



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE BELAS ARTES
Curso de Conservação e restauração de Bens Culturais Móveis

Marcelo César de Carvalho

**ESTUDO EXPERIMENTAL SOBRE A CONSOLIDAÇÃO
DE BENS CULTURAIS EM MADEIRAS HISTÓRICAS
DANIFICADAS PELO FOGO: Aplicação Prática em uma Escultura
Policromada de Santo Antônio**

Belo Horizonte
2025



Marcelo César de Carvalho

**Estudo Experimental Sobre a Consolidação de Bens Culturais
em Madeiras Históricas Danificadas pelo Fogo: Aplicação Prática em uma
Escultura Policromada de Santo Antônio**

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

Orientadora: Prof.^a Amanda Cristina
Alves Cordeiro
Coorientador: Prof. João Cura D'Ars de
Figueiredo Junior
Colaboradora: Prof.^a Rossimiriam Pereira
de Freitas



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

**"Restauração de uma imagem devocional de Santo Antônio: Estudo sobre a
consolidação de bens culturais em madeira policromada danificados pelo fogo"**

MARCELO CÉSAR DE CARVALHO

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 25/06/2025 pela banca constituída pelos membros:

Profa. **AMANDA CRISTINA ALVES CORDEIRO**
Orientadora

Profa. **ALESSANDRA ROSADO**
Examinadora

Profa. **BEATRIZ COELHO**
Examinadora

Belo Horizonte, 25 de junho de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **Amanda Cristina Alves Cordeiro, Professora do Magistério Superior**, em 29/09/2025, às 11:32, 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 30/09/2025, às 17:52, 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 **Beatriz Ramos de Vasconcelos Coelho, Usuário Externo**, em 15/11/2025, às 21:00, 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 **4597122** e o código CRC **B8A2BD9E**.

Referência: Processo nº 23072.238747/2025-57

SEI nº 4597122



Dedico este trabalho à Prof.^a Beatriz Coelho, cuja trajetória inspiradora e compromisso com a preservação do patrimônio cultural marcaram profundamente minha formação. Sua paixão pela arte e pela restauração, aliada à generosidade com que compartilha seu saber, são farol para todos que trilham este caminho.



AGRADECIMENTOS

Aos meus filhos e ao meu companheiro, por estarem sempre ao meu lado, me apoiando, incentivando e me fazendo sentir orgulho do que faço. A presença, o carinho e a confiança de vocês foram fundamentais em todos os momentos desta caminhada. À minha irmã Udy, pelo companheirismo, apoio e presença constante ao longo de toda minha vida. Aos meus pais, *in memoriam*, por todo o amor, ensinamentos e valores que continuam a me guiar, mesmo na saudade.

Aos professores do Curso de Conservação e Restauração de Bens Culturais Móveis da UFMG, pela dedicação e compromisso ao longo da minha formação. Agradeço profundamente àqueles que, com entusiasmo e amor pela profissão, contribuíram diretamente para o meu crescimento acadêmico e humano. Expresso também minha sincera gratidão à Prof.^a Anamaria Lopes Camargos, por sua generosidade, sensibilidade e pelo cuidado constante com que acompanha a trajetória de seus alunos.

Aos meus colegas de turma, que enfrentaram comigo cada desafio e cada conquista. Obrigado por compartilharem essa jornada com leveza, companheirismo e resistência – sobrevivemos juntos!

Agradeço à minha orientadora, Prof.^a Amanda Cordeiro, e ao meu coorientador, Prof. João Cura D'Ars de Figueiredo Junior, pela orientação atenta, pelo incentivo e por compartilharem seus conhecimentos de forma tão generosa ao longo deste percurso.

À Prof.^a Rossimiriam Pereira de Freitas, colaboradora do Departamento de Química da UFMG, e aos técnicos do laboratório que viabilizaram a realização dos experimentos, minha sincera gratidão. Estendo meus agradecimentos à equipe técnica do CT-NANO/UFMG, especialmente aos pesquisadores Luciana Cambraia e Marcelo Mantini, pela disponibilidade, precisão técnica e acolhimento durante os testes de resistência.



*Se milagres desejais
Recorrei a Santo Antônio,
Vereis fugir o demônio
E as tentações infernais.
Recupera-se o perdido
Rompe-se a dura prisão
E no auge do furacão
Cede o mar embravecido.
Pela Sua intercessão
Foge a peste, o erro, a morte
O fraco torna-se forte
E torna-se o enfermo são.
Todos os males humanos
Se moderam e retiram
Digam-no aqueles que o viram
E digam-no os Paduanos.*

Rogai por nós Santo Antônio para que sejamos dignos das promessas de Cristo.

Responsório de Santo Antônio¹

¹ Arquidiocese de Belo Horizonte - <https://arquidiocesebh.org.br/>



RESUMO

O trabalho analisa a restauração de uma escultura de Santo Antônio que sofreu danos significativos devido a um incêndio. A restauração é apresentada como um processo que deve ser feito com a participação de todos os envolvidos, pois as decisões sobre intervenções afetam sua capacidade de comunicar seu significado simbólico. A teoria contemporânea de restauração, conforme discutido, sugere que o objetivo é devolver a obra a um estado que favoreça sua capacidade de transmitir significado, levando em conta a percepção dos devotos e o contexto histórico da peça. A proposta de restauração considera a técnica construtiva da escultura, que é uma imagem de vulto talhada em madeira e policromada, destacando a necessidade de preservar suas características originais para restabelecer a relação de fé com os devotos. O documento apresenta uma pesquisa, realizada em protótipos de alguns tipos de madeiras mais utilizadas em esculturas do século XVIII, que foram danificadas pelo fogo em uma queima controlada. Foram analisadas algumas propriedades das madeiras antes e após a carbonização e apresentados métodos diferenciados de consolidação com adesivos. Um destes métodos foi utilizado para restaurar a imagem de Santo Antônio do estudo.

Palavras-chave: Adesivo. Carbonização. Consolidação. Escultura. Madeira.



RESUMEN

El trabajo analiza la restauración de una escultura de San Antonio, que sufrió importantes daños a causa de un incendio. La restauración se presenta como un proceso que debe realizarse con la participación de todos los involucrados, ya que las decisiones sobre las intervenciones afectan su capacidad de comunicar su significado simbólico. La teoría de la restauración contemporánea, como se discutió, sugiere que el objetivo es devolver la obra a un estado que favorezca su capacidad de transmitir significado, teniendo en cuenta la percepción de los devotos y el contexto histórico de la pieza. La propuesta de restauración considera la técnica constructiva de la escultura, la cual es una imagen de bulto tallada en madera y policromada, resaltando la necesidad de preservar sus características originales para restablecer la relación de fe con los devotos. El documento presenta una investigación realizada con prototipos de algunos tipos de madera más utilizados en las esculturas del siglo XVIII, que fueron dañados por el fuego en una quema controlada. Se analizaron algunas propiedades de la madera antes y después de la carbonización y se presentaron diferentes métodos de consolidación con adhesivos. Uno de estos métodos fue utilizado para restaurar la imagen de San Antonio en el estudio.

Palabras clave: Adhesivo. Carbonización. Consolidación. Escultura. Madera.



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Dimensões da obra de estudo	13
Figura 2 – Linhas mestras da composição e cânone.....	14
Figura 3 – Contornos da volumetria (ângulos).....	14
Figura 4 – Exemplo de madeira vista pelo microscópio	22
Figura 5 – Dimensões dos protótipos e esquema de testes.....	30
Figura 6 – Protótipos de madeiras recortados	30
Figura 7 – Medição de densidade por deslocamento de volume.....	34
Figura 8 – Observação com lupa de aumento	34
Figura 9 – Geolocalização das espécies	36
Figura 10 – Esquema das camadas da policromia e douramento	38
Figura 11 – Aplicação das camadas nos protótipos	40
Figura 12 – Esquema de queima dos protótipos.....	41
Figura 13 – Esquema de queima dos protótipos.....	43
Figura 14 – Seções carbonizadas da madeira	43
Figura 15 – Paraloid® B-72	46
Figura 16 – Penetração do consolidante	47
Figura 17 – Preparo dos consolidantes	50
Figura 18 – Aplicação do consolidante.....	51
Figura 19 – Equipamento de ensaio mecânico universal EMIC DL10000	53
Figura 20 – Teste de resistência na madeira	54
Figura 21 – Gráfico da perda percentual de massa após a queima das madeiras	57
Figura 22 – Gráfico das variações nas densidades das amostras após a queima das madeiras	57
Figura 23 – Gráfico do ganho percentual de massa após a consolidação das madeiras.....	62
Figura 24 – Gráfico das variações nas densidades após a consolidação das madeiras	62
Figura 25 – Gráfico das recuperações das densidades em função dos solventes	65
Figura 26 – Teste de molhabilidade com gotas d'água.....	67
Figura 27 – Gráficos de força e deformação ao longo do tempo	68
Figura 28 – Módulo de Elasticidade Estimado por Condição e Madeira.....	71
Figura 29 – Preparo e aplicação de Paraloid® B-72	74
Figura 30 – Aplicação de massa de serragem com pigmento.....	75
Figura 31 – Recuperação da volumetria do manto (etapa 1).....	76
Figura 32 – Recuperação da volumetria do manto (etapa 2).....	77
Figura 33 – Resultado final das intervenções	78



