

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE BELAS ARTES
CURSO DE CONSERVAÇÃO-RESTAURAÇÃO DE BENS CULTURAIS MÓVEIS

Joana Vasconcelos Borges Morais

**Critérios Técnicos para Escolha de Consolidantes em Esculturas de Madeira: Uma
Aplicação na Obra Madona de Cléber Gouveia**

[Belo Horizonte]

[2025]

Joana Vasconcelos Borges Morais

**Critérios Técnicos para Escolha de Consolidantes em Esculturas de Madeira: Uma
Aplicação na Obra Madona de Cléber Gouveia**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Conservação-Restauração de Bens Culturais Móveis, do Curso de Conservação-Restauração de Bens Culturais Móveis da Escola de Belas Artes da Universidade Federal de Minas Gerais.

Orientador: Prof. Ma Luciana Bonadio

Coorientador: Prof. Dr João Cura

[Belo Horizonte]

[2025]



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

ESCOLA DE BELAS ARTES

**COLEGIADO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO
DE BENS CULTURAIS MÓVEIS**

FOLHA DE APROVAÇÃO

"Critérios Técnicos para Escolha de Consolidantes em Esculturas de Madeira: Uma Aplicação
na Obra Madona de Cléber Gouveia"

JOANA VASCONCELOS BORGES MORAIS

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Graduação em Conservação e Restauração de Bens Culturais Móveis, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Conservação e Restauração de Bens Culturais Móveis, aprovado em 04/07/2025 pela banca constituída pelos membros:

Profa. LUCIANA BONADIO
Orientadora

Prof. JOÃO CURA D'ARS DE FIGUEIREDO JUNIOR
Coorientador

Profa. ALESSANDRA ROSADO
Examinadora

Belo Horizonte, 04 de julho de 2025.



Superior, em 10/07/2025, às 20:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **João Cura D Ars de Figueiredo Junior**, **Professor do Magistério Superior**, em 22/07/2025, às 15:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alessandra Rosado**, **Professora do Magistério Superior**, em 24/07/2025, às 23:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4318130** e o código CRC **0F8307D7**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os professores do curso de Conservação e Restauração, cujos ensinamentos e dedicação foram fundamentais para a minha formação acadêmica e profissional.

À coordenação do Museu de Arte da Pampulha, pela valiosa oportunidade de atuar na restauração de uma obra pertencente ao acervo da instituição, experiência que contribuiu significativamente para meu aprendizado.

À professora Luciana Bonadio, minha orientadora, pela confiança depositada ao me permitir trabalhar com a obra do Museu de Arte da Pampulha, bem como pelo conhecimento transmitido ao longo de todo o processo.

Ao professor João Cura, meu coorientador, pela paciência, dedicação e generosidade na partilha de seu conhecimento, fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Marcelo César de Carvalho pelo auxílio no processo de identificação da madeira, e pelo compartilhamento de bibliografia referente a este tema.

À equipe do CT Nano/UFMG, em especial aos pesquisadores Luciana Cambraia e Marcelo Mantini, pela receptividade e disponibilidade durante a realização dos ensaios mecânicos.

Aos colegas de graduação, pelas trocas de experiências e aprendizados ao longo da jornada, com destaque especial a Débora, Gabriel e Keila, cuja amizade levo comigo com grande carinho.

Ao meu companheiro Francisco, por todo o apoio, presença e incentivo constante durante minha trajetória na graduação.

E, com todo o meu afeto, aos meus pais, Maurício e Adriana, e ao meu irmão, André, por acreditarem nos meus sonhos e estarem sempre ao meu lado, oferecendo apoio incondicional ao longo de toda minha vida

RESUMO

Este trabalho descreve o processo de escolha e aplicação de material consolidante na escultura Madona (1959), de Cléber Gouveia, pertencente ao acervo do Museu de Arte da Pampulha. Esta obra, esculpida em madeira *Plathymenia reticulata* popularmente conhecida como vinhático, apresentava fissuras e rachaduras causadas, possivelmente, pela movimentação do suporte. Foram realizados testes com diferentes formulações de massas de consolidação, compostas por adesivos (Paraloid B72 e PVA) e cargas (serragem e microesferas de vidro), avaliando propriedades como densidade, estabilidade dimensional e módulo de elasticidade. A composição de Paraloid B72 com microesferas de vidro foi considerada a mais adequada, por apresentar maior compatibilidade físico-química e estabilidade estrutural. O trabalho contribui para a definição de critérios técnicos na conservação de esculturas em madeira.

Palavras-chave: Consolidação. Paraloid B72. Consolidante para madeira.

ABSTRACT

This study describes the process of selecting and applying a consolidating material to the sculpture *Madona* (1959), by Cléber Gouveia, part of the collection of the Museu de Arte da Pampulha. The artwork, carved in *Plathymenia reticulata* wood, commonly known as *vinhático*, exhibited cracks and fissures likely caused by movement of the wooden support. Tests were conducted using different formulations of consolidation fills, composed of adhesives (Paraloid B72 and PVA) and fillers (sawdust and glass microspheres), evaluating properties such as density, dimensional stability, and elastic modulus. The formulation combining Paraloid B72 and glass microspheres was considered the most suitable, as it demonstrated greater physico-chemical compatibility and structural stability. This work contributes to the establishment of technical criteria for the conservation of wooden sculptures.

Keywords: Consolidation. Paraloid B72. Wood consolidant.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Obra Madona - vista frontal	10
antes da intervenção	10
Figura 2: Obra Madona - vista posterior antes da intervenção	10
Figura 3: Imagem dos veios da madeira aparentes	18
Figura 4: Imagem das manchas presentes na obra	19
Figura 5: Imagem da base, marcas de ferramentas	19
Figura 6: Indicação dos vasos	22
Figura 7: Imagem da árvore vinhático	24
Figura 8: Imagem da madeira vinhático	24
Figura 9: Imagem da medula	27
Figura 10: Imagem das intervenções anteriores	27
Figura 11: Disposição dos materiais dentro da caixa	36
Figura 12: Corpo de prova Paraloid B72 mais serragem	38
Figura 13: Prensa utilizada para o ensaio de compressão	47
Figura 14: Junta de dilatação realizado com filme de poliéster	51
Figura 15: Resultado da remoção antecipada do acetato	52
Figura 16: Resultado final das intervenções	54

LISTA DE TABELAS

1. Tabela 1 - Descrições métricas das rachaduras porção frontal	25
2. Tabela 2 - Descrições métricas das rachaduras porção posterior	26
3. Tabela 3: Resultado do módulo de elasticidade em MPa	48

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	10
2.	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivo geral	12
2.2	Objetivos específicos	12
3.	METODOLOGIA	12
3.1	Análise da obra	13
3.2	Identificação da madeira	13
3.3	Levantamento bibliográfico	14
3.4	Teste de umidade	15
3.5	Ensaio de compressão	16
3.6	Aplicação do consolidante	16
4.	ANÁLISES DA ESCULTURA	17
4.1	Identificação da obra	17
4.2	Descrição	18
4.3	Análise histórica	18
4.4	Técnica construtiva	19
4.4.1	Análise da Madeira	19
a)	Características organolépticas	20
b)	Características macroscópicas	21
c)	Síntese dos dados	22
4.4.2	Estado de conservação	23
4.4.3	Causas de deterioração	24
4.4.4	Intervenções anteriores	25
5.	A ESCOLHA DO CONSOLIDANTE	29
5.1	Levantamento bibliográfico	29
5.2	Testes com consolidantes	33
5.2.1	Câmara de umidade	33
a)	Cloreto de Lítio	37
b)	Cloreto de sódio	42
5.2.3	Ensaio de compressão	46
5.2.4	Resultados	49
5.3	Aplicação do consolidante na escultura em estudo	50

6. CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS	55

1. INTRODUÇÃO

A escultura intitulada Madona, de autoria de Cléber Gouveia (1942–2000) (FIG 1, 2), foi produzida em 1959 e recebendo o primeiro prêmio no XIV Salão Municipal de Belas Artes da Prefeitura de Belo Horizonte e, atualmente, integra o acervo do Museu de Arte da Pampulha (MAP). Trata-se de uma obra tridimensional em madeira que, desde registros técnicos anteriores, já apresentava a presença de fissuras e rachaduras ao longo de toda sua extensão. Embora as causas dessas degradações possam ser múltiplas, incluindo oscilações ambientais, envelhecimento natural do material e tensões internas do suporte, o suporte em madeira se encontra em movimento ativo, o que tem agravado a abertura das fissuras ao longo do tempo.

Diante desse cenário, a consolidação das lacunas se apresenta como uma medida necessária para estabilizar o suporte e minimizar os danos progressivos e demais danos futuros. No entanto, a escolha do material consolidante é um fator decisivo para o êxito da intervenção, devendo respeitar critérios de compatibilidade física, química e mecânica do suporte original.

Com o intuito de identificar a formulação mais adequada de um consolidante para aplicação na obra, este trabalho propôs a realização de uma série de ensaios experimentais com diferentes composições de materiais, avaliando propriedades como densidade, variação volumétrica e módulo de elasticidade, além de considerar aspectos de estabilidade química e apresentação estética. A partir dos resultados obtidos e das discussões técnicas, foi possível definir o material mais compatível com as características da escultura, culminando em sua aplicação prática na intervenção de conservação-restauração.

No Capítulo 2, são apresentados os objetivos do presente trabalho, com a definição das metas a serem alcançadas no processo de conservação da escultura. O Capítulo 3 trata da metodologia adotada, descrevendo os procedimentos e critérios utilizados nas etapas de análise, testes e intervenção. No Capítulo 4, é realizada a caracterização da escultura em questão, considerando aspectos formais, materiais e de estado de conservação. O Capítulo 5 dedica-se à análise da madeira utilizada como suporte original da obra, com o objetivo de compreender suas propriedades e eventuais implicações na escolha dos materiais de consolidação.

O Capítulo 6 apresenta os ensaios realizados com diferentes formulações de massas de consolidação, com o intuito de identificar o material mais adequado em termos de compatibilidade e desempenho técnico. Por fim, o Capítulo 7 descreve a aplicação prática da

massa de consolidação selecionada, detalhando os procedimentos empregados na intervenção restaurativa.

Figura 1: Obra Madona - vista frontal
antes da intervenção



Fonte: A autora 2025

Figura 2: Obra Madona - vista posterior
antes da intervenção



Fonte: A autora 2025

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Realizar a conservação-restauração da escultura intitulada Madona, de autoria de Cléber Gouvêia, com ênfase na consolidação do suporte, a fim de garantir a estabilidade estrutural e a preservação dela a longo prazo.

2.2 Objetivos específicos

Pesquisar sobre os materiais mais adequados, considerando as características físicas da escultura, seu estado de conservação e os princípios da restauração e preservação patrimonial.

Pesquisar e selecionar os adesivos, cargas e técnicas mais adequados para a consolidação da obra, garantindo sua compatibilidade com a madeira e respeitando os princípios da restauração e preservação patrimonial.

Realizar testes preliminares com os materiais escolhidos, avaliando sua eficácia e impacto na estabilidade estrutural da escultura.

Executar o processo de consolidação da escultura, aplicando as técnicas definidas e garantindo sua estabilidade a longo prazo.

Documentar detalhadamente todas as etapas do trabalho, incluindo análises, decisões técnicas e procedimentos adotados, a fim de contribuir para futuras pesquisas na área de conservação e restauração.

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho foi estruturada para atender ao objetivo de realizar uma intervenção na obra com vistas à sua preservação a longo prazo. O desenvolvimento será dividido em três etapas distintas. A primeira consistirá na análise da escultura, englobando os estudos preliminares e a caracterização da madeira utilizada em sua confecção. Na sequência, será conduzida uma revisão bibliográfica acerca dos diferentes tipos de consolidantes, com o propósito de selecionar aqueles que apresentam maior compatibilidade com as características físicas da obra. Após essa seleção, serão realizados testes experimentais com os materiais previamente escolhidos, a fim de avaliar seu desempenho e identificar aquele que ocasionar o menor impacto à integridade da peça. Por fim, será realizada a aplicação do consolidante que apresentar os melhores resultados, conforme os critérios estabelecidos.

3.1 Análise da obra

Antes de iniciar qualquer procedimento de restauração de uma obra de arte, é imprescindível a realização de um levantamento preliminar que identifique e registre as principais características dela. Este processo consiste em estudos preliminares embasados nas diretrizes propostas por Maria Regina Emery Quites e Beatriz Coelho, conforme exposto na obra *Estudo da Escultura Devocional* (2001), na qual são descritas as etapas metodológicas a serem seguidas durante a análise.

A primeira etapa consiste na identificação da obra, contemplando informações como: título, autoria, data de produção, classificação, técnica empregada, dimensões, origem, procedência e função social.

Na sequência, procede-se à descrição da obra, compreendendo a caracterização da figura representada. Posteriormente, realiza-se o exame técnico e a documentação do estado de conservação, etapa que envolve a análise das características materiais e estruturais por meio de recursos como radiografias e exames organolépticos.

Os danos identificados serão analisados detalhadamente, com o intuito de avaliar sua extensão, causas e impactos na integridade física e estética da obra. Essa avaliação inclui a identificação da origem das deteriorações, que podem estar relacionadas a agentes ambientais, processos naturais de envelhecimento, falhas construtivas ou intervenções anteriores inadequadas.

Com base nos dados obtidos, será elaborado um plano de intervenção fundamentado em princípios técnicos e éticos da conservação-restauração. Conforme os preceitos estabelecidos por Cesare Brandi (2004), as intervenções devem ser mínimas e estritamente necessárias, de forma a evitar a progressão da deterioração já que o objetivo central é assegurar a preservação da obra, garantindo sua longevidade sem comprometer suas características originais nem seu valor histórico, artístico e cultural.

3.2 IDENTIFICAÇÃO DA MADEIRA

Para definir o material mais adequado para a consolidação da escultura em estudo, é essencial identificar previamente a espécie de madeira utilizada em sua construção. Essa identificação permitirá escolher materiais com propriedades físicas compatíveis, evitando danos adicionais à estrutura original. Para analisar a madeira da escultura em estudo foram utilizadas como referências Botosso (2011), Carvalho (2025)

A análise da madeira será conduzida por meio de uma abordagem sistemática, contemplando a avaliação de características organolépticas e anatômicas macroscópicas. Os dados obtidos serão confrontados com informações disponíveis em bancos de dados nacionais especializados, como os do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e o aplicativo Madeiras Comerciais do Brasil, ferramenta digital desenvolvida pelo Laboratório de Produtos Florestais (LPF) do Serviço Florestal Brasileiro (SFB), destinada à identificação de espécies de madeira comercializadas no país (Carvalho, 2025).

O processo terá início com a avaliação das características sensoriais da madeira, tais como cor, textura, densidade aparente, dureza e padrões superficiais. Embora essas propriedades apresentem valor diagnóstico preliminar, sua utilização isolada não é suficiente para uma identificação precisa da espécie, uma vez que muitas dessas características são compartilhadas por diferentes tipos de madeira, o que pode levar a equívocos na determinação da origem botânica do material.

“Em geral, a identificação de madeiras por práticas populares é realizada levando-se em consideração somente as características organolépticas da madeira, envolvendo, neste caso, uma ou mais características de valor diagnóstico (ex.: cor, cheiro, densidade, etc.). Essas características, por serem bastante variáveis e, também, devido à semelhança das mesmas em diferentes madeiras, em muitos casos, não levam à identificação correta do material.” (BOTOSSO, 2011, p. 12)

Dessa forma, a etapa subsequente consistirá na análise das características anatômicas macroscópicas da madeira, abrangendo a observação de elementos como anéis de crescimento, número e distribuição dos vasos, presença e arranjo do parênquima axial, bem como as dimensões e a disposição dos raios parenquimáticos. Essa análise será realizada com o auxílio de uma lupa conta-fios e de um microscópio digital USB, que possibilita a ampliação e a visualização detalhada das estruturas internas relevantes para a identificação anatômica da madeira (Carvalho, 2025).

3.3 Levantamento bibliográfico

Esta etapa será dedicada à pesquisa teórica e análise crítica de referências especializadas que abordam os diferentes tipos de adesivos e cargas tradicionais contemporaneamente empregados na formulação de massas utilizadas em processos de consolidação em bens culturais. O objetivo central é reunir subsídios técnico-científicos que permitam a seleção dos materiais mais adequados às especificidades físico-químicas e estéticas da obra em questão, considerando-se sua técnica original, grau de deterioração, função histórica e valor patrimonial.

A leitura das fontes bibliográficas e documentos técnicos incluirá estudos sobre propriedades reológicas, ou seja, as características de um material relacionada ao seu comportamento quando submetidos a uma força externa, para entender como esses respondem ao movimento, compatibilidade físico-química com os substratos originais, comportamento mecânico a longo prazo, estabilidade dimensional, retratabilidade e envelhecimento natural dos materiais. Os adesivos – tais como colas animais, resinas sintéticas, polímeros acrílicos ou vinílicos, entre outros – serão avaliados quanto à sua adesividade, flexibilidade, estabilidade e interação com as cargas. Já as cargas minerais ou orgânicas – como carbonato de cálcio, sílica, caulins, pó de madeira ou serragem fina – serão analisadas considerando sua granulometria, cor, peso específico e influência na textura e coesão da massa

Ao final desta etapa, será possível propor uma ou mais formulações experimentais para testes preliminares em amostras, possibilitando a verificação prática do desempenho das massas propostas antes de sua aplicação definitiva na obra. A adoção desse procedimento assegura a fundamentação científica das decisões e contribui para a eficácia, segurança e ética da intervenção conservativa.

3.4 Teste de umidade

A partir da identificação da espécie de madeira constitutiva da obra, serão conduzidos testes experimentais com os consolidantes previamente selecionados com base na revisão bibliográfica. O objetivo principal é avaliar, em condições controladas, o desempenho físico-químico e a compatibilidade dos materiais com o suporte original, de modo a determinar a formulação mais adequada para aplicação na intervenção.

O primeiro experimento será realizado em uma câmara com controle de umidade relativa, a fim de simular condições ambientais que influenciam diretamente no comportamento dos materiais consolidados. Para esse ensaio, serão utilizados protótipos desenvolvidos com massas de consolidação formuladas conforme os parâmetros definidos na etapa anterior. Esses protótipos permitirão uma análise comparativa entre os diferentes consolidantes quanto à estabilidade dimensional, aderência, retração, tempo de secagem, alteração cromática e resistência mecânica.

O principal referencial metodológico adotado nesta fase será a dissertação de mestrado de Rosado (2004), na qual a autora propõe uma abordagem sistemática para a testagem de consolidantes, com o intuito de fornecer subsídios técnicos a profissionais da área na seleção de materiais. A metodologia apresentada pela referida pesquisadora contempla, entre outros

aspectos, a definição de critérios objetivos de avaliação, a padronização dos ensaios e a replicabilidade dos resultados, o que confere rigor científico ao processo de escolha do consolidante mais compatível com as características da obra.

Essa etapa experimental será essencial para validar, por meio de observações empíricas e mensurações controladas, a eficácia dos materiais propostos, garantindo que a intervenção final seja tecnicamente adequada, ética e durável, respeitando os princípios da conservação-restauração.

3.5 Ensaio de compressão

Um fator essencial a ser considerado na escolha de uma massa de consolidação é seu comportamento higroscópico, ou seja, sua capacidade de absorver e perder água em resposta às variações de umidade do ambiente. A compatibilidade desta propriedade com a da madeira é fundamental, pois, caso haja diferenças significativas nesse aspecto, podem ocorrer tensões internas que levam à compressão da madeira da obra, comprometendo sua estabilidade e durabilidade.

Para garantir que a massa de consolidação escolhida apresente as características adequadas para o uso específico, serão realizados ensaios de compressão em laboratórios especializados. Esses testes permitirão avaliar a resistência mecânica do material, sua interação com a madeira e a adequação às condições ambientais às quais será submetido, contribuindo para a longevidade e integridade da estrutura consolidada.

Os testes laboratoriais a serem conduzidos nesses protótipos permitirão analisar a resistência mecânica, a compatibilidade higroscópica e o desempenho estrutural das massas de consolidação, auxiliando na escolha do material mais adequado para a restauração da obra.

3.6 Aplicação do consolidante

Após a conclusão dos testes, a massa de consolidação que apresentar os melhores resultados será selecionada para aplicação na obra. Esse processo exigirá atenção e precisão, pois uma aplicação inadequada pode gerar tensões excessivas na estrutura. Caso o consolidante seja inserido de forma rígida e sem a devida compatibilidade com as movimentações naturais da madeira, ele poderá restringir sua variação dimensional em resposta às mudanças de umidade, resultando em esforços concentrados que podem levar ao surgimento de novas fissuras ou até mesmo ao rompimento de outras áreas da obra.

Para evitar esses problemas, será empregada uma técnica específica que inclui a criação de juntas de dilatação. Essas juntas permitem que a madeira e a massa de consolidação se movimentam de forma controlada, minimizando tensões internas e garantindo uma melhor adaptação ao comportamento higroscópico do material. Dessa forma, a intervenção será realizada de maneira que preserve a estabilidade estrutural da obra e prolonga sua durabilidade, assegurando um resultado mais eficiente e sustentável.

4. ANÁLISES DA ESCULTURA

A análise da escultura Madona será conduzida com base nos critérios estabelecidos na obra Estudo da Escultura Devocional em Madeira, de autoria de Maria Regina Emery Quites e Beatriz Coelho, que propõe uma abordagem sistemática e aprofundada para o estudo de esculturas em madeira.

A estrutura analítica adotada será dividida em sete partes, permitindo uma compreensão abrangente da obra em questão. São elas: (1) identificação da obra, com a apresentação dos dados básicos e de catalogação; (2) descrição formal, abordando os aspectos visuais e compositivos; (3) análise histórica, que contextualiza a obra no tempo e no percurso artístico de seu autor; (4) técnica construtiva, examinando os materiais e métodos utilizados em sua realização; (5) estado de conservação, avaliando sua integridade física e visual; (6) causas de deterioração, identificando agentes e processos que tenham comprometido sua preservação; e, por fim, (7) intervenções anteriores, que trata de possíveis ações de restauração ou conservação já aplicadas à escultura ao longo de sua trajetória.

4.1 Identificação da obra

A obra analisada neste trabalho intitula-se Madona e é de autoria do artista Cleber Gouvêa (1942–2000). Trata-se de uma escultura produzida em 1959, com dimensões de 100 x 24,5 x 19 cm. Atualmente, a peça integra o acervo do Museu de Arte da Pampulha na cidade de Belo Horizonte/ MG. No entanto, não há registros documentais que confirmem sua origem exata, ou seja, o local de sua produção. Com base nas informações biográficas disponíveis no site do Itaú Cultural, sabe-se que o artista estudou na Escola Guignard, em Belo Horizonte, no ano de 1958, tendo se mudado posteriormente para Goiânia, em 1962. Dessa forma, é possível inferir

que a obra foi provavelmente concebida em Belo Horizonte, durante o período de sua formação artística.

4.2 Descrição

A escultura representa uma figura feminina estilizada, com formas compactas e contidas. Um pequeno vazado na área frontal superior sugere o rosto o qual apresenta ausência de elementos figurativos e de feições detalhadas. Este recurso também se repete na região dos braços, os quais parecem estar posicionados à frente do corpo, formando um gesto circular e introspectivo. Na parte inferior, observa-se um volume que remete à sobreposição das pernas, com um joelho ligeiramente elevado em relação ao outro, o que reforça a ideia de uma postura contida, recolhida e meditativa.

4.3 Análise histórica

A obra integra o acervo do Museu de Arte da Pampulha, sendo que todas as informações aqui apresentadas foram obtidas a partir de fichas técnicas e documentos institucionais emitidos pela própria instituição. O primeiro registro documental da escultura data de 12 de dezembro de 1959, no catálogo do XIV Salão Municipal de Belas Artes da Prefeitura de Belo Horizonte, evento no qual a obra foi exibida pela primeira vez e recebeu o primeiro prêmio. Nesse documento, a escultura é identificada com o título *Madona*.

Posteriormente, a obra é mencionada no livro de tombo do museu sob a designação *Figura de Mulher*. Essa nomenclatura é reiterada em uma ficha museográfica datada de 11 de agosto de 1981, na qual também se registra a premiação obtida no referido salão. O título *Figura de Mulher* permanece nas fichas catalográficas subsequentes, incluindo uma datada de 20 de maio de 1994. Outro documento, de 13 de março de 1995, confirma a doação da escultura ao Museu ainda no ano de 1959, mantendo a designação.

O título *Madona* volta a ser utilizado apenas a partir do inventário do acervo artístico do MAP realizado no período de 2008 a 2010, quando o livro *Inventário MAP* foi publicado. Em um segundo momento, no formulário de diagnóstico de conservação elaborado em 2011, observamos a mesma nomenclatura.

O artista Cleber Gouvêa, de acordo com o site Itaú Cultural (2025), nasceu em Uberlândia, no estado de Minas Gerais, em 1942. Em 1958, residia em Belo Horizonte, onde estudou e se aperfeiçoou em pintura na Escola Guignard, um dos mais importantes centros de formação artística do país. Ao longo de sua carreira, Gouvêa destacou-se principalmente pela produção

de pinturas, que lhe conferiram amplo reconhecimento no cenário artístico nacional. Nesse contexto, a escultura *Madona* assume especial relevância dentro de sua trajetória, por representar um exemplo raro de sua produção tridimensional.

Em 1962, o artista transferiu-se para Goiânia, onde passou a lecionar na Faculdade de Artes Visuais da Universidade Federal de Goiás (UFG). Participou de diversas exposições, tanto coletivas quanto individuais, consolidando sua presença no circuito artístico brasileiro. Sua atuação como educador e artista plástico contribuiu significativamente para o desenvolvimento cultural da região Centro-Oeste e para a formação de novas gerações de artistas.

4.4 Técnica construtiva

A escultura apresenta-se como uma peça de talha inteira, ou seja, foi esculpida a partir de um único bloco de madeira, sem junções ou encaixes entre partes distintas. A escultura não apresenta policromia, mantendo a tonalidade natural da madeira, que é clara, com textura áspera e veios visivelmente marcados (FIG 3). Essa escolha contribui para o aspecto rústico e expressivo da obra, ressaltando sua materialidade.

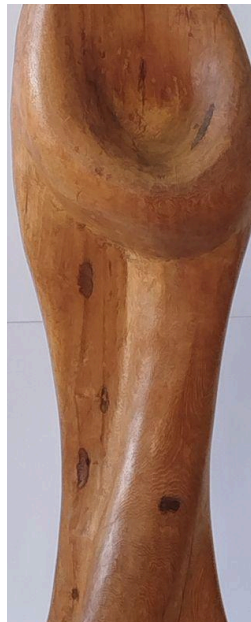
A madeira utilizada não recebeu aplicação de verniz ou outros acabamentos que alterassem sua aparência natural. Observam-se manchas naturais dispersas ao longo da superfície, típicas do envelhecimento e das características próprias da madeira (FIG 4), além de marcas de ferramentas, goivas na base da escultura — possivelmente vestígios do processo de entalhe (FIG 5). No entanto, essas marcas não indicam com clareza uma finalidade funcional ou simbólica específica, parecendo mais associadas à execução da obra do que a um acabamento estético intencional.

Figura 3: Imagem dos veios da madeira aparentes



Fonte: A autora 2025

Figura 4: Imagem das manchas presentes na obra



Fonte: A autora 2025

Figura 5: Imagem da base, marcas de ferramentas



Fonte: A autora 2025

4.4.1 Análise da Madeira

Antes da realização dos ensaios referentes às propriedades físicas das massas de consolidação, é fundamental identificar a espécie de madeira utilizada na confecção da obra. Essa etapa é indispensável para garantir que as características físicas do material de consolidação sejam compatíveis com as da madeira original. Tal compatibilidade é essencial para assegurar a integridade estrutural da obra ao longo do tempo, uma vez que materiais com diferentes comportamentos higroscópicos e coeficientes de movimentação dimensional podem gerar tensões internas. Essas tensões, resultantes de variações de umidade ou temperatura, podem comprometer a estabilidade do conjunto restaurado, provocando fissuras, descolamentos ou outros tipos de degradação. Assim, a escolha de uma massa de consolidação com propriedades compatíveis é uma medida preventiva indispensável para a conservação adequada da obra.

a) Características organolépticas

A avaliação inicial para a identificação da madeira consiste na análise da coloração do cerne. Conforme orienta Botosso (2011, p.20), “as categorias de cor de madeira normalmente observadas são: esbranquiçada, amarelada, avermelhada, acastanhada, parda, enegrecida e arroxeada”. No caso da obra em análise, observou-se, inicialmente, uma tonalidade amarelada no corpo da peça, enquanto a base apresentava-se recoberta por uma sujidade escurecida de coloração preta, cuja natureza ainda não foi determinada. Com base nessa aparência superficial, supôs-se, inicialmente, que a coloração original da madeira fosse amarelada. No

entanto, com a retirada de uma pequena amostra para realização de testes de densidade, etapa integrante do processo de identificação anatômica, foi observado que a tonalidade interior se diferencia do exterior, apresentando uma tonalidade variando do esbranquiçado para o acastanhado.

O próximo parâmetro a ser analisado refere-se à grã da madeira, definida como a orientação dos elementos celulares que compõem o tecido lenhoso, especialmente as fibras e vasos condutores. Essa característica anatômica influencia diretamente propriedades físicas e mecânicas da madeira, como sua trabalhabilidade, resistência e resposta às variações ambientais, sendo, portanto, um aspecto relevante tanto para a identificação da espécie quanto para o planejamento de intervenções de conservação e restauração (Carvalho, 2025). O material analisado apresenta um padrão de grã classificado como “grã direita ou normal (linheira ou reta), na qual os elementos celulares são bem paralelos ao eixo principal do tronco ou peça de madeira” (Botosso, 2011, p.23).

A etapa subsequente da análise envolve a avaliação da textura da madeira, a qual pode ser determinada por meio da percepção tátil e visual de sua superfície. De acordo com Botosso (2011, p.23), a textura refere-se à sensação ao toque e ao aspecto superficial do lenho, permitindo classificar a madeira como lisa, rugosa, áspera ou ondulada, dependendo da distribuição, tamanho e visibilidade dos elementos anatômicos, como vasos, fibras e parênquima.

Na obra em estudo, foi observada uma textura classificada como média, essa classificação se fundamenta na perceptibilidade dos elementos anatômicos, especialmente os vasos, que são facilmente visíveis a olho nu, mas não excessivamente grosseiros. A textura da madeira é definida pelo tamanho, distribuição e uniformidade dos seus elementos celulares, como vasos, fibras e parênquima. No caso específico, a predominância de vasos com diâmetro intermediário confere uma sensação tátil e visual equilibrada, nem muito suave, nem demasiadamente rugosa.

Outro parâmetro organoléptico relevante na caracterização da madeira é a avaliação do brilho superficial, conforme destacado por Botosso (2011, p.25), que define o “brilho natural, ou seja, a capacidade de refletir a luz incidente”. Trata-se de uma propriedade óptica intrínseca de determinadas espécies, relacionada à estrutura celular e à composição química da madeira, especialmente à presença de extrativos e à orientação das paredes celulares (Botosso, 2011). No caso da obra em estudo, observou-se grande quantidade de brilho natural, evidenciado pela intensa reflexão da luz sob a superfície da madeira. Esse brilho pode estar

associado a uma combinação de fatores, como a densidade da madeira, a presença de substâncias oleosas ou resinosas, e a regularidade na orientação das fibras.

A densidade da madeira, parâmetro físico fundamental na caracterização do material lenhoso, foi determinada a partir da análise de uma pequena amostra retirada discretamente da base da obra, com o objetivo de minimizar qualquer interferência estética ou estrutural. O cálculo da densidade aparente foi realizado com base na razão entre a massa seca da amostra e seu volume. Os resultados obtidos indicaram uma densidade de $0,345 \text{ g/cm}^3$, valor que classifica a madeira como pertencente ao grupo das madeiras leves¹.

b) Características macroscópicas

Os vasos são descritos por Botosso (2011) como:

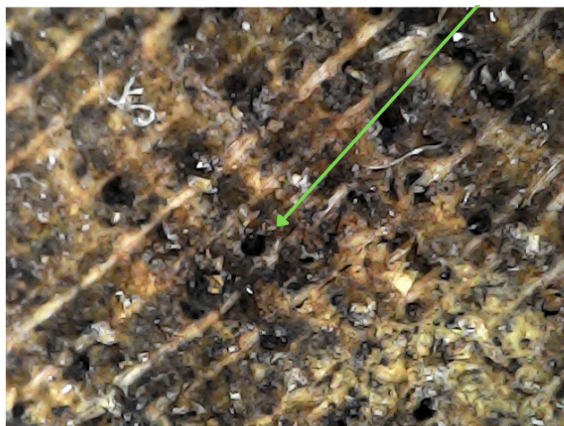
“elementos celulares normalmente axiais, formando uma estrutura tubiforme contínua de comprimento indeterminado, de diâmetro pequeno a grande (de $20 \mu\text{m}$ a $500 \mu\text{m}$), responsáveis pela condução ascendente de líquidos na árvore. Estes elementos, quando observados em seção transversal na madeira, aparecem como diminutos orifícios de formato circular a elíptico, recebendo, normalmente, o nome de “poros”, sendo seu tamanho, distribuição e abundância aspectos importantes para identificação de madeiras” (BOTOSSO, 2011, p. 28)

A visibilidade dos vasos em uma amostra de madeira está diretamente relacionada ao seu diâmetro tangencial, sendo um parâmetro relevante na caracterização anatômica macroscópica. De acordo com os critérios técnicos de observação, os vasos podem ser classificados em três categorias quanto à sua visibilidade: distintos a olho nu, visíveis apenas com o auxílio de lentes de aumento de 10x, ou indistintos mesmo sob ampliação (Botosso 2011, p.28-29).

No caso da obra analisada, os vasos se apresentam como elementos distintos a olho nu, o que indica que possuem diâmetro tangencial relativamente amplo (FIG 6), como indica Botosso (2011, p. 29), ao mencionar como “grandes $> 200\mu\text{m}$ ”. Essa característica é típica de determinadas espécies de madeira porosas e pode facilitar tanto a identificação da espécie quanto a avaliação de suas propriedades estruturais e estéticas. Além disso, a presença de vasos visíveis sem ampliação também contribui para a definição da textura da madeira como grossa.

¹ O cálculo para determinação da densidade da madeira em estudo foi realizado com o auxílio de Marcelo C. de Carvalho no Laboratório de Conservação e Restauração de Escultura (LaboRE) no CECOR/UFMG.

Figura 6: Indicação dos vasos



Fonte: A autora

Segundo Carvalho (2025, p.8), a “frequência (dos vasos): refere-se à quantidade de vasos observáveis por unidade de área”, expressa geralmente em número de vasos por milímetro quadrado (vasos/mm²), como orienta Botosso (2011). Esse parâmetro anatômico é um dos critérios fundamentais para a caracterização macroscópica da madeira, influenciando diretamente aspectos como permeabilidade, textura e comportamento higroscópico do material. A quantificação da frequência dos vasos é realizada por meio de observação sob ampliação adequada, utilizando-se uma escala padronizada para classificação.

Na obra analisada, foi constatada uma frequência de vasos situada na faixa de 5 a 20 poros/mm², o que, segundo a classificação proposta por Botosso (2011), enquadra a madeira na categoria de baixa frequência, ou seja, "poucos vasos". A porosidade da madeira refere-se ao padrão de distribuição dos vasos condutores observado em corte transversal, sendo um parâmetro anatômico fundamental na caracterização da estrutura do lenho. Essa observação é realizada independentemente da definição dos anéis de crescimento e tem implicações diretas tanto na identificação da espécie quanto no comportamento físico da madeira frente a variações ambientais e tratamentos conservativos.

No caso da obra analisada, constatou-se que a madeira apresenta porosidade do tipo anel semi poroso, ou seja, os vasos estão dispostos de forma intermediária entre os padrões difuso e anelar, conforme classificação de Botosso (2011, p.30). Nesse tipo de porosidade, os vasos maiores tendem a concentrar-se na porção inicial do anel de crescimento (madeira inicial), enquanto vasos menores aparecem distribuídos na madeira tardia, embora sem o contraste acentuado típico das madeiras anelares.

c) Síntese dos dados²

Após a coleta sistemática do maior número possível de dados relativos à amostra de madeira, procedeu-se à etapa de identificação da espécie. Esse processo foi conduzido com o auxílio da ferramenta digital desenvolvida pelo Laboratório de Produtos Florestais (LPF), vinculado ao Serviço Florestal Brasileiro (SFB). Trata-se de um software especializado na identificação de espécies de madeira comercializadas no Brasil, o qual permite a inserção de dados morfológicos e anatômicos da amostra, retornando possíveis correspondências com espécies cadastradas em seu banco de dados.

Durante a aplicação dessa ferramenta, observou-se uma complexidade maior do que a inicialmente prevista. Ao submeter as características observadas da amostra com coloração esbranquiçada, o sistema não retornou resultados compatíveis. No entanto, ao ajustar a tonalidade da madeira para um tom amarelado, mantendo os demais parâmetros constantes, o sistema identificou uma única espécie compatível: *Plathymenia foliolosa*, conhecida popularmente como vinhático.

Para aprofundar a análise, foram consultadas as informações disponíveis no banco de dados online do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). De acordo com essa fonte, o vinhático apresenta ocorrência em diversos estados brasileiros, incluindo Minas Gerais, local de origem da obra analisada. O IPT descreve o cerne da espécie como apresentando coloração amarelada a castanho-amarelada, característica compatível com as observações realizadas, tanto na superfície quanto na parte interna da obra. Outras propriedades apontadas incluem densidade considerada baixa, textura média e grã variando de direta a irregular.

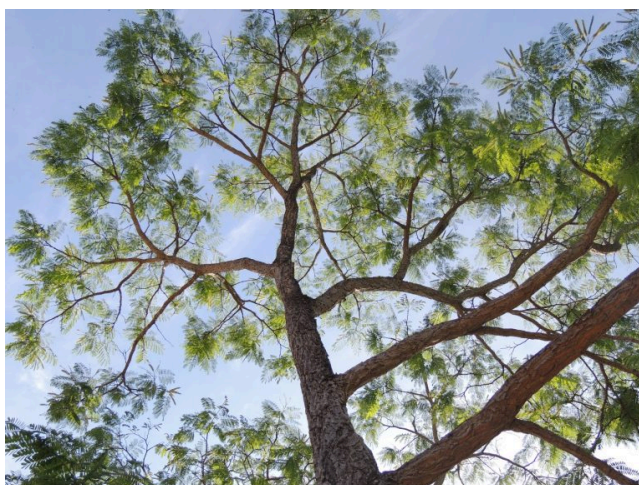
Um fator adicional de relevância foi a alta resistência do vinhático ao ataque de organismos xilófagos, segundo a mesma fonte. Essa resistência foi empiricamente verificada, pois, apesar da presença de fendas na peça, que poderiam facilitar o acesso de agentes biológicos, e da existência de obras vizinhas afetadas por xilófagos, a obra em questão permaneceu íntegra ao longo dos anos na reserva técnica.

Complementando essa análise, consultou-se a obra "Espécies Arbóreas Brasileiras", de Paulo Ernani Ramalho Carvalho, publicada pela Embrapa em 2008. O autor corrobora as informações relativas à baixa densidade da madeira e acrescenta que a superfície do vinhático pode apresentar manchas escuras, o que também foi observado na escultura.

² Na análise dos dados obtidos tivemos a colaboração de Marcelo C. de Carvalho para a compreensão da madeira em estudo.

Com base na convergência dos dados obtidos por diferentes fontes e métodos, a hipótese de que a madeira analisada seja *Plathymenia foliolosa* (vinhático) (FIG 7 e 8), é considerada plausível. No entanto, é importante ressaltar que a confirmação taxonômica definitiva exigiria a realização de testes laboratoriais complementares, como a análise de DNA. Ainda assim, os dados reunidos fornecem uma base sólida e bem referenciada para a definição preliminar da espécie. A partir dessa identificação, serão iniciados os testes técnicos subsequentes.

Figura 7: Imagem da árvore vinhático



Fonte: <https://rubens-plantasdobrasil.blogspot.com/search?q=%C2%A0P.+reticulata>

Figura 8: Imagem da madeira vinhático



Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, IPT

4.4.2 Estado de conservação

A obra apresenta danos visíveis em seu suporte, evidenciados por manchas de umidade na base e rachaduras que se estendem por toda a sua superfície, todas orientadas na mesma direção. A ficha técnica datada de 1981 classificava o estado de conservação da peça como “bom”; no entanto, não há menção específica à presença ou ausência dessas fissuras. Posteriormente, a ficha catalográfica de 1994 já indicava a existência de rachaduras, embora sem fornecer detalhes sobre sua quantidade, extensão ou profundidade.

Somente na Análise do Estado de Conservação elaborada em 11 de agosto de 2011 é que se encontram descrições precisas sobre as rachaduras, incluindo informações sobre seu comprimento e espessura.

Com base nesse levantamento de 2011 e nas medições atuais, torna-se possível realizar uma análise comparativa para avaliar o grau de movimentação da madeira ao longo do tempo, contribuindo para uma compreensão mais precisa da evolução do seu estado de conservação.

A comparação será conduzida da seguinte forma: inicialmente, será apresentada a descrição da rachadura conforme registrada em 2011, seguida da observação de sua condição atual.

1. Tabela 1 - Descrições métricas das rachaduras porção frontal

Seção	Sub-seção	2011 Comprimento	2011 Largura	2011 Profundidade	2025 Comprimento	2025 Largura	2025 Profundidade	Observação
Frente	Inferior Direita	100 mm	1 mm	--	110 mm	1 mm	--	Em 2011, havia duas rachaduras separadas, mas em 2025 elas se uniram, formando uma única fenda
	Inferior Direita	65 mm	1 mm	--	70 mm	1 mm	--	
	Inferior Direita	70 mm	1 mm	--	185 mm	1 mm	--	
	Inferior Central	60 mm	--	--	60 mm	--	--	Duas rachaduras paralelas que se encontram na base formando um elevado
	Inferior Central	60 mm	--	--	65 mm	15 mm	50 mm	
	Inferior Esquerda	--	--	--	40 mm	25 mm	--	Perdas de suporte indicadas na ficha, porém sem medidas
	Inferior Esquerda	--	--	--	35 mm	25 mm	--	
	Inferior Esquerda	--	--	--	80 mm	0,5 - 1 mm	--	
	Inferior Esquerda	--	--	--	40 mm	1 mm	--	Indicação de fissuras, porém sem indicação das medidas
	Inferior Esquerda	--	--	--	225 mm	1 mm	--	
	Central Esquerda	140 mm	3 mm	30 mm	140 mm	3 mm	25 mm	
	Central Esquerda	290 mm	5 mm	25 mm	305 mm	5 mm	45 mm	
	Superior Esquerda	50 mm	3 mm	20 mm	55 mm	1,5 - 3,5 mm	--	
	Superior Esquerda	205 mm	5 mm	20 - 40 mm	200 mm	5 mm	--	
	Superior Esquerda	280 mm	5 mm	20 mm	280 mm	0,6 mm	45 mm	
	Superior Esquerda	100 mm	--	--	100 mm	1 - 2 mm	--	
	Superior Central	80 mm	--	--	80 mm	1 - 2 mm	--	
	Superior Direita	30 mm	--	--	50 mm	1 - 2,5 mm	--	

Fonte: A autora

2. Tabela 2 - Descrições métricas das rachaduras porção posterior

Seção	Sub-seção	2011 Comprimento	2011 Largura	2011 Profundidade	2025 Comprimento	2025 Largura	2025 Profundidade	Observação
Verso	Inferior Esquerda	250 mm	1 mm	--	254 mm	1,5 mm	--	Área mais profundo perto da base
	Inferior Esquerda	310 mm	1 mm	--	310 mm	1 mm	--	
	Inferior Central	230 mm	5 mm	--	235 mm	3,5 - 50 mm	30 - 60 mm	
	Inferior Direita	190 mm	1 mm	--	200 mm	1 mm	--	Local mais profundo na base
	Inferior Direita	85 mm	1 mm	--	95 mm	2 mm	--	
	Inferior Direita	85 mm	1 mm	--	85 mm	1 mm	--	
	Inferior Direita	200 mm	1 mm	--	200 mm	1 mm	--	
	Superior Esquerda	180 mm	1 mm	--	220 mm	1 mm	--	
	Superior Central	250 mm	1 mm	--	230 mm	1 mm	--	

Fonte: A autora

4.4.3 Causas de deterioração

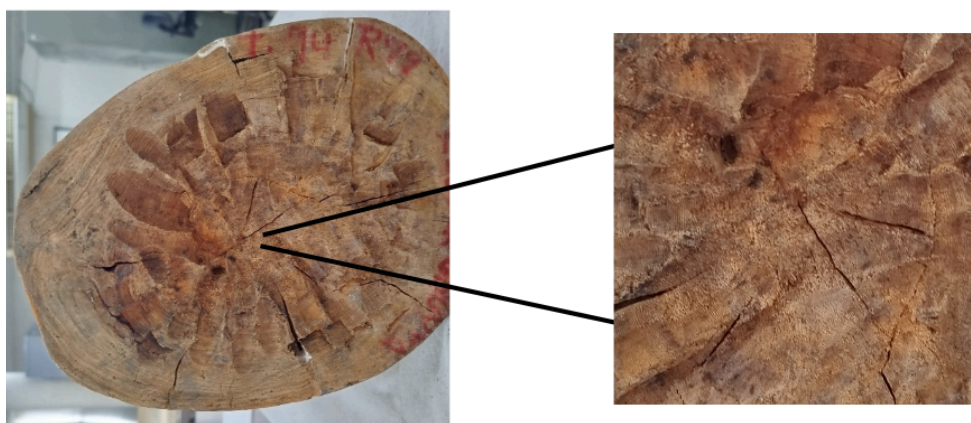
As patologias identificadas na obra apresentam múltiplas causas. Um dos principais fatores está associado às variações bruscas de temperatura e umidade relativa do ambiente. Essas

oscilações climáticas afetam diretamente os materiais constituintes da obra, em especial a madeira do suporte, promovendo contrações e dilatações que resultam na formação de rachaduras ao longo de sua estrutura. Ao buscar informações sobre o acondicionamento da escultura na reserva técnica do MAP, compreendeu-se que durante um período de 35 anos, a escultura esteve acondicionada em locais sem monitoramento e controle de umidade relativa e de temperatura. Durante o período de 1995 a 2025, a escultura encontra-se em reserva técnica climatizada.

Outro fator relevante está relacionado ao tipo de corte da madeira utilizada na confecção da escultura. Trata-se de um corte transversal, o que implica na permanência da medula no interior da peça. A presença da medula é conhecida por favorecer o surgimento de fissuras (FIG 9), uma vez que essa região da madeira apresenta maior instabilidade dimensional e tende a se movimentar de forma desigual em relação às demais partes do suporte, contribuindo para o surgimento de rachaduras.

Adicionalmente, a presença de manchas escurecidas na base da escultura pode ser interpretada como um indicativo de problemas relacionados à umidade, possivelmente oriundos do contato com superfícies úmidas ou de absorção capilar ao longo do tempo. Esses sinais reforçam a hipótese de que a obra esteve exposta a condições ambientais inadequadas, o que potencializou o desenvolvimento das patologias observadas atualmente.

Figura 9: Imagem da medula



Fonte: A autora

4.4.4 Intervenções anteriores

A obra apresenta evidências visuais de intervenções anteriores, embora não haja registros documentais que identifiquem quando ou por quem tais procedimentos foram realizados. Em determinadas áreas da escultura, observam-se manchas escuras compatíveis com a aplicação

de algum tipo de consolidante ou substância estabilizadora (FIG 10). A natureza e a composição desse material não foram identificadas, impossibilitando afirmar com precisão sua origem ou finalidade. É possível, embora não comprovado, que essa intervenção tenha sido realizada pelo próprio artista ou por terceiros em momento posterior à execução da obra.

Figura 10: Imagem das intervenções anteriores



Fonte: A autora

Além disso, de acordo com o relatório técnico de conservação-restauração emitido pelo setor de Conservação e Restauração de Acervos do MAP, no dia 07 de fevereiro de 2024, a obra passou por um procedimento de limpeza mecânica e química. Esse processo de conservação curativa, foi realizado em resposta à presença de colônias fúngicas pulverulentas localizadas na região central e média da peça.

A deterioração biológica observada, caracterizada pela proliferação de fungos, é frequentemente atribuída a condições ambientais inadequadas, como alta umidade relativa, deficiência na ventilação e o acúmulo de material particulado. Essas condições favorecem o ambiente propício para o desenvolvimento de microrganismos, como fungos, que podem comprometer a integridade física e estética dos objetos, acelerando o processo de degradação.

Após a coleta de amostras e a constatação de que as colônias fúngicas não estavam com o metabolismo ativo, foi realizada a limpeza mecânica com o uso de trinchas de cerdas macias, que permitiram a remoção do material superficial, sem causar danos à estrutura original da obra. Em seguida, fez-se a limpeza química utilizando algodão embebido em aguarrás, que ajudou a remover contaminantes orgânicos presentes na superfície da obra, como resíduos fúngicos e outras impurezas, sem afetar o material subjacente.

Além disso, o relatório também incluiu a documentação visual do processo de restauração, com fotografias do estado da obra antes e depois da intervenção, proporcionando um registro visual do impacto da conservação realizada.

5. A ESCOLHA DO CONSOLIDANTE

5.1 Levantamento bibliográfico

A conservação e restauração de esculturas envolvem uma série de intervenções técnicas, com o objetivo de garantir tanto a integridade quanto a longevidade das obras. Nesse processo, Brandi (2004) teoriza que a restauração deve ser conduzida de maneira a não alterar a obra original além do necessário, preservando ao máximo sua autenticidade e integridade. Ele destaca que a atuação do restaurador deve ser guiada pela mínima intervenção, buscando sempre estabilizar a obra sem comprometer seus valores históricos e estéticos.

No entanto, Viñas (2003) ressalta que o campo da conservação e restauração constitui um domínio heterogêneo, permeado por distintas correntes teóricas. O autor estabelece uma distinção entre a teoria contemporânea da restauração, que enfatiza a dimensão simbólica dos objetos, e as abordagens clássicas, como a proposta por Brandi, centradas em princípios como autenticidade material, objetividade científica e reversibilidade. Segundo Viñas (2003), tais preceitos têm sido progressivamente contestados no debate atual. Diante disso, o autor defende uma perspectiva pragmática e funcional, na qual a prioridade recai sobre o benefício coletivo e a acessibilidade pública, em detrimento de dogmatismos técnicos.

No caso específico da obra Madona, a intervenção conservativa configura-se não apenas como recomendável, mas como imperativa. As fissuras e rachaduras manifestas no suporte evidenciam comprometimento da integridade estrutural, sendo que a análise comparativa do comportamento higroscópico da madeira em um intervalo de 14 anos demonstra a persistência de movimentos deformadores. Tais alterações, caso não sejam mitigadas, tendem a acentuar processos de deterioração, agravando a instabilidade material e colocando em risco a preservação da escultura em longo prazo, permitindo também que haja uma abertura para entrada de sujidade e insetos xilófagos. Ademais, a intervenção justifica-se também sob o critério estético, uma vez que a ausência de uma camada pictórica na obra expõe o suporte em seu estado bruto, demandando uma abordagem que integre a consolidação estrutural com a apresentação estética.

Neste contexto, o procedimento de consolidação assume papel fundamental no processo de conservação-restauração. Sua execução visa primordialmente à estabilização estrutural do suporte, minimizando oscilações dimensionais e prevenindo a ação de agentes biológicos degradantes. Paralelamente, a consolidação apresenta relevância estética direta, uma vez que a ausência de camada pictórica na obra faz com que o consolidante atue simultaneamente como agente de proteção e de uniformização superficial.

A seleção do consolidante apropriado constitui etapa crítica da intervenção, devendo considerar as propriedades físico-químicas específicas de cada material, as quais influenciam diretamente tanto na eficácia estrutural quanto na manutenção das características visuais da peça. Uma aplicação criteriosa do produto consolidante proporcionará a redução das variações dimensionais ao longo do tempo, além de uma impermeabilização eficaz das fissuras existentes, impedindo a penetração de sujidade, microorganismos e insetos xilófagos. A compatibilidade material entre o consolidante e o suporte da obra revela-se como fator determinante para o êxito da intervenção a médio e longo prazos.

A consolidação de suportes em madeira sempre representou um dos principais desafios enfrentados pelos profissionais da conservação e restauração de obras de arte. Segundo França e Barboza (2009), por muito tempo as soluções disponíveis mostraram-se limitadas em termos de eficácia e compatibilidade com os materiais originais. Entre essas soluções, o uso de ceras aplicadas a quente foi amplamente adotado, mas conforme aponta Nicolaus (1999), esse método apresenta sérias limitações: além de sua baixa eficiência na estabilização estrutural, o processo de aplicação em alta temperatura pode causar danos térmicos ao suporte, comprometendo a integridade da obra.

Com o desenvolvimento de pesquisas em materiais de consolidação, as resinas epóxi emergiram como uma alternativa consolidante viável. Sua principal vantagem está na baixa contração volumétrica pós-polimerização, garantindo excelente estabilidade dimensional, um fator crítico em intervenções de conservação. Entretanto, sua aplicação enfrenta desafios significativos, particularmente devido à alta viscosidade do material, que, conforme destacado por Nicolaus (1999), limita sua capacidade de penetração profunda no suporte da obra. Desde 1967, formulações modificadas com solventes têm sido empregadas para reduzir a viscosidade, mas essa abordagem apresenta um empecilho, a diluição pode interferir no grau de polimerização e, conseqüentemente, nas propriedades mecânicas finais do consolidante.

Atualmente, uma abordagem bastante comum e mais compatível com os princípios da restauração contemporânea é a utilização de sistemas compostos, combinando adesivos com

cargas. Essas misturas podem ser adaptadas para cada tipo de suporte e nível de degradação, permitindo maior controle sobre viscosidade, penetração, adesão e resistência mecânica. A escolha do adesivo e da carga adequada, no entanto, exige testes preliminares específicos, que avaliem o desempenho da combinação em condições similares às da obra a ser tratada, garantindo assim uma intervenção eficaz, estável e minimamente invasiva.

“Outro procedimento muito comum é a utilização da serragem como carga, aglutinada em adesivo polivinílico, na consolidação por apresentar características físico-químicas semelhantes à própria madeira. Esta matéria é encontrada com uma granulometria bastante irregular, com muitas impurezas, incluindo limalha de ferro, e composta por diversos tipos de madeira, o que torna necessário um processo de limpeza e seleção através do peneiramento a fim de se obter um material mais homogêneo. Além disto, este material sofre retração ao secar, é muito rígido, o que dificulta o seu acabamento, fazendo-se necessário a utilização de lixas e a necessidade de aplicar massa de nivelamento para se obter o acabamento necessário para reintegrações cromáticas” (BARBOZA, FRANÇA, 2009, p. 3)

Nessa passagem, as autoras enfatizam a imprevisibilidade do uso da serragem de madeira como carga aglutinante, sobretudo quando misturada ao acetato de polivinila (PVA) para fins de consolidação. Essa prática, embora comum no Brasil devido à semelhança física da serragem com a madeira original, apresenta limitações importantes. A principal delas diz respeito à heterogeneidade do material: as partículas de serragem podem apresentar granulometria irregular, o que compromete a uniformidade da mistura e dificulta um assentamento adequado da massa sobre a superfície tratada. Além disso, a serragem geralmente contém impurezas e é proveniente de diferentes tipos de madeira, o que torna o comportamento da mistura menos previsível. Por isso, recomenda-se uma etapa prévia de peneiramento e limpeza, visando à obtenção de um material mais homogêneo.

Assim, França e Barboza (2009) destacam os benefícios do uso das microesferas de vidro como carga para consolidação de esculturas em madeira, evidenciando seu alto potencial como material técnico na conservação de bens culturais. As microesferas demonstraram ser extremamente leves, o que reduz o impacto estrutural sobre peças frágeis ou corroídas, e apresentam ótima estabilidade dimensional, resistindo bem à compressão e às variações de umidade. Além disso, seu comportamento físico favorece um acabamento liso, uniforme e de cor neutra, sem brilho, mantendo a integridade estética da obra tratada. Outro ponto relevante é sua baixa abrasividade, mesmo quando submetidas a lixamento com diferentes granulometrias, o que amplia sua versatilidade em processos de reintegração volumétrica e preenchimento de lacunas. Esses aspectos reforçam a microesfera de vidro como uma alternativa segura, eficaz e tecnicamente adequada para aplicações em conservação e restauração.

Um artigo publicado em 1996 por Down, MacDonald et al, apresenta os resultados de um extenso estudo iniciado em 1983 pelo Instituto Canadense de Conservação (CCI), que teve como objetivo avaliar a estabilidade de diferentes adesivos utilizados na restauração de bens culturais, com foco em adesivos de acetato de polivinila (PVA) e adesivos acrílicos. Os testes realizados abrangeram critérios, como pH, emissão de voláteis, flexibilidade, resistência e amarelecimento ao longo do tempo. Os resultados demonstraram que os adesivos à base de PVA são, em geral, mais ácidos, com valores de pH frequentemente abaixo de 5,5, o que os coloca fora da faixa considerada segura para a conservação de materiais sensíveis. Além disso, esses adesivos apresentaram emissões significativas de ácido acético nos primeiros meses após a cura, o que pode representar riscos adicionais, especialmente em ambientes fechados ou em contato prolongado com materiais vulneráveis. Embora sejam mais fortes, os PVAs se mostraram menos flexíveis e mais propensos ao amarelecimento, envelhecendo cerca de duas vezes mais rápido do que os adesivos acrílicos.

Em contrapartida, os adesivos acrílicos revelaram desempenho superior em praticamente todos os critérios avaliados. Destacam-se, entre eles, o Acryloid B-72® (comercializado como Paraloid B-72®), amplamente reconhecido na comunidade de conservação por sua estabilidade química, neutralidade de pH e comportamento previsível ao longo do tempo, tornando-se uma das opções mais recomendadas para intervenções conservativas. Nesse contexto, o uso de serragem como carga aglutinante em massas de PVA, apesar de comum no Brasil, deve ser avaliado com cautela. A serragem, ao apresentar granulometria irregular e conter impurezas provenientes de diferentes tipos de madeira, pode comprometer a estabilidade e o desempenho da mistura, resultando em um assentamento deficiente. Assim, considerando os dados técnicos do estudo do CCI, a adoção de adesivos acrílicos de alta estabilidade, como o Paraloid B-72®, associada a cargas homogêneas e compatíveis, representa uma alternativa mais segura e eficaz para procedimentos de consolidação em bens culturais.

Os diversos materiais utilizados na formulação de massas de consolidação apresentam propriedades físico-químicas distintas, cada uma com vantagens e limitações que devem ser consideradas em função das especificidades da obra a ser tratada. Para a escultura Madona, será realizada uma série de ensaios físicos comparativos com o objetivo de identificar a composição mais adequada às suas características estruturais e estéticas. Os testes incluirão a análise de duas cargas amplamente utilizadas na prática da conservação no Brasil: microesferas de vidro e serragem de madeira, combinadas a dois adesivos de referência: o

acetato de polivinila (PVA) e a resina acrílica Paraloid B72®. A escolha desses materiais se deve à sua ampla difusão no campo da restauração de bens culturais, à facilidade de acesso no mercado nacional e ao histórico de uso consolidado em intervenções similares. Os resultados dos testes fornecerão dados sobre aspectos como adesão, resistência mecânica, estabilidade dimensional, retratabilidade e compatibilidade visual, permitindo uma escolha fundamentada e tecnicamente embasada para a aplicação na obra em questão.

5.2 Testes com consolidantes

Para a seleção do consolidante mais adequado à madeira em questão, foram realizados dois ensaios com o objetivo de avaliar três variáveis consideradas importantes para a compatibilidade do produto com as propriedades mecânicas do substrato. O primeiro ensaio consistiu na utilização de uma câmara de umidade, destinada à análise da variação volumétrica das amostras. O segundo na determinação de sua densidade. O terceiro correspondeu ao ensaio de compressão, empregado para a obtenção do módulo de elasticidade do material.

5.2.1 Obtenção das Massas Consolidantes e Protótipos

Para se determinar a massa consolidante mais indicada a ser aplicada na obra, obtiveram-se quatro misturas a partir de dois adesivos e duas cargas. Os materiais selecionados para avaliação foram: acetato de polivinila (PVA) e Paraloid B-72 como adesivos; serragem de madeira grossa e microesfera de vidro K1 como cargas inertes e mecânicas.

Esta abordagem metodológica permitiu avaliar sistematicamente o comportamento mecânico de compressão e de variação dimensional com umidade, das diferentes formulações, visando identificar a combinação mais adequada às exigências específicas da intervenção de restauração. O ensaio de compressão permite se obter o módulo de elasticidade (módulo de Young) que é uma medida da rigidez e flexibilidade do material. O ensaio de variação dimensional com umidade mede o aumento e diminuição do material ao absorver ou perder água proveniente da umidade do ar. Estas propriedades da massa consolidante devem ser o mais semelhante possível à da madeira, de modo que a sua movimentação com variações de umidade e temperatura sejam compatíveis entre si, evitando, desse modo, tensões mecânicas que podem causar mais danos à própria madeira.

Foram preparadas 4 massas consolidantes, distribuídas em quatro grupos distintos: PVA – Serragem Grossa, PVA - Microesferas, Paraloid B72 – Serragem, Paraloid B72 – Microesfera.

As quantidades de cada componente foram determinadas experimentalmente pela adição lenta e mistura com espátula do adesivo na carga, em béquer, até se obterem massas consolidantes trabalháveis, ou seja, que fossem coesas ao ponto de não se esfacelarem ao toque ou manipulação e que também não houvesse excesso de adesivo que era percebido pela presença de líquido. Estas quantidades e suas proporções específicas estão descritas abaixo, expressas em gramas, inclusive para os adesivos líquidos, que foram pesados para facilitar o processo:

Grupo PVA - Serragem:

3 amostras

Quantidades : 22g PVA : 8g serragem

Proporção / Razão: 73,3% adesivo / 26,7% carga

Grupo PVA - Microesfera de vidro K1:

3 amostras

Quantidades: 22g PVA : 14g microesferas

Proporção / Razão: 61,1% adesivo / 38,9% carga

Grupo Paraloid B72 - Microesfera de vidro K1:

3 amostras

Quantidades: 32g solução Paraloid B-72 a 10% m/m em acetato de isoamila: 6g microesferas

Proporção / Razão: 84,2% adesivo / 15,8% carga

Grupo Paraloid B72 - Serragem:

3 amostras

Quantidades: 22g solução Paraloid B-72 a 10% m/m em acetato de isoamila : 12g serragem

Proporção / Razão: 64,7% adesivo / 35,3% carga

O PVA foi utilizado diretamente do frasco comercial da marca Cascola, descrito como cola branca PVA universal. Em relação à solução a 10% m/m de Paraloid B72 em acetato de isoamila, esta foi preparada no atelier após se calcular as quantidades de soluto e solvente.

A escolha do acetato de isoamila como solvente para o preparo da resina Paraloid B72 fundamenta-se em critérios técnicos e de segurança, especialmente no que diz respeito à toxicidade. Trata-se de um solvente com baixa toxicidade em comparação a outras opções frequentemente utilizadas, como a acetona ou o tolueno, o que o torna mais adequado para aplicações em ambientes de conservação e restauração, nos quais a exposição prolongada aos vapores orgânicos pode representar riscos à saúde dos profissionais envolvidos.

Além disso, o acetato de isoamila apresenta boas propriedades de solvência para a resina acrílica Paraloid B72, permitindo uma dissolução eficiente sem comprometer as características desejáveis do material consolidante, como transparência e estabilidade.

As quantidades necessárias para a solução a 10% m/m de Paraloid B72 em acetato de isoamila foram calculadas a partir da proposta inicial arbitrária de utilizar 20 g do soluto para se obter um volume final adequado para se preparar os protótipos. O cálculo da quantidade de solvente, acetato de isoamila, pode ser feito utilizando a equação de título percentual da equação 1.

$$t(\%)m/m = \frac{m_1}{m_1+m_2} \times 100 \text{ (Equação 1)}$$

Onde m_1 é a massa do soluto (Paraloid B72) e m_2 é a massa do solvente (Acetato de isoamila). Explicitando m_2 na equação 1 e substituindo os valores, temos:

$$m_2 = \left(\frac{m_1}{t(\%)m/m} \times 100 \right) - m_1 = \left(\frac{20\text{ g}}{10\%} \times 100 \right) - 20 = 180\text{ g}$$

Como o título em massa relaciona as massas do soluto e solvente e, devido ao fato do solvente ser líquido, podemos usar o cálculo de densidade para obter o volume de líquido referente a massa de 180 g encontrada. O volume pode ser deduzido utilizando a equação de densidade (Equação 2) e o valor de densidade do acetato de isoamila, 0,876 g/mL.

$$d = \frac{m}{v} \text{ (Equação 2)}$$

onde d = densidade (g/mL), m = massa da substância (g) e v = volume da substância (mL)

Explicitando o volume na equação 2 e substituindo os valores, chegamos ao valor final do volume.

$$v = \frac{m}{d} = \frac{180}{0,876} = 205,4\text{ mL}$$

Por fim, a solução adesiva é obtida pela dissolução de 20 g de Paraloid B72 em 205,4 mL de acetato de isoamila com auxílio de um agitador magnético. O frasco contendo os componentes foi fechado durante a dissolução porque esta é lenta, cerca de 1 h, permitindo a evaporação do solvente.

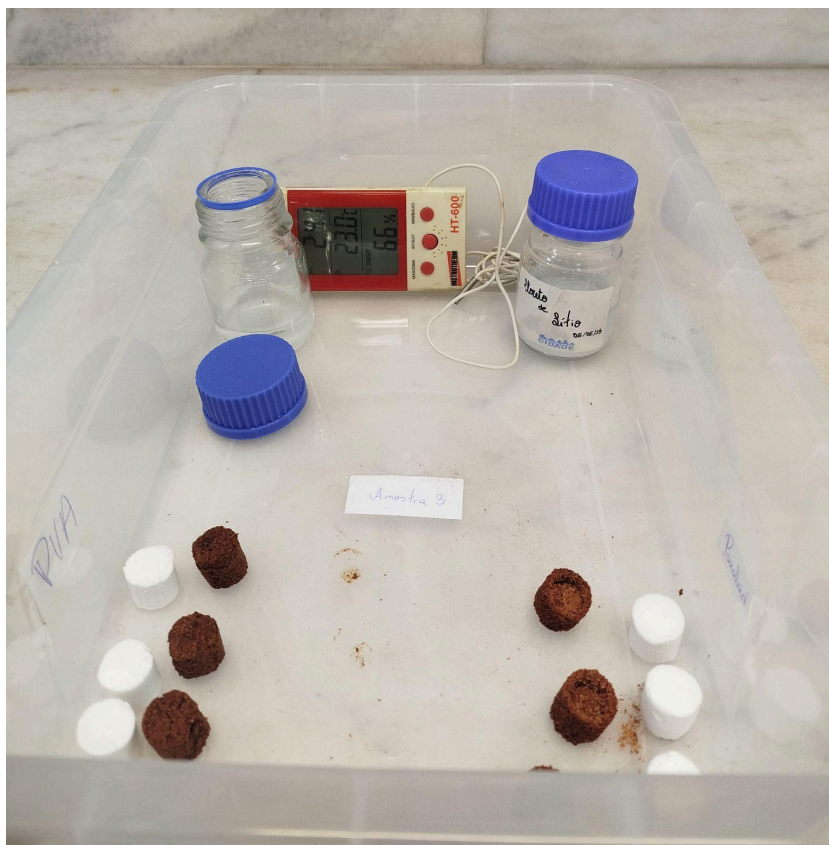
Após a obtenção das massas consolidantes, foram confeccionados protótipos para o ensaio mecânico de compressão e de variação dimensional. Os protótipos foram produzidos em triplicata e, para que os ensaios sejam reproduzíveis, conformados (moldados) em formatos iguais. Para se obter estes formatos, utilizaram-se seringas descartáveis com capacidade de 20 mL. Inicialmente, o bico das seringas foi removido por corte até sua base, e o êmbolo foi ajustado até a marca correspondente a 5 mL. Em seguida, a massa foi inserida no interior do corpo da seringa com o auxílio de uma espátula e compactada por meio do próprio êmbolo, garantindo a compactação adequada do material. Na sequência, os corpos de prova foram extrudados (desmoldados), ao serem empurrados pelo êmbolo.

5.2.2 Ensaio de Variação Dimensional com Umidade Relativa

Para a realização do ensaio, os protótipos foram acondicionados em uma caixa plástica de 10 L de polipropileno com tampa que funcionou como uma câmara de ensaio. Junto com os protótipos, foram dispostos dois recipientes, cada um contendo diferentes soluções salinas higroscópicas, utilizadas para o controle da umidade relativa (UR) do ambiente. A monitorização da UR foi realizada por meio de um termo-higrômetro digital (HT750 – Instrutherm), enquanto as variações volumétricas das amostras foram mensuradas com o auxílio de um paquímetro, garantindo a precisão das medições. As soluções salinas foram selecionadas com base nos dados apresentados por Rosado (2004, p. 85), extraídos de Lafontaine (1984), com o objetivo de submeter as amostras a condições extremas de umidade. Inicialmente, utilizou-se o cloreto de lítio (LiCl), que mantém a UR em aproximadamente 12,4% a 20 °C por 8 dias, seguido pelo cloreto de sódio (NaCl), que estabiliza a UR em cerca de 75,5% na mesma temperatura por mais 8 dias. (FIG. 11).

Entretanto, à medida que o ensaio foi conduzido, constatou-se que os valores de umidade relativa esperados com base nas referências de Lafontaine (1984) não foram observados na prática. Durante a exposição ao cloreto de lítio, o menor valor registrado foi de 39% de umidade relativa a uma temperatura de 21,2 °C, enquanto na presença de cloreto de sódio, o valor obtido foi de 69% a 20,5 °C. Esses resultados indicam uma divergência em relação aos dados teóricos, sugerindo possíveis variações nas condições experimentais ou influências ambientais não controladas que podem ter afetado o comportamento higroscópico dos sais utilizados.

Figura 11: Disposição dos materiais dentro da caixa



Fonte: A autora

As soluções salinas foram preparadas segundo a metodologia descrita no artigo “Preparo e uso de soluções salinas saturadas para a caracterização fisiológica de sementes florestais” de Medeiros (2006). Conforme esse autor, para a obtenção da solução saturada de cloreto de lítio (LiCl), recomenda-se a proporção de 0,8 mL de água deionizada para cada 1 g de sal. Dessa forma, para o preparo de 30 mL da solução, foram utilizados 37,5 g de LiCl, quantidade suficiente para saturar a solução. Para a solução saturada de cloreto de sódio (NaCl), foram empregados 15,8 g do sal em 30 mL de água deionizada, conforme os parâmetros estabelecidos pelo estudo citado.

Antes de se iniciar as medições, as amostras foram mantidas em processo de secagem durante um período de três dias. Após este prazo, a câmara foi fechada. Para assegurar a vedação eficiente do sistema, aplicou-se silicone em gel (Cola silicone Brascolla/Rhodia) nas bordas da tampa, complementado por fita adesiva transparente ao redor do fechamento. Durante o período de medições, foi necessário remover diariamente o material de vedação (silicone e fita) para a realização das leituras, sendo a câmara novamente selada ao término de cada sessão, de modo a preservar as condições internas controladas.

As amostras foram monitoradas ao longo de 16 dias, divididos em dois períodos consecutivos: os primeiros 8 dias em ambiente controlado com solução saturada de LiCl (frasco de NaCl fechado) e os 8 dias subsequentes com solução saturada de NaCl (frasco de LiCl fechado). As medições foram realizadas com o auxílio de um paquímetro analógico. Como os protótipos não apresentavam simetria radial em relação ao seu eixo vertical, foram efetuadas cinco medições em cinco pontos distintos, passando sempre pelo centro tanto da altura quanto do diâmetro, a fim de minimizar o erro aleatório. Segundo Gonçalves Jr. (2004), o erro aleatório (Ea) ocorre “quando uma medição é repetida diversas vezes, nas mesmas condições, e observam-se variações nos valores obtidos”. Dessa forma, a média aritmética dessas cinco medições foi utilizada como valor representativo para cada amostra.

Adicionalmente, as amostras foram pesadas por dezesseis dias em balança analógica, possibilitando o cálculo da densidade e o acompanhamento da sua variação ao longo do tempo.

Durante o período de medição dos corpos de prova, foi constatada uma intercorrência na execução dos ensaios. Observou-se que as três amostras confeccionadas a partir da mistura de adesivo Paraloid B72 e carga de serragem apresentaram falhas de coesão, evidenciadas pelo desprendimento progressivo da serragem na região central ao longo do tempo (FIG 12). Esse comportamento foi atribuído à quantidade insuficiente de adesivo empregada na preparação dos protótipos, indicando que as proporções previamente estabelecidas não foram adequadas para garantir a integridade das amostras. O problema manifestou-se gradualmente durante o período de medições, impossibilitando a confecção de novos corpos de prova em tempo hábil. Este comportamento inviabilizou qualquer medida e ou avaliação desta massa consolidante.

Figura 12: Corpo de prova Paraloid B72 mais serragem



Fonte: A autora

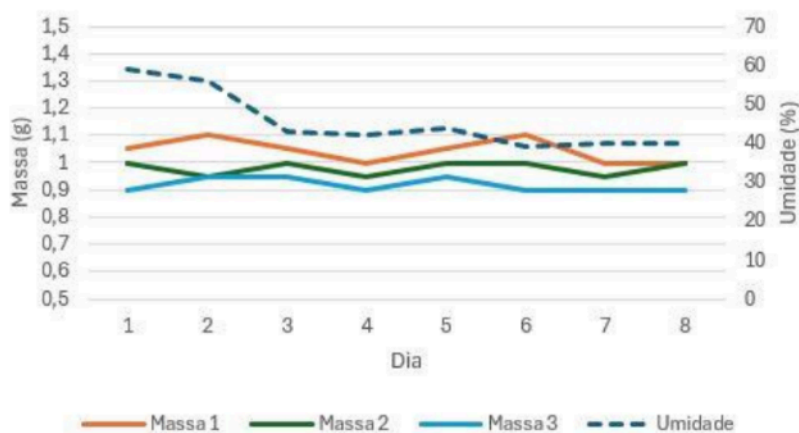
Com o objetivo de facilitar a análise e interpretação dos dados obtidos ao longo do período de medições, foram elaborados gráficos, (Gráficos 1 ao 18) representativos para cada

condição experimental. Para cada tipo de massa testada em cada sal, foram gerados três gráficos analíticos, totalizando doze gráficos por sal. No caso do cloreto de lítio, foram confeccionados três gráficos para cada uma das quatro formulações analisadas, assim como para o cloreto de sódio. Os gráficos elaborados compreendem: (i) variação de massa em função da umidade relativa, (ii) variação de volume em função da umidade relativa, e (iii) variação da densidade em relação à umidade relativa.

a) Cloreto de Lítio

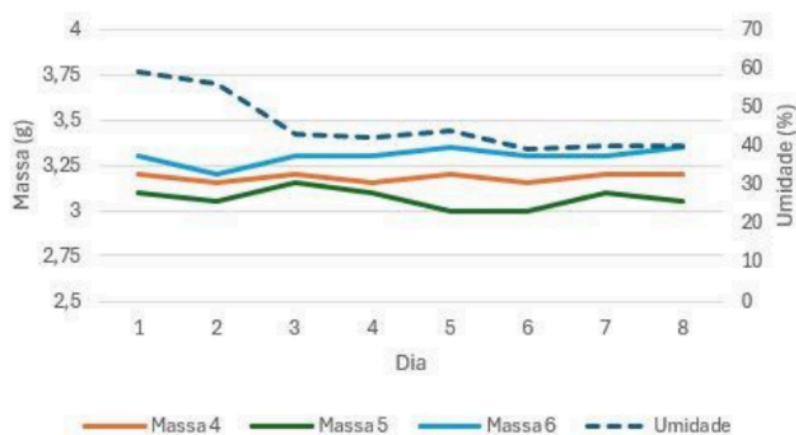
Ao longo das etapas de pesagem e medição, observou-se, inicialmente, uma padronização das massas dos protótipos, indicando baixa variação entre as amostras durante os oito dias de exposição ao cloreto de lítio, esse comportamento foi demonstrado nos gráficos 1, 2, e 3.

Gráfico 1: Relação Umidade x Massa da composição de PVA + Microesfera



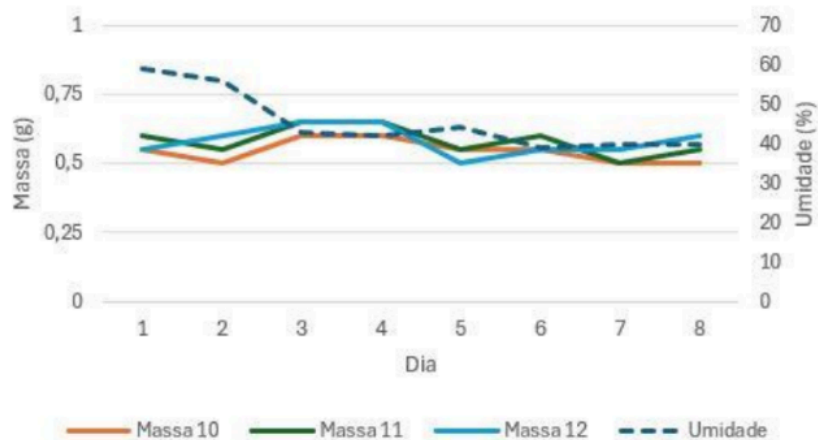
Fonte: A autora

Gráfico 2: Relação Umidade x Massa da composição PVA + serragem



Fonte: A autora

Gráfico 3: Relação Umidade x Massa da composição Paraloid B72 + Microesfera



Fonte: A autora

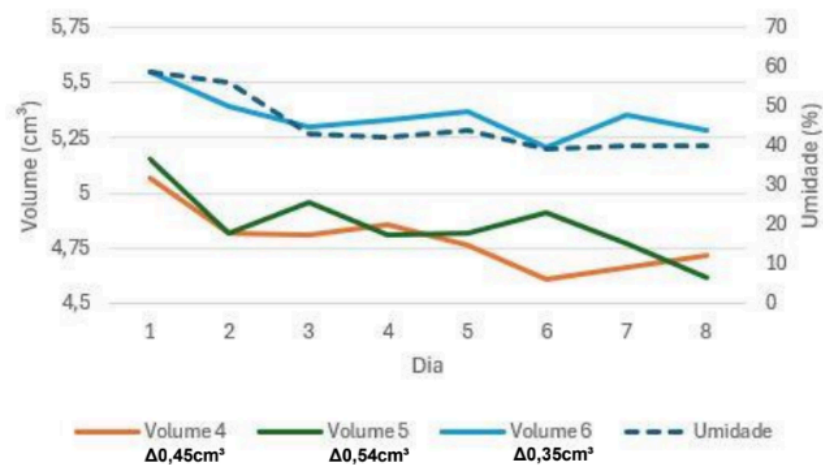
Outra variável analisada durante este ensaio foi a variação volumétrica dos corpos de prova. Verificou-se que as formulações contendo microesferas de vidro como carga não apresentaram alterações volumétricas significativas ao longo do tempo, conforme demonstrado nos Gráficos 4 e 6. Em contraste, a massa que contém a serragem como carga evidenciou variações dimensionais diretamente relacionadas às oscilações da umidade relativa do ambiente, conforme ilustrado no Gráfico 5. Esse comportamento é atribuído à natureza higroscópica da serragem, caracterizada pela sua capacidade de absorver e liberar umidade, o que influencia diretamente sua estabilidade volumétrica.

Gráfico 4: Relação Umidade x Volume da composição PVA + Microesfera



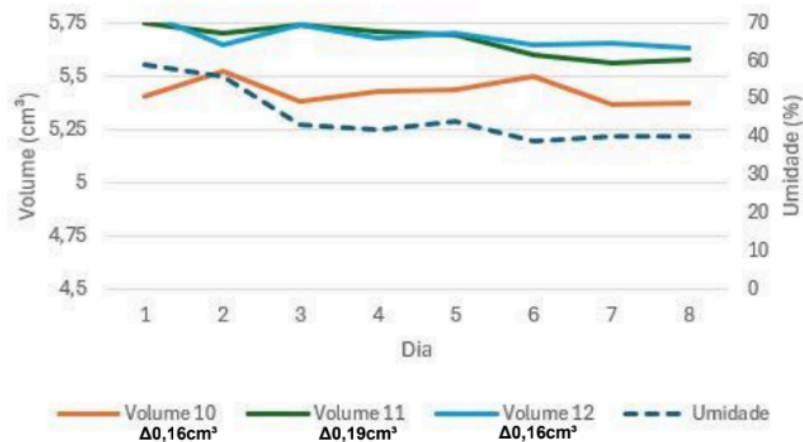
Fonte: A autora

Gráfico 5: Relação Umidade x Volume da composição PVA + serragem



Fonte: A autora

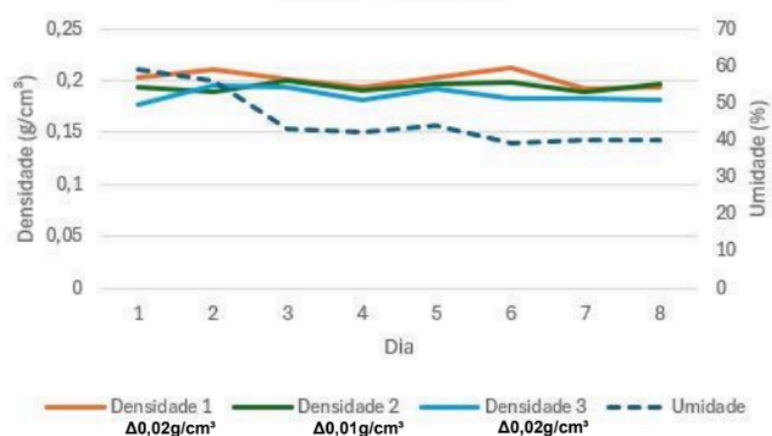
Gráfico 6: Relação Umidade x Volume da composição Paraloid B72 + Microesfera



Fonte: A autora

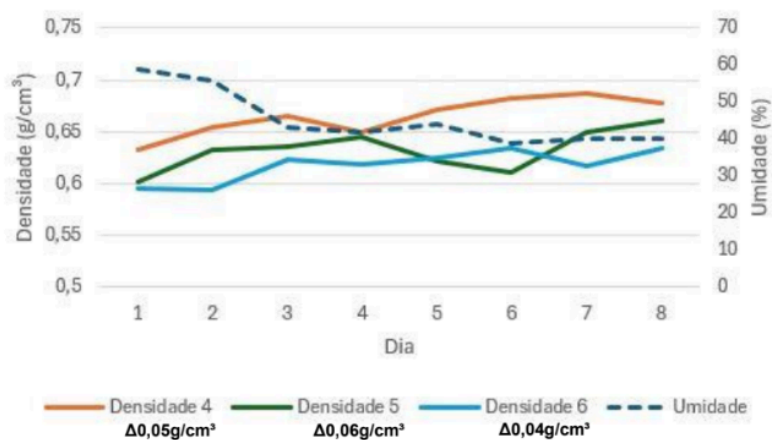
O terceiro parâmetro analisado foi a densidade das massas de consolidação testados. A formulação que apresentou a maior densidade foi aquela composta por PVA e serragem, observado no gráfico 8, enquanto a menor densidade foi registrada na mistura de Paraloid B72 com microesferas de vidro, demonstrado no gráfico 9.

Gráfico 7: Relação Umidade x Densidade da composição PVA + Microesfera



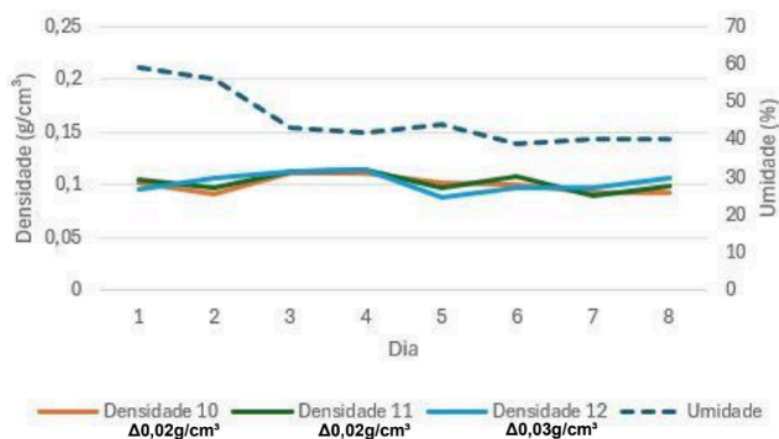
Fonte: A autora

Gráfico 8: Relação Umidade x Densidade da composição PVA + serragem



Fonte: A autora

Gráfico 9: Relação Umidade x Densidade da composição Paraloid B72 + Microesfera



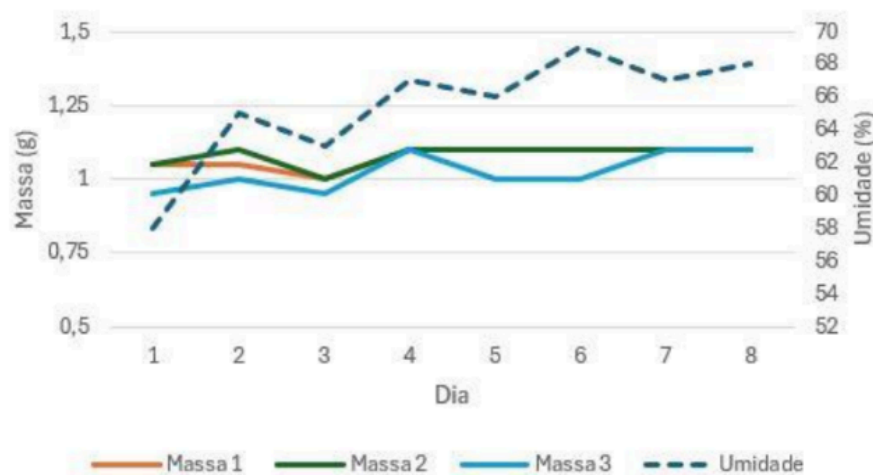
Fonte: A autora

b) Cloreto de sódio

Durante os oito dias de exposição dos protótipos ao ambiente controlado com cloreto de sódio, o comportamento previamente observado foi, em grande parte, mantido. No entanto, verificou-se uma alteração significativa na amostra composta por serragem, que passou a absorver umidade em maior proporção, em decorrência do aumento da umidade relativa no interior da câmara (conforme demonstrado no Gráfico 14). Como consequência dessa absorção, observou-se um aumento no volume dos corpos de prova, enquanto a massa permaneceu relativamente constante, resultando em uma redução dos valores de densidade (Gráfico 17).

Em contrapartida, as formulações contendo microesferas de vidro mantiveram o mesmo comportamento observado anteriormente: não foram registradas variações significativas nem na massa (Gráficos 10 e 12), nem no volume (Gráficos 13 e 15), o que resultou em densidades estáveis ao longo do período de exposição (Gráficos 16 e 18).

Gráfico 10: Relação Umidade x Massa da composição de PVA + Microesfera



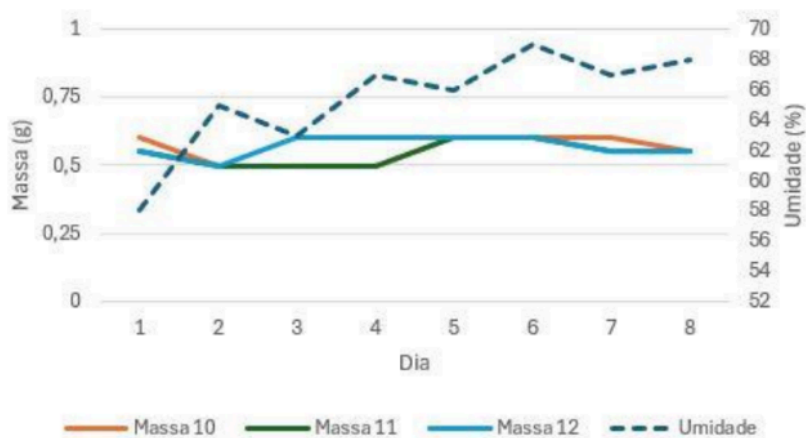
Fonte: A autora

Gráfico 11: Relação Umidade x Massa da composição PVA + serragem



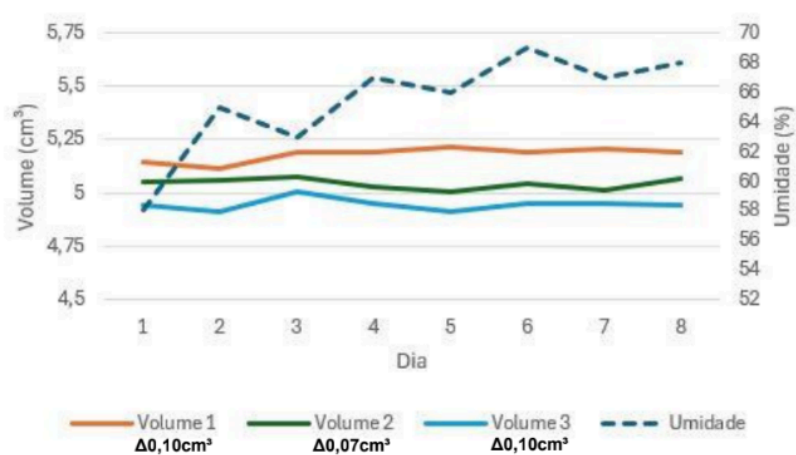
Fonte: A autora

Gráfico 12: Relação Umidade x Massa da composição Paraloid B72 + Microesfera



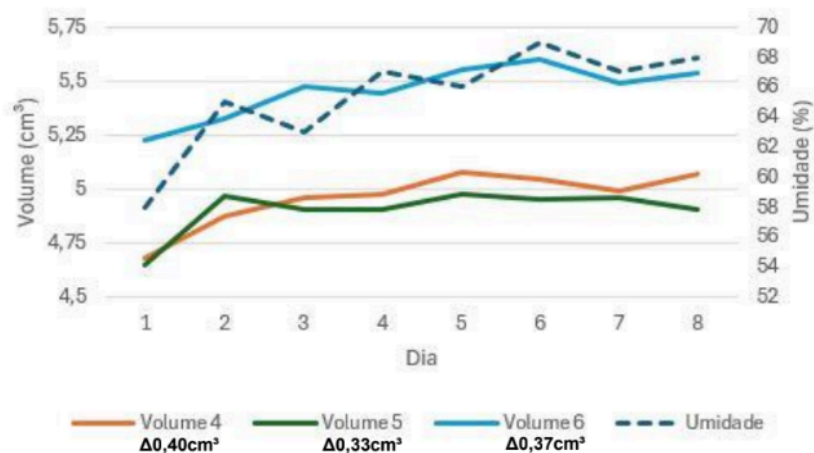
Fonte: A autora

Gráfico 13: Relação Umidade x Volume da composição PVA + Microesfera



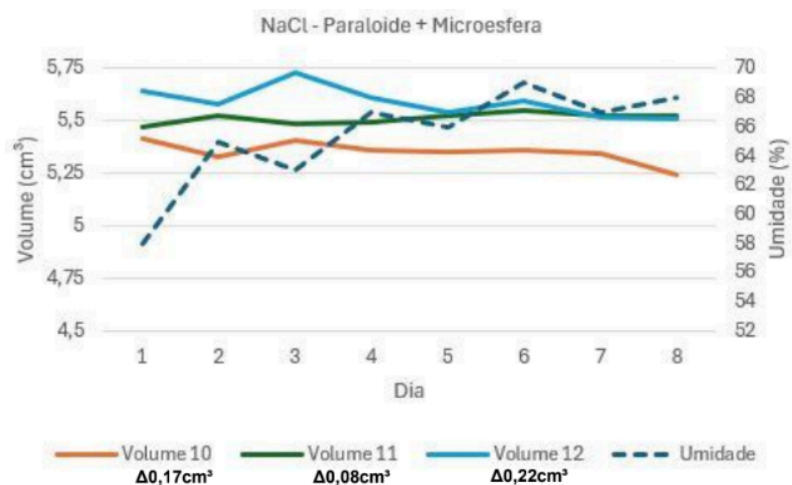
Fonte: A autora

Gráfico 14: Relação Umidade x Volume da composição PVA + serragem



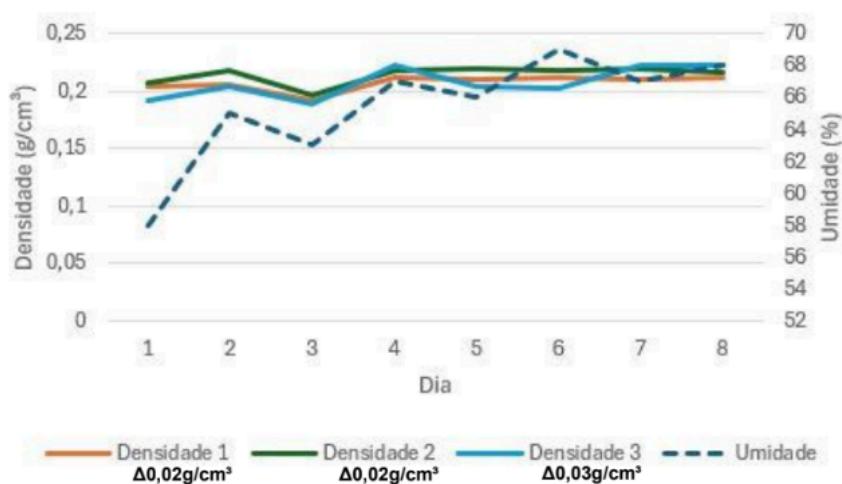
Fonte: A autora

Gráfico 15: Relação Umidade x Volume da composição Paraloid B72 + Microesfera



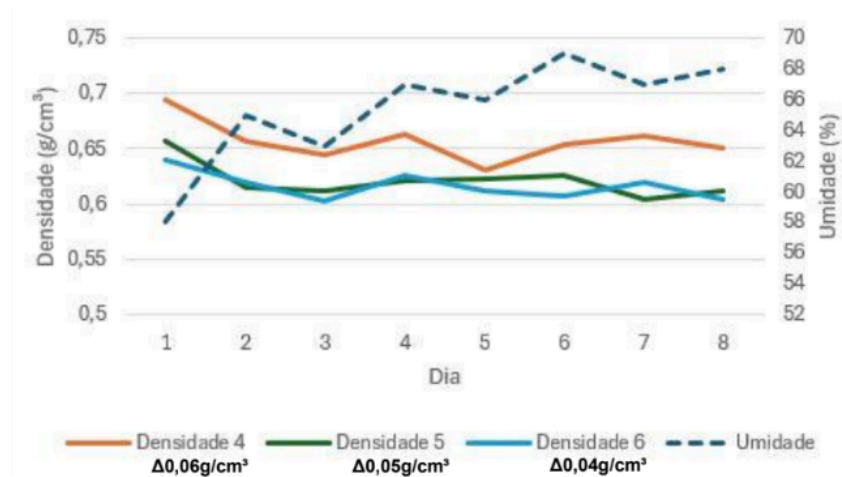
Fonte: A autora

Gráfico 16: Relação Umidade x Densidade da composição PVA + Microesfera



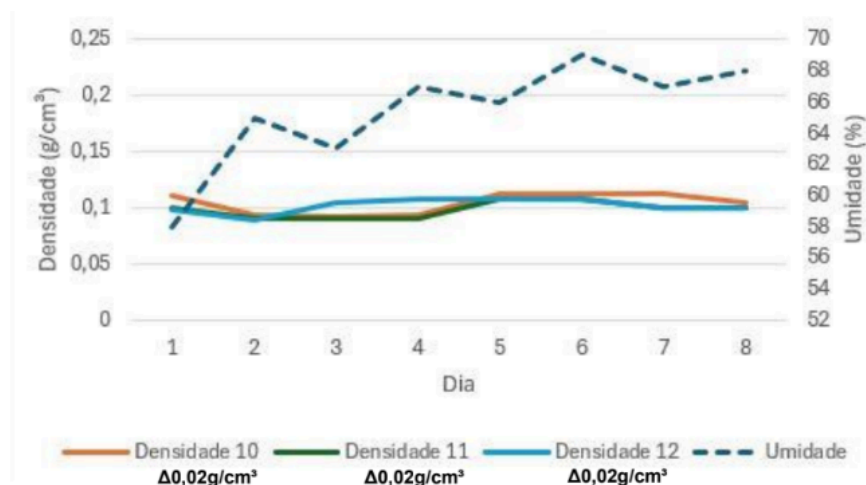
Fonte: A autora

Gráfico 17: Relação Umidade x Densidade da composição PVA + serragem



Fonte: A autora

Gráfico 18: Relação Umidade x Densidade da composição Paraloid B72 + Microesfera



Fonte: A autora

5.2.3 Ensaio de compressão

O ensaio de compressão foi realizado utilizando os mesmos protótipos previamente empregados no teste de umidade. Contudo, em razão da intercorrência observada nos corpos de prova confeccionados com a mistura de Paraloid B72 e serragem, que apresentaram falhas estruturais, não foi possível submetê-los ao ensaio de compressão. Ainda assim, os procedimentos foram conduzidos normalmente com as demais amostras, permitindo a obtenção dos dados previstos.

O ensaio foi executado por meio de uma prensa mecânica, da marca EMIC, responsável pela aplicação gradual de força sobre as amostras (FIG 13), realizado no Centro de Tecnologia em Nanomateriais e Grafeno, CT Nano, com o objetivo de registrar a curva de tensão em função da deformação específica. A curva de tensão corresponde à relação entre a tensão aplicada e a área da seção transversal da amostra, enquanto a deformação específica representa a variação relativa no comprimento da amostra (razão entre a deformação e comprimento inicial) em função da tensão aplicada.

A análise da curva tensão x deformação permite identificar o comportamento mecânico do material durante o ensaio. Inicialmente, observa-se um trecho linear crescente, correspondente ao regime elástico. Nesse regime, as deformações sofridas pelo material são reversíveis, ou seja, ao cessar a aplicação da carga, a amostra retorna à sua forma original. Superado esse limite, a curva entra no regime plástico, caracterizado por deformações permanentes. A partir desse ponto, as alterações dimensionais provocadas pela carga não são mais recuperáveis, evidenciando a transição do comportamento elástico para o plástico.

Dessa forma, diferentes materiais apresentam distintos comportamentos mecânicos, sendo que aqueles com menor módulo de elasticidade tendem a ser mais flexíveis, enquanto os materiais com maior módulo apresentam maior rigidez.

Figura 13: Prensa utilizada para o ensaio de compressão



Fonte: A autora

De acordo com Cura, Marques e Silva (2022), tanto o módulo de elasticidade quanto o limite de escoamento de uma massa de consolidação são parâmetros fundamentais para a

compreensão de seu comportamento mecânico sob compressão. Esses indicadores permitem avaliar a capacidade da massa de deformar-se ou fragmentar-se antes de transferir tensões excessivas ao substrato de madeira. Caso a massa não apresente fratura ou esfarelamento sob esforços compressivos elevados, há risco de desenvolvimento de tensões internas na interface com a madeira.

No contexto da conservação e restauração, o objetivo é selecionar o consolidante cujo módulo de elasticidade seja o mais próximo possível ao da madeira original da obra, de modo a garantir compatibilidade mecânica. É fundamental, contudo, que o módulo de elasticidade do consolidante não exceda o da madeira consolidada, pois isso pode resultar na formação de pontos de tensão e, conseqüentemente, em falhas estruturais ao longo do tempo.

O ensaio foi realizado com as três amostras de cada massa de consolidação, tirando a média do resultado delas, como indica na tabela 3.

3. Tabela 3: Resultado do módulo de elasticidade em MPa

MASSA DE CONSOLIDAÇÃO	MÓDULO DE ELASTICIDADE (Módulo de Young – E) / MPa			
	MEDIDAS			MÉDIA
	1	2	3	
Paraloid B72 + Microesfera de vidro	3,36	3,25	4,82	3,81
PVA + Microesfera de vidro	22,44	30,17	15,47	22,69
PVA + Serragem	62,04	62,92	59,38	61,45

Fonte: Os autores

De acordo com os dados disponibilizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), o módulo de elasticidade da madeira de vinhático é de 8.659 MPa. A partir dos resultados obtidos no ensaio de compressão, verifica-se que todos os consolidantes testados apresentaram módulos de elasticidade muito inferiores aos da madeira de referência.

A formulação composta por PVA e serragem obteve o valor mais elevado entre os consolidantes analisados, superando o valor obtido pela mistura de Paraloid B72 com microesfera de vidro. No entanto, essa diferença entre os dois materiais é mínima quando comparada ao desnível existente em relação ao módulo de elasticidade da madeira. Todos os

consolidantes, portanto, revelam-se substancialmente mais deformáveis do que o suporte original, indicando baixa compatibilidade mecânica.

Desse modo, o limite de escoamento será considerado um parâmetro fundamental na escolha da massa de consolidação mais adequada. Nesse contexto, a massa que apresenta menor resistência à força aplicada — ou seja, menor limite de escoamento — é a preferível, uma vez que tende a se deformar antes de gerar tensões significativas na madeira original da obra. A partir dos resultados obtidos, a formulação composta por Paraloid B72 e microesfera de vidro demonstrou o menor limite de escoamento entre as testadas, indicando ser a massa que causará menor risco de provocar danos estruturais à peça consolidada, de acordo com o ensaio de compressão.

5.2.4 Resultados

Os dois ensaios realizados com o objetivo de avaliar a adequação dos materiais de consolidação para a obra forneceram dados relevantes que devem ser criteriosamente analisados. Um dos principais parâmetros considerados é a densidade. Para garantir a compatibilidade física com o suporte original, é fundamental que o material de preenchimento não apresente densidade superior à da madeira da obra, evitando, assim, a introdução de tensões internas que possam comprometer a integridade da escultura. A madeira em questão, o vinhático, possui densidade média de 0,345 g/cm³.

Com base nesse critério, observa-se que a formulação composta por PVA e serragem deve ser descartada para aplicação, uma vez que apresentou valores de densidade superiores aos da madeira, conforme evidenciado nos Gráficos 10 e 22. A mistura de Paraloid B72 com serragem, por sua vez, apresentou densidade mais próxima à da madeira (Gráficos 12 e 24). No entanto, devido à natureza higroscópica da serragem, foi observada significativa instabilidade volumétrica, o que compromete a constância da densidade ao longo do tempo, tornando essa formulação menos recomendada para uso como consolidante.

A formulação de Paraloid B72 com microesferas de vidro foi a que apresentou a menor densidade entre todas as amostras analisadas (Gráficos 11 e 23), enquanto a formulação de PVA com microesferas apresentou valores intermediários. Importante destacar que tanto o Paraloid B72 quanto o PVA, quando combinados com microesferas de vidro, demonstraram comportamento estável em relação à variação volumétrica ao longo das medições, o que constitui um fator positivo para a escolha do material mais adequado.

O ensaio de compressão indicou que nenhuma das formulações testadas apresentou módulo de elasticidade compatível com o da madeira original da obra, o vinhático, o que, a princípio, sugeriria a inaptidão de todas para uso como material consolidante, se considerada isoladamente essa propriedade mecânica. No entanto, partindo do princípio de que o material ideal deve apresentar o módulo de elasticidade mais próximo possível ao do substrato, a formulação composta por PVA e serragem inicialmente se destacou como a mais próxima. Ainda assim, essa opção foi descartada devido à instabilidade dimensional provocada pela higroscopicidade da serragem, que compromete significativamente a sua performance a longo prazo.

A seguir, a formulação de PVA com microesfera de vidro apresentou desempenho superior ao Paraloid B72 com microesfera no que se refere apenas à aproximação do módulo de elasticidade. Contudo, o uso de adesivos à base de poli(acetato de vinila) (PVAc), como o PVA, apresenta limitações importantes já amplamente discutidas na literatura técnica. O estudo realizado pelo *Canadian Conservation Institute* (CCI, 1996) demonstrou que adesivos de base PVAc tendem a ser mais ácidos, além de amarelecem a uma taxa aproximadamente duas vezes maior do que os adesivos acrílicos, como o Paraloid B72. Além disso, foi observada uma inconsistência entre os valores de módulo de elasticidade relatados pelo CCI e os obtidos neste ensaio, levantando dúvidas quanto à confiabilidade e estabilidade desse material em longo prazo.

Diante dessas considerações, a formulação composta por Paraloid B72 e microesferas de vidro se apresenta como a opção mais adequada para aplicação como consolidante. Embora tenha apresentado o menor módulo de elasticidade entre as amostras testadas, essa formulação reúne uma série de propriedades compatíveis com os critérios conservativos: baixa densidade, mínima variação volumétrica ao longo do tempo, menor tendência ao amarelecimento e pH mais estável e menos ácido em comparação ao PVA. Tais características favorecem sua aplicação, uma vez que garantem maior compatibilidade físico-química, estabilidade dimensional e durabilidade da intervenção, tornando-a a alternativa mais indicada entre as opções analisadas.

5.3 Aplicação do consolidante na escultura em estudo

Com a definição da formulação mais adequada de adesivo, a etapa seguinte consistiu na aplicação do consolidante selecionado. No entanto, houve uma inconsistência entre as condições dos testes laboratoriais e a aplicação prática. Nos ensaios experimentais, o Paraloid

B72 foi preparado a 10% em acetato de isoamila, solvente conhecido por seu odor característico, semelhante a banana.

Apesar de sua eficiência técnica, esse solvente apresentou uma limitação significativa relacionada à sua aplicação em contextos museológicos: o odor persistente do acetato de isoamila, mesmo após a evaporação do solvente, revelou-se inadequado para ambientes de armazenamento fechados e controlados. Tal condição corresponde exatamente ao ambiente de acondicionamento da obra em questão, que permanece sob guarda na reserva técnica do Museu, local que conta com controle ambiental e permanece fechado por longos períodos. A exposição contínua ao odor intenso e duradouro poderia comprometer tanto o conforto dos profissionais quanto a integridade olfativa do ambiente expositivo, além de não ser recomendável em espaços com circulação restrita de ar.

Considerando essas limitações práticas, optou-se pela substituição do solvente no preparo da solução de Paraloid B72. A nova formulação passou a ser preparada a 10% em acetona, solvente de rápida evaporação, com odor menos persistente e amplamente utilizado na conservação, o que assegura maior compatibilidade com as exigências ambientais e funcionais da reserva técnica e contribui para a viabilidade da aplicação do consolidante em condições reais de preservação.

Para o preparo da massa de consolidação, adotaram-se os mesmos parâmetros utilizados na produção dos protótipos testados nos ensaios anteriores, consistindo na proporção de 32 g de adesivo Paraloid B72 e 6 g de microesferas de vidro. Nessa proporção, a massa resultante apresenta maior densidade e consistência, o que exige sua aplicação com o auxílio de uma espátula metálica, permitindo o correto manuseio e preenchimento das lacunas.

Antes da aplicação da massa, foi realizada a execução de uma junta de dilatação, com o objetivo de preservar a integridade da interface entre o suporte original e o consolidante. Para isso, empregou-se uma técnica que consiste na criação de uma barreira física temporária por meio da inserção de um filme de poliéster no local destinado à aplicação (FIG. 8). Esse filme atua como um espaçador provisório, garantindo uma separação controlada entre os materiais e possibilitando a movimentação diferencial entre o suporte e a massa, prevenindo o surgimento de tensões internas ou fissuras futuras.

Figura 14: Junta de dilatação realizado com filme de poliéster



Fonte: A autora

Após o primeiro dia de aplicação da massa de consolidação, verificou-se, no momento da remoção do filme de poliéster, no dia seguinte, que em uma das áreas intervenientes o material ainda não havia atingido a secagem completa (FIG. 9). Em decorrência dessa condição, foi necessário preparar uma nova porção da massa com as mesmas proporções previamente adotadas, a fim de realizar um pequeno reparo na região afetada por leve deslocamento do material.

A partir dessa observação empírica, constatou-se que a formulação utilizada (32 g de Paraloid B72 para 6 g de microesferas de vidro) requer, em média, um período de aproximadamente um dia e meio para atingir a secagem completa sob as condições ambientais em que foi aplicada. Essa informação é relevante para o planejamento de futuras aplicações, especialmente em contextos nos quais o tempo de cura impacta a sequência de etapas do processo de conservação.

Figura 15: Resultado da remoção antecipada do acetato



Fonte: A autora

Na sequência, foi realizada a etapa de acabamento, tanto sobre as áreas consolidadas quanto no fechamento de fissuras superficiais presentes na madeira. Para essa finalidade, utilizou-se uma mistura composta por adesivo à base de poli (acetato de vinila) (PVA) diluído em água na proporção 1:1, adicionado de serragem fina em tonalidade semelhante à do suporte original. Essa formulação permite um acabamento coeso, visualmente compatível e de fácil aplicação.

Ainda que a utilização do PVA como consolidante estrutural tenha sido amplamente questionada ao longo deste trabalho, principalmente devido à sua acidez, instabilidade a longo prazo e tendência ao amarelecimento, conforme apontado por estudos como o do *Canadian Conservation Institute* (1996), é importante destacar que tais considerações dizem respeito ao uso do adesivo em concentrações elevadas, em aplicações internas e permanentes na estrutura da obra.

No presente caso, seu uso restringiu-se exclusivamente à etapa de acabamento superficial, em quantidade mínima e com significativa diluição em água, o que reduz consideravelmente os riscos associados à sua instabilidade química. Além disso, por tratar-se de uma intervenção de caráter pontual e de fácil reversibilidade, a escolha pelo PVA mostrou-se tecnicamente viável e adequada às exigências estéticas e operacionais da intervenção, garantindo uniformidade visual e compatibilidade cromática com o suporte original.

Entretanto, ao se aproximar a etapa final de apresentação estética da obra, observou-se que as ações decorrentes do processo de consolidação ultrapassaram os limites previamente

estabelecidos para este trabalho. Diante disso, compreendeu-se que a continuidade das intervenções implicaria na incorporação de propostas que não foram previamente planejadas, discutidas ou contempladas nos objetivos desta pesquisa. Assim, optou-se pelo encerramento das atividades, de modo a preservar a coerência metodológica e os critérios técnicos definidos. Ressalta-se, portanto, a necessidade de elaboração de um novo projeto específico para a abordagem da apresentação estética da obra, a fim de assegurar o aprofundamento adequado e a devida fundamentação das futuras intervenções.

Figura 16: Resultado final das intervenções



Fonte: A autora

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar e selecionar o material mais adequado para a consolidação das lacunas presentes na obra Madona do artista Cléber Gouveia. A pesquisa experimental incluiu a produção de protótipos, ensaios de umidade, compressão e análise de parâmetros físicos, como densidade e variação volumétrica, a fim de identificar a formulação

que melhor se aproximasse, em comportamento mecânico e físico-químico, das características da madeira original.

Ao considerar uma análise mais abrangente, incluindo critérios como densidade, estabilidade dimensional, comportamento higroscópico, limite de escoamento, pH e envelhecimento do adesivo, concluiu-se que a formulação composta por Paraloid B72 e microesferas de vidro apresentou o conjunto mais equilibrado de propriedades. Este material demonstrou baixa densidade, mínima variação volumétrica ao longo do tempo, menor resistência e maior estabilidade química, sendo, portanto, a alternativa mais apropriada para a consolidação.

Ainda que o PVA tenha sido descartado como consolidante estrutural devido às suas limitações, como acidez e maior propensão ao amarelecimento, seu uso em pequena quantidade e diluído em água na etapa de acabamento superficial mostrou-se tecnicamente aceitável. Nessa fase, sua aplicação proporcionou bom resultado estético, adequada compatibilidade cromática e fácil retrabalhabilidade, respeitando os princípios fundamentais da conservação-restauração.

A metodologia adotada demonstrou ser eficaz para a seleção do material de consolidação mais adequado ao caso proposto, evidenciando a importância de análises multidisciplinares que considerem tanto o desempenho técnico quanto a compatibilidade física e química com o suporte original. Por fim, este estudo contribui para a ampliação do conhecimento técnico na área da conservação e restauração de esculturas em madeira, oferecendo parâmetros seguros para futuras intervenções em obras com características similares.

REFERÊNCIAS

ÁVILA, Cristina. *Identificação do objeto*. Belo Horizonte, 1995. Museu de Arte de Belo Horizonte. Documento interno.

BOTTOSSO, Paulo Cesar. *Identificação macroscópica de madeiras: guia prático e noções básicas para o seu reconhecimento*. 1. ed. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2011. 66 p.

BRANDI, Cesare. *Teoria da restauração*. 1. ed. Rio de Janeiro: Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, 2004. (Coleção Patrimônio Cultural).

CARVALHO, Marcelo C. e CORDEIRO, Amanda C. A. Identificação de madeiras em esculturas policromadas: Uma abordagem sensorial, anatômica e físico mecânica. [Manuscrito não publicado] 2025.

CARVALHO, Paulo Ernani Ramalho. *Espécies arbóreas brasileiras*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2008. 593 p. (Coleção Espécies Arbóreas Brasileiras, v. 3). ISBN 978-85-7383-429-1.

CLEBER Gouvêa. In: ENCICLOPÉDIA Itaú Cultural de Arte e Cultura Brasileira. São Paulo: Itaú Cultural, 2025. Disponível em:
<http://enciclopedia.itaucultural.org.br/pessoas/3419-cleber-gouvea>. Acesso em: 7 de abril de 2025. Verbete da Enciclopédia.
ISBN: 978-85-7979-060-7

DIAS, Mariana. *Ficha de diagnóstico Madona*. Belo Horizonte, 2011. Museu de Arte da Pampulha. Documento interno.

DOWN, Jane L.; MACDONALD, Maureen A.; TETREAULT, Jean; WILLIAMS, R. Scott. *ADHESIVE TESTING AT THE CANADIAN CONSERVATION INSTITUTE-AN EVALUATION OF SELECTED POLY (VINYL ACETATE) AND ACRYLIC ADHESIVES*. Studies in Conservation, [s. l.], ed. 41, p. 19-44, 1996.

DOWN, Jane L. *The evaluation of selected poly (vinyl acetate) and acrylic adhesives: A final research update*. Studies in Conservation, [s. l.], v. 60, n. 1, p. 33-54, 2015.

FRANÇA, Conceição Linda de; BARBOZA, Melo. *UMA NOVA ALTERNATIVA PARA CONSOLIDAÇÃO DE OBJETOS EM MADEIRA: A UTILIZAÇÃO DE MICROESFERAS DE VIDRO COMO CARGA EM AGLUTINANTES PROTEICOS*. Congresso Iberoamericano y VIII Jornada “Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio”, Buenos Aires, Argentina, p. 1 - 9, 11 set. 2009.

GONÇALVES JR., Armando Albertazzi. *Metrologia: Parte I*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de Metrologia e Automatização, 2004.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. Vinhático. In: Madeiras – Informações sobre madeiras. São Paulo: IPT, 1989a. Disponível em: <https://madeiras.ipt.br/vinhatico/>.

JUNIOR, João Cura D’Ars de Figueiredo; MARQUES, Hudson Diniz Pereira; SILVA, Glaura Goulart. *Expanded vermiculite and polyvinyl acetate composite as gap filler for wooden objects conservation*. *Journal of Cultural Heritage*, [s. l.], ed. 55, p. 88-94, 2022.

KRYG, Paulina; MAZELA, Bartłomiej; BRODA, Magdalena. Dimensional Stability and Moisture Properties of Gap-Fillers Based on Wood Powder and Glass Microballoons. *Studies in Conservation*, The International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, p. 01-10, 15 jul. 2019. DOI 10.1080/00393630.2019.1630567. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00393630.2019.1630567>. Acesso em: 23 mar. 2025.

MARQUES, Hudson Diniz Pereira. Metodologia para testes com novos consolidantes - Estudo de caso: Vermiculita Expandida com carga em massas para consolidação estrutural em esculturas de madeira. Orientador: João Cura D’Ars de Figueiredo Junior. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Conservação-Restauração de Bens Culturais Móveis) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

MEDEIROS, Antonio Carlos de Souza. *Preparo e uso de soluções salinas saturadas para a caracterização fisiológica de sementes florestais*. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. 28 p. (Circular Técnica, 125). ISBN 1517-5278.

MUSEU DE ARTE DA PAMPULHA. *Inventário do acervo escultórico*. Belo Horizonte: Prefeitura de Belo Horizonte, 2015.

MUSEU DE ARTE DA PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. *Ficha técnica do artista Cleber Gouveia*. Belo Horizonte. Documento interno.

MUSEU DE ARTE DA PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. *Análise do estado de conservação das obras do acervo*. Belo Horizonte, 1994. Documento interno.

NELITA. *Ficha Museográfica*. Belo Horizonte, 1981. Museu de Arte de Belo Horizonte. Documento interno.

QUITES, Maria Regina Emery; COELHO, Beatriz. *Estudos da escultura devocional em madeira*. São Paulo: Edusp, 2001.

ROSADO, Alessandra. *Conservação preventiva da escultura colonial mineira em cedro: um estudo preliminar para estimar flutuações permissíveis de umidade relativa*. 2004. 129 f. Dissertação (Mestrado em Artes Visuais) – Escola de Belas Artes, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

Rubens Teixeira de Queiroz. P. reticulata. *Rubens – Plantas do Brasil*, [s.d.]. Disponível em: <https://rubens-plantasdobrasil.blogspot.com/search?q=%C2%A0P.+reticulata>.

VIÑAS, Salvador Muñoz. *Teoría contemporánea de la Restauración*. Madrid: Editorial Síntesis, 2003.