre, onde o mesmo

reage com o cálcio da calcita e o transforma em $\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, mineral gipsita, observado em MEV na Figura 20A, além dos elementos químicos observados em aspecto semiquantitativo na Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS), como indica a Figura 20B. A avaliação macroscópica e em lupa confirmaram tratar-se de uma Mármore de Carrara, com inclusões de gipsita indicando o acelerado processo de degradação do monumento.

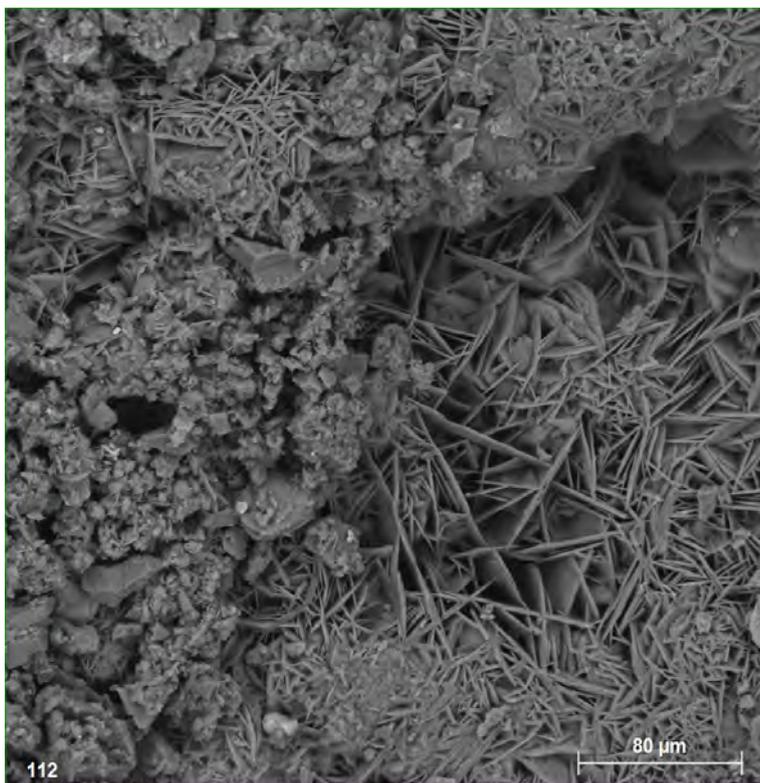


Figura 20A. Imagem de gipsita obtida no MEV.

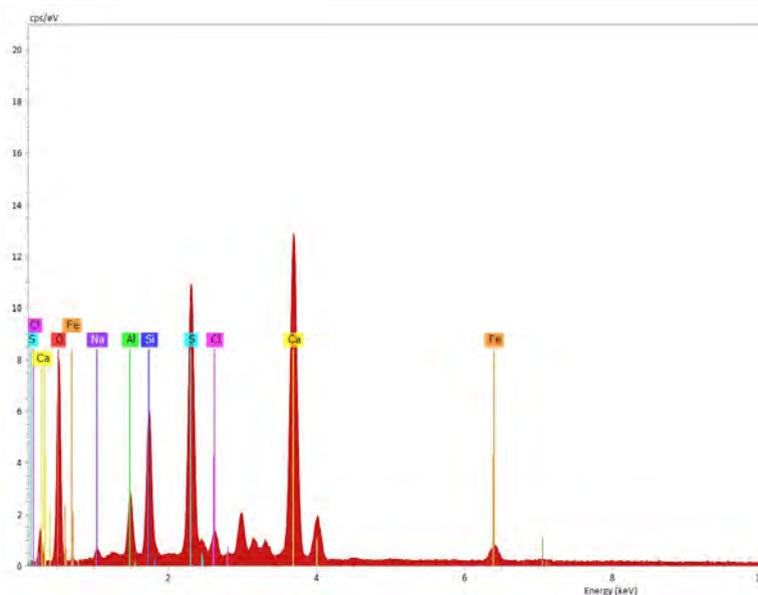


Figura 20B. Verifica-se a presença de Ca, O e S em EDS.

4.5 | Avaliação de Dureza

Os valores de dureza variaram de 266 HLD, na perna da escultura, 262 HLD na asa e 324 HLD no tronco. Tais valores indicam a perda de resistência mecânica da rocha, pois um Carrara são apresenta valores de dureza superiores a 600 HLD. Tal situação ocorre devido ao efeito das intempéries que formaram gipsita na estrutura da escultura, que é um mineral mais frágil que a calcita.

4.6 | Avaliação Colorimétrica

Os resultados colorimétricos se deram utilizando o sistema baseado em camadas cartesianas, conhecido como CIELab,



Figura 22A. Anjo anterior ao processo de higienização visto de frente.



Figura 22B. Anjo anterior ao processo de higienização visto de costas.



Figura 23A. Anjo posterior ao processo de higienização visto de frente.



Figura 23B. Anjo posterior ao processo de higienização visto de costas.

4.7 | Caracterização dos Compósitos

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados colorimétricos e de dureza de cada uma das 10 composições preparadas. Pode-se verificar que as amostras apresentaram valores de luminosidade em torno de 70, similares ao da escultura limpa. Visto que a luminosidade já não seria, então, mais um problema, a escolha se deu entre as amostras que apresentaram maiores resultados de dureza, sendo elas 1 e 4.

Tabela 3. Resultados de colorimetria e dureza dos compósitos.

Amostra	a	b	L	Dureza
Amostra 1	0.33	5.68	68.95	420HLD
Amostra 2	0.47	6.10	68.70	282HLD
Amostra 3	0.54	6.18	68.76	308HLD
Amostra 4	0,26	6.18	68.06	429HLD
Amostra 5	0.41	5.86	68.49	356HLD
Amostra 6	0.31	5.55	66.54	170HLD
Amostra 7	0.26	5.07	63.72	224HLD
Amostra 8	0.85	6.40	72.66	193HLD
Amostra 9	1.48	8.23	67.90	228HLD
Amostra 10	0.64	6.10	68.89	395HLD

4.8 | Impressão 3D em Pó

Baseado nos resultados anteriores, escolheu-se a composição da amostra 04 para abastecimento da impressora 3D de pó do INT, visto que já não era mais uma questão a colorimetria, já que todos os resultados se assemelham ao anjo limpo, o parâmetro de escolha se deu na amostra que apresentava maior dureza.

Logo, utilizando as medidas e características da asa esquerda do anjo, que foi espelhada no sistema de impressão, obteve-se o protótipo apresentado na Figura 24, posteriormente integrado à escultura com pinos de aço inoxidável.

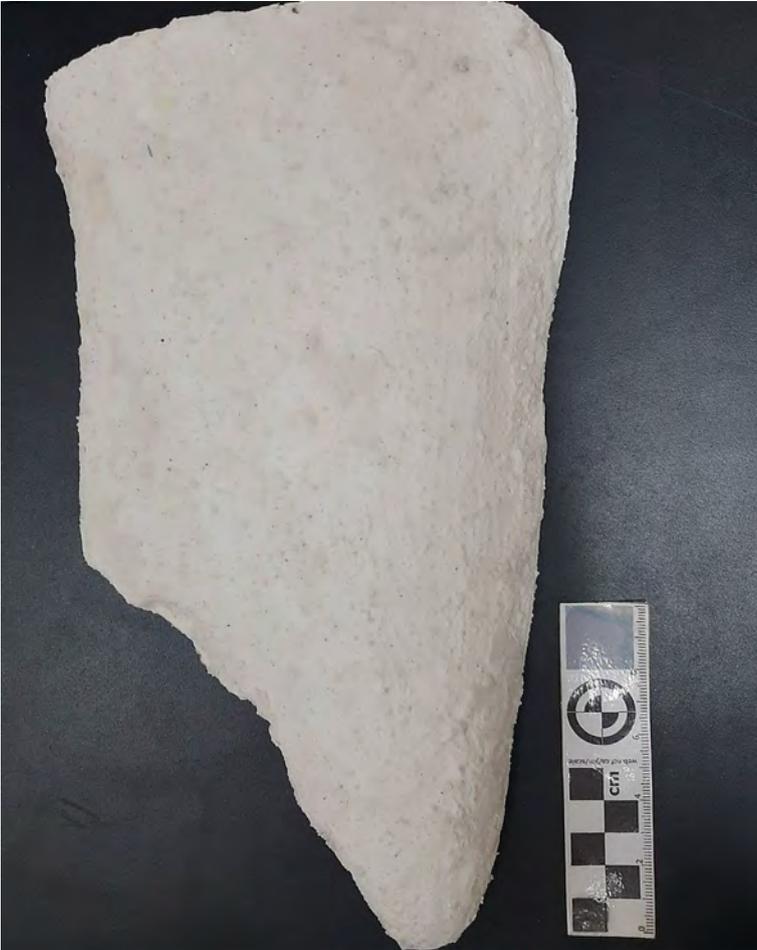


Figura 24. Asa impressa.

5 | CONCLUSÕES

Pôde-se concluir sobre a possibilidade técnica de confecção de peças escultóricas utilizando pó de rochas idêntico aos das rochas de esculturas que foram vandalizadas ou sofreram ações intempéricas. Tal fato é de grande importância devido à ausência de escultores de pedras, que inviabilizam a restauração, gerando grandes lacunas volumétricas. Confirmou-se que a amostra contendo 29% de rocha a 0,85 mm, 43% de rocha a 0,106 mm, 14% de rocha passante em 0,180 mm e 14% de resina apresentaram melhores resultados de dureza de cerca de 430 HLD e com condições colorimétricas semelhantes às da escultura ($L \sim 70^\circ$) assegurando sua reprodução em impressora 3D, permitindo sua reintegração à escultura, seguindo-se os princípios da conservação e restauração, uma vez que há compatibilidade de materiais, reversibilidade, além da reestruturação da instância estética da escultura e a preservação de seu valor histórico e sentimental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, M.B & TOJA, S. (2019). A urna marajoara e o fazer artístico: Uma reflexão sobre a experiência, identidade e intersubjetividade. In: XXVIII Encontro Nacional da Associação Nacional de Pesquisadores em Artes Plásticas Origens. Cidade de Góias.

BATISTA, H.S.A. (2009.) Jardim regado com lágrimas de saudade: Morte e cultura visual da venerável ordem terceira dos mínimos de São Francisco de Paula (Rio de Janeiro, século XIX). Ceará: Prêmio Arquivo Nacional de Pesquisa.

BORGES, M.E. Imagens da morte: Monumentos funerários e análise dos historiadores de arte, 2011. In: XXVI Simpósio Nacional de História - ANPUH. São Paulo. Anais.

BRANDI, C. Teoria da Restauração, Trad. B. M. Kuhl, Cotia - Ateliê Editorial, Coleção Artes & Ofícios, São Paulo. 2008.

CONCEIÇÃO, M.N.; THIRÉ, R. e RIBEIRO, R.C.C., (2018) L'utilisation de résidus minéraux avec le poly(acide lactique) (PLA) pour la fabrication additive et étude des pertes de chaleur en surface des pièces imprimées en 3D, Conférence MATERIAUX 2018, Strasbourg, França.

DOURADO, M.L.; RIBEIRO, R.C.C. Avaliação da deterioração das rochas gnaissicas do Mosteiro de São Bento. XXIV Jornada de Iniciação Científica do CETEM Rio de Janeiro - RJ.

Estudo de Alterabilidade de Rochas como Ferramenta para a Restauração de Monumentos Pétreos. 2011. 79 páginas. Geoconservação. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011.

ICOMOS - Glossário Ilustrado das Formas de Deterioração da Pedra.

KUZMICKAS, L. & DEL LAMA, E.A. Utilização de métodos não destrutivos no Patrimônio Histórico: Estudo de caso da escultura O Sepultamento de Victor Brecheret. 2014.

LACERDA, G.F. & RIBEIRO, R.C. 2016. Análise de possíveis danos a monumentos pétreos causados por métodos de limpeza. IX Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. João Pessoa, Paraíba.

MELO, E.B de & OLIVEIRA, F.M.C. 2008. Escolha dos Tipos Texturais de Rochas e sua aplicação Ornamental. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, Rio Grande do Norte. Anais.

RIBEIRO, C.J.M. et al. A Utilização de impressão 3D em portas centenárias do espaço comum Luiz Estrela: Intervenções contemporâneas em bens integrados. In: V Encontro Luso-Brasileiro de Conservação e Restauro. 2021.

SANTOS, R.S.; RIBEIRO, R.C.C. (2021) Geração de placas informativas para monumentos constituídas de resíduos de pegmatito e resina poliuretana, XXX Jornada de Iniciação Científica do CETEM, Rio de Janeiro – RJ.

SARGENTIS, G.F. et al. 3D Scanning/Printing: A technological stride in sculpture. Technologies. 2022. acesso em: <https://doi.org/10.3390/technologies10010009>.

VIÑAS, S.M. Teoría contemporánea de la restauración. Editorial Síntesis, Madrid. 2004.

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-130 - **Estudo sobre a ação do intemperismo no prédio do Centro de Tecnologia Mineral do Rio de Janeiro.** Ana Beatriz André da Silva Martins, Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, Marcelle Lemos Amorim de Cerqueda, 2024.

STA-129 - **Exhausted fluorescent bulbs: an important target for urban mining of rare earth elements.** Fernanda Veroneso Marinho Pontes, Jéssica Frontino Paulino, Manuel Castro Carneiro, 2023.

STA-128 - **Estudo do material pétreo da escada principal do Museu de Astronomia para orientação ao restauro.** Rosana Elisa Coppedê Silva, Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, Manuella de Lima Ribeiro, Vitória da Silva Freitas, Andrew Christian Oliveira dos Santos, Ana Rafaela Soalheiro Varella Pitta Ribeiro, Lívia Manuela Gomes Caetano, Beatriz Beltrão Rodriguez, 2023.

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 46 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.