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CECOR – Centro de Conservação e Restauração de Bens Culturais

IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

IEPHA – Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Madeiras utilizadas em esculturas do século XVIII	28
Tabela 2 – Amostras de madeiras disponíveis	29
Tabela 3 – Densidades das amostras de teste	33
Tabela 4 – Identificação das espécies	35
Tabela 5 – Uso de consolidantes em estudos de casos	45
Tabela 6 – Propriedades dos solventes	48
Tabela 7 – Perda de massa após a queima das amostras	55
Tabela 8 – Densidades das amostras de teste após a queima.....	56
Tabela 9 – Ganho de massa após consolidação das amostras.....	60
Tabela 10 – Densidades após consolidação	61
Tabela 11 – Recuperação das densidades em função do valor original.....	64
Tabela 12 – Resultados dos testes de resistência	70



SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Identificação do objeto de estudo	12
1.2 Contexto histórico e hagiografia	15
1.3 Contexto Teórico da Conservação e Restauração	16
2 OBJETIVOS	19
2.1 Objetivo Geral	19
2.2 Objetivos Específicos	19
3 JUSTIFICATIVA	20
4 REVISÃO TEÓRICA-METODOLÓGICA	21
4.1 Características da madeira	21
4.2 Importância da identificação anatômica das madeiras	23
4.3 Ação do fogo sobre a madeira	23
4.4 Adesivos utilizados em restauração	24
5 METODOLOGIA	25
6 SELEÇÃO DAS MADEIRAS DE TESTE	27
6.1 Pesquisa bibliográfica	27
6.2 Definição das dimensões dos protótipos	29
6.3 Identificação das espécies de madeiras	30
7 REALIZAÇÃO DOS TESTES	37
7.1 Preparo dos protótipos	37
7.2 Queima dos protótipos	39
7.3 Consolidação dos protótipos queimados	44
7.4 Testes de resistência	52
8 RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
8.1 Cálculo das perdas de massa e alteração das densidades após a queima	53
8.2 Tratamento dos dados após a queima	54
8.3 Cálculo dos ganhos de massa e alteração das densidades após a consolidação	59
8.4 Tratamento dos dados após a consolidação	61
8.5 Avaliação qualitativa da superfície consolidada	66
8.6 Resultados dos testes de resistência	67
9 CONSOLIDAÇÃO DA OBRA	71
10 CONCLUSÕES	78
BIBLIOGRAFIA	81

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta a análise do processo de consolidação de uma escultura devocional de Santo Antônio, danificada por um incêndio. A pesquisa parte da seleção e caracterização de espécies de madeira utilizadas em esculturas do século XVIII e da realização de testes práticos com protótipos submetidos à queima controlada, seguidos da consolidação com diferentes formulações de agentes consolidantes. O texto está estruturado de forma a abordar, inicialmente, o contexto histórico e teórico da conservação e restauração, seguido da apresentação dos objetivos, justificativa e revisão bibliográfica. Em seguida, são descritas as etapas metodológicas, os testes realizados e os resultados obtidos, incluindo análises quantitativas e qualitativas sobre a eficácia dos tratamentos aplicados. Por fim, são discutidas as intervenções realizadas na obra de estudo e apresentadas as conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

1.1 Identificação do objeto de estudo

A obra abordada neste trabalho é uma escultura em madeira talhada e policromada, com representação de Santo Antônio. Sua autoria, datação e origem não foram identificadas. A imagem foi recebida no Centro de Conservação e Restauração de Bens Culturais (CECOR), no dia 20 de abril de 2023¹, com o número de registro 23-03R. A escultura de Santo Antônio tem, como função social, o culto religioso, sendo procedente da Igreja Matriz de Santa Luzia, localizada à Rua Direita, s/n – Centro, Santa Luzia – Minas Gerais, de propriedade da Mitra Arquidiocesana de Belo Horizonte, localizada à Rua Lignito, 62 – Santa Efigênia, Belo Horizonte – Minas Gerais.

As dimensões da escultura estão descritas na figura 1. A obra representa uma figura masculina, com traços imberbes, de pele clara, tonsurada. Ele está postado de pé, o corpo voltado para a frente do observador, em posição de contraposto. A figura veste hábito preto com capuz cônico, cujo panejamento encontra-se caído sobre os ombros, formando uma esclavina característica do hábito franciscano. O manto, de mesmo tom escuro, é decorado com detalhes dourados visíveis na gola, nas bordas das mangas e no contorno da esclavina. Por baixo, é possível observar parte da túnica vermelha, ornamentada com motivos florais em esgrafito. A policromia original está presente em algumas áreas preservadas, contrastando com repinturas posteriores e resquícios de douramento expostos em regiões de perda. A superfície apresenta craquelê, especialmente nas áreas planas do manto. O rosto é arredondado, com bochechas

cheias, sobrancelhas arqueadas e lábios levemente curvados em um sorriso sutil. A expressão é serena, reforçando o caráter devocional da imagem. A figura se apresenta apoiada na perna esquerda, tendo a perna direita flexionada na altura do joelho, com o calcanhar discretamente elevado. Sua cabeça está ligeiramente inclinada para a direita do observador, com o olhar dirigido para baixo e para a direita. O braço direito está flexionado na altura do cotovelo, em um ângulo de 90° , voltado para frente. O bloco referente à mão direita foi perdido. O braço esquerdo está flexionado em um ângulo um pouco maior que 90° , dobrado para a direita. A mão esquerda está espalmada, voltada para cima e apoia um objeto retangular. O pé direito está voltado para fora, no sentido da esquerda do observador. O pé esquerdo foi totalmente carbonizado, mas os resquícios da talha indicam que estaria voltado para frente. A parte restante da perna esquerda é coberta pelo panejamento da veste, enquanto a porção inferior está perdida, em decorrência da carbonização. A escultura possui um orifício no topo da cabeça, sugerindo um encaixe para um resplendor. A face apresenta corte lateral, em sentido longitudinal, realizado para inserção dos olhos de vidro.

Figura 1 – Dimensões da obra de estudo



Fonte: Fotos Cláudio Nadalin – Acervo CECOR, montagem do autor

A escultura é composta por linhas predominantemente diagonais e curvas, o que lhe confere uma movimentação elíptica. A escultura possui, portanto, características mais assimétricas. Sua volumetria se insere no formato de um cone. A altura do vulto pleno, apresenta um cânone de seis cabeças. Assim, a escultura não segue o modelo clássico de sete cabeças e meia. As linhas mestras da composição e o cânone são mostradas na figura 2. Ao observar as

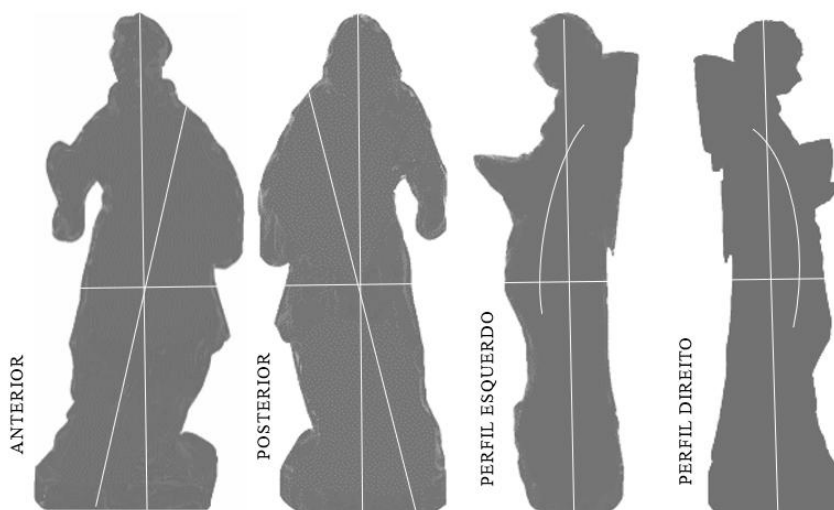
silhuetas ou contornos da volumetria no espaço da escultura, como mostrados na figura 3, nos ângulos anterior (frontal), posterior (costas), perfil esquerdo e perfil direito, é possível confirmar a assimetria da figura em sua tridimensionalidade. Nos ângulos anterior e posterior, percebe-se uma inclinação de cerca de 15° para a direita do observador. Os ângulos de perfil mostram uma ligeira curvatura côncava em direção à frente da figura. A indumentária é formada por um panejamento que acompanha a forma da figura em todos os ângulos, principalmente em sua parte inferior que cobre suas pernas. A análise formal da escultura se encontra no relatório em anexo.

Figura 2 – Linhas mestras da composição e cânone



Fonte: Fotos Cláudio Nadalin – Acervo CECOR, montagem do autor

Figura 3 – Contornos da volumetria (ângulos)



Fonte: Fotos e montagem do autor

Esta escultura foi utilizada previamente como objeto didático nas disciplinas práticas do Curso de Conservação e Restauração da UFMG, permitindo a realização de uma intervenção orientada em ambiente acadêmico. A partir dessa experiência, desenvolveu-se a proposta deste trabalho de conclusão de curso, que aprofunda tecnicamente o estudo da consolidação das áreas carbonizadas presentes na obra.

1.2 Contexto histórico e hagiografia

A capela primitiva de Santa Luzia foi erigida entre 1721 e 1729, sendo ampliada para as dimensões atuais entre 1744 e 1778. Posteriormente, foi elevada à santuário pela Arquidiocese de Belo Horizonte. O tombamento à nível estadual, realizado pelo IEPHA/ MG, foi aprovado em 1976, com inscrição no Livro do Tombo de Belas Artes. Em visita à Igreja Matriz de Santa Luzia, no dia 03 de junho de 2023, o pároco e reitor do santuário, Padre Felipe Lemos, informou que a imagem de Santo Antônio é oriunda do Museu Histórico Aurélio Dolabella, criado em 28 de dezembro de 1972, em Santa Luzia; estando, atualmente, fechado para reforma. Nenhuma documentação relativa à obra tratada foi encontrada. Durante conversas com alguns fiéis mais antigos da paróquia, foi relatada a ocorrência de um incêndio no altar, no final dos anos 1960, início de 1970. Não há relatos de que a imagem saía em procissão ou se havia comemorações específicas para o santo.

A iconografia de Santo Antônio, consolidada ao longo dos séculos, reflete aspectos simbólicos e devocionais que variam conforme o tempo, a cultura e a finalidade litúrgica da imagem. As representações de Santo Antônio são amplamente difundidas em todo o mundo e apresentam variações, principalmente no que se refere aos atributos iconográficos que lhe são conferidos. Segundo Lorêdo (2002, p. 179), o santo é reconhecido como Doutor da Igreja e é invocado em situações como salvamento de naufrágios, libertação de prisioneiros, recuperação de objetos perdidos e questões relacionadas ao casamento. O autor destaca que, em algumas representações, Santo Antônio aparece vestido como "menino de coro ou ainda de cônego (com batina, sobrepeliz e barrete tricórnio)", e são frequentes as cenas de seus milagres, como o episódio do asno ajoelhado diante da custódia, a pregação aos peixes, curas de enfermos, ressuscitações e salvamentos milagrosos – como o de um homem em queda ou com o coração de um avaro trancado em um cofre. O autor também chama atenção para representações equivocadas em que o santo aparece com chamas, atributo na verdade pertencente a Santo Antônio, o Abade. Santo Antônio também é frequentemente associado a São Francisco de Assis, de quem foi contemporâneo e com quem compartilhou a vivência da fé e dos ideais franciscanos.

Em estudo iconográfico, Alves (2005, p. 89) analisou 1.662 imagens conservadas em igrejas mineiras tombadas pelo IPHAN, e verificou que Santo Antônio – invocado sob a designação de Santo Antônio de Pádua – é o santo com maior número de representações, totalizando 97 imagens, o que demonstra sua expressiva devoção em Minas Gerais. Além da frequência dessas representações, é possível observar uma ampla variedade de atributos iconográficos que contribuem para a identificação e devoção ao santo. Entre os elementos mais recorrentes estão o hábito franciscano com capuz e o cordão de três nós, representando os votos da Ordem, a tonsura, o livro, símbolo de sua erudição e ligação com o Evangelho, a cruz, o lírio ou a açucena, que remetem à castidade, e o pão, associado à caridade e à Eucaristia. Outro elemento amplamente representado é o Menino Jesus, muitas vezes figurado sobre o livro, gesto que une dois de seus atributos mais importantes e remete a uma visão mística muito difundida. Segundo Camargos (2022, p. 117), trata-se de “uma marcante devoção cultivada pela Ordem, com relatos de aparições a muitos de seus religiosos que foram santificados”. Em Portugal, outros elementos como cachos de uvas, bilha, aspersório e porquinho também podem aparecer (CAMARGOS, 2022, p. 124).

A escultura analisada compartilha vários desses elementos: apresenta o hábito franciscano escuro com capuz e cordão, a tonsura e o livro apoiado na mão esquerda. Os pés estão desencontrados – um à frente do outro, característica recorrente nas imagens do santo, simbolizando seu papel missionário e seu constante deslocamento para a pregação. O livro, fechado e com detalhes dourados nas bordas, representa o Evangelho e é considerado o atributo mais antigo de Santo Antônio, associado à sua sabedoria e ao fato de ter sido o primeiro mestre de Teologia da Ordem dos Frades Menores. Já a ausência da mão direita impede a identificação de outros possíveis atributos, como o lírio, que comumente acompanham suas imagens.

1.3 Contexto Teórico da Conservação e Restauração

Em qualquer tipo de intervenção proposto, é necessário que esta seja amparada por critérios técnicos científicos, norteados pelas teorias da restauração de obras de arte. Cesare Brandi, historiador e crítico de arte, é um dos importantes referenciais teóricos da restauração contemplado neste trabalho. Sua teoria fundamenta o restauro em sua relação entre as instâncias estética e histórica da obra. Um dos princípios fundamentais da restauração, convencionado por este teórico, é que, esta deve ser dirigida ao reconhecimento da obra de arte. A partir deste entendimento, a instância estética adquire maior relevância.

Como produto da atividade humana, a obra de arte coloca, com efeito, uma cópia instância: a instância estética que corresponde ao fato basilar da artisticidade pela qual a obra de arte é obra de arte; a instância histórica que lhe compete como produto



humano realizado em um certo tempo e lugar que em certo tempo e lugar se encontra. (BRANDI, 2019, p. 29)

Outro fundamento da teoria é que, durante o restauro, o profissional deve ter em mente que a intervenção deve ser realizada somente sobre os meios físicos, a materialidade da obra, suporte utilizado pelo artista para transmitir a imagem. Este é o primeiro axioma citado por Brandi: “restaura-se somente a matéria da obra de arte”. (BRANDI, 2019, p. 31). Neste caso também deve ser analisada a instância histórica da obra, considerando o próprio “ato da criação”. Brandi expõe o objetivo da restauração no seu segundo axioma:

A restauração deve visar ao restabelecimento da unidade potencial da obra de arte, desde que isso seja possível sem cometer um falso artístico ou um falso histórico, e sem cancelar nenhum traço da passagem da obra de arte no tempo” (BRANDI, 2019, p. 33).

Desta forma, o primeiro princípio é que qualquer intervenção feita numa obra de arte, deve ser percebida por quem a observa.

Desse modo, a integração deverá ser invisível à distância de que a obra de arte deve ser observada, mas reconhecível de imediato, e sem necessidade de instrumentos especiais, quando se chega a uma visão mais aproximada. (BRANDI, 2019, p. 47).

O segundo princípio nos coloca que a matéria utilizada na formulação da imagem só é insubstituível “quando colaborar diretamente para a figuratividade”. Isso leva a uma “maior liberdade de ação” ao processo de restauro. O terceiro princípio cita que “qualquer intervenção de restauro não torne impossível, mas, antes, facilite as eventuais intervenções futuras” (BRANDI, 2019, p. 48), ou a possibilidade de qualquer reversibilidade em uma restauração.

A obra de Brandi, apresentada em formulações de conceitos teóricos, mas intercalada com aplicações práticas, tem servido de referencial para intervenções em obras de arte e monumentos históricos a profissionais de diversas áreas. Brandi criou, com a formulação de sua teoria, uma ferramenta norteadora aos profissionais de restauração, orientando sobre o quê e como se preservar nos monumentos e obras de arte. Sua teoria é calcada na interdisciplinaridade no restauro, analisando-o de modo crítico, sempre contextualizando toda obra de arte dentro de sua própria história. Na prática, segundo Brandi, a restauração deve recriar a unidade perdida do objeto, causadas pela ação do tempo e de intervenções anteriores; sem, entretanto, destruir essas marcas.

Na contemporaneidade, sobretudo Salvador Muñoz Vías, reanalisa as teorias anteriores, propondo que, o foco da restauração está centrado nos sujeitos, e não nos objetos. O papel do conservador restaurador deve ser aquele que favoreça o potencial de comunicação da obra de arte e, portanto, as decisões sobre as intervenções devem ser realizadas com a participação de pessoas envolvidas com o significado do objeto. O autor ainda diz sobre as

peessoas que não são os especialistas envolvidos na tomada de decisão do que restaurar, que “qualquer indivíduo afetado pela alteração de um símbolo, tem não somente direito, mas também motivos e autoridade para fazer ouvir sua opinião a respeito” (VÍÑAS, 2021, 171).

Para a elaboração da proposta de intervenção foi levado em consideração todos os estudos preliminares efetuados, incluindo o histórico da obra, sua análise iconográfica e a técnica construtiva. Por se tratar de uma imagem devocional de grande culto², é importante observar sua relação com os fiéis. Desta forma, a proposta se mantém atenta à preservação das características originais da escultura, restabelecendo o quanto possível as perdas ocorridas em decorrência do sinistro sofrido, recuperando sua legibilidade e a relação de fé com os devotos, seguindo as diretrizes de retratabilidade.

Nas normativas decorrentes da 25ª Sessão do Concílio de Trento são afirmadas diretrizes no sentido de trazer às imagens devocionais uma empatia capaz de suscitar a piedade ao fiel. “Também no aspecto figurativo, a imagem devocional é um compromisso: evoca a fisionomia tradicional do santo idealizando-a vagamente em um belo que remete à sua condição de beatitude; precisa minuciosamente os seus principais atributos” (ARGAN, 2004, p.103).

No que diz respeito à restauração pictórica é importante ressaltar que a decisão do que restaurar ou não depende da quantidade de lacunas e sua extensão. Bailão (2011, p. 46) aborda a importância da reintegração cromática, discutindo diferentes procedimentos e técnicas utilizadas nesse processo. Ela destaca a influência do proprietário da obra na decisão de intervenção, mencionando a necessidade de uma avaliação crítica e sensível por parte do conservador restaurador. Além disso, a autora ressalta a complexidade envolvida na escolha da técnica de reintegração mais adequada, considerando fatores como o tipo de objeto, a extensão das lacunas e a interpretação da obra.

Essas reflexões evidenciam a constante evolução das abordagens em conservação e restauração, que se expandem do campo técnico para o ético e social. Atualmente, o conservador restaurador assume um papel de mediador entre o objeto, sua história e os diversos públicos que com ele interagem. Nesse sentido, a escuta, o diálogo e o respeito à memória coletiva tornam-se ferramentas fundamentais no processo de decisão sobre a intervenção.

² Em um levantamento feito por Célio Macedo Alves, Santo Antônio aparece em primeiro lugar em uma lista de quantidade de imagens por invocação em Minas Gerais. O autor também cita que em número de capelas erguidas em Minas Gerais, até 1825, Santo Antônio só perdia para Nossa Senhora do Rosário. Até hoje, alguns templos dedicados ao santo atraem uma multidão de romeiros no dia de sua festa. (ALVES, 2005, p. 69-92)



2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho é analisar a consolidação do suporte da escultura de Santo Antônio, considerando os danos causados pelo fogo. O procedimento metodologicamente mais completo incluiria uma investigação comparativa entre diferentes consolidantes indicados para madeira carbonizada. No entanto, diante da necessidade de viabilizar a intervenção com base em parâmetros técnicos seguros, optou-se pela aplicação de um consolidante amplamente referenciado em estudos de conservação e com reconhecida estabilidade para uso em obras de arte – o Paraloid® B-72. O foco desta pesquisa recai, portanto, sobre a experimentação com protótipos produzidos com madeiras comumente utilizadas em esculturas do século XVIII, permitindo avaliar a eficiência de diferentes formulações e embasar tecnicamente a consolidação já realizada na escultura de Santo Antônio.

2.2 Objetivos Específicos

- Pesquisa de Materiais: Realizar pesquisas sobre as madeiras utilizadas em esculturas do século XVIII – data provável da escultura de Santo Antônio, analisando suas propriedades antes e após a carbonização, para propor métodos de consolidação adequados.
- Desenvolvimento de Métodos de Restauração: Propor métodos diferenciados de consolidação de madeiras carbonizadas com adesivos e avaliar o método utilizado para restaurar as áreas carbonizadas da imagem de Santo Antônio.
- Avaliação do Estado Atual: Analisar os danos causados pelo incêndio na escultura de Santo Antônio, como a perda de partes do suporte da imagem e a carbonização em várias áreas da obra.
- Estudo da Técnica Construtiva: Considerar a técnica construtiva da escultura, que é talhada em madeira policromada e a importância de preservar suas características originais durante o processo de restauração.
- Impacto da Restauração: Investigar como a restauração pode impactar a capacidade da escultura de comunicar sua simbologia original, levando em conta as interações e percepções dos devotos.

- Documentação do Processo: Documentar todas as etapas do processo de restauração, principalmente no que se refere à madeira carbonizada, para futuras referências e estudos.

3 JUSTIFICATIVA

A preservação do patrimônio cultural passa por questões complexas que abrangem diversas áreas do conhecimento, que se tornam essenciais para garantir a conservação das obras. Neste trabalho, áreas como as Ciências Exatas – Química e Física – e as Ciências Biológicas serão primordiais para analisar as propriedades das madeiras e a consolidação das áreas carbonizadas utilizando adesivos diferentes. Casos envolvendo esculturas danificadas por carbonização possuem poucos relatos de tratamentos realizados. A destruição iminente causada pelo fogo, normalmente leva ao abandono ou mesmo o descarte das obras, visto que este agente as modifica de forma a perderem partes essenciais de sua representação.

Ao tratar da caracterização de um dano a uma obra de arte, a teoria contemporânea de Viñas, esclarece que a alteração mais importante é aquela que afeta sua capacidade de transmitir a simbologia a que se destinava originalmente, “modificando-a de forma intelectual ou esteticamente desagradável” (VÍÑAS, 2021, 83). Esta é uma modificação na qual os danos causados pelo fogo trouxeram para a escultura de Santo Antônio. De acordo com Ramos (2017, p. 115), ao analisar uma intervenção feita em outra obra³ com danos causados por carbonização, uma escultura cuja aparência era mais dominada pelos danos de um incêndio faria com que o espectador tivesse seu olhar desviado daquilo que seria sua “informação litúrgica e artística”. E ainda segundo a autora, este tipo de dano, provavelmente “pelas simbologias que envolvem o fogo” – que ao mesmo tempo em que é ligado à renovação do espírito, é também associado à punição e à manifestação do inferno – causa uma comoção (dor e consternação) muito grande quando se imagina sua atuação sobre o corpo humano. Outras restaurações em obras devocionais danificadas pelo fogo foram estudadas para estabelecer as propostas de tratamento. Ainda que a escultura de Santo Antônio tenha sua função social modificada de culto religioso para a museológica, é possível que a presença de danos resultantes da carbonização, especialmente em imagens sacras, cause certo desconforto no espectador. Esse tipo de reação pode estar relacionado à carga simbólica do fogo e à natureza devocional da obra. No entanto, há instituições museológicas que reconhecem nesses vestígios um valor documental e didático,

³ LA PUENTE, Alejandra Bendekovic de; HODGE, Cecilia Guerrero; ALMONACID, Melissa Morales. Restauración de la Virgen del Carmen: madera, carbón y fe. Revista Conserva



preservando-os como parte da trajetória histórica do objeto. O fato da obra representar a figura de Santo Antônio, um santo “querido” por todos os devotos, reforça mais ainda tal resistência, tornando quase impensável que este santo tão “amigável” tenha sofrido dores causadas pelo fogo.

A ideia de que a Restauração devolve a obra a seu estado autêntico é uma ingenuidade que se baseia em outra anterior e mais importante: a ideia de que esse estado autêntico é diferente do atual e existe fora da imaginação do sujeito. [...] A Restauração se faz para os usuários dos objetos: aqueles para quem esses objetos cumprem uma função essencialmente simbólica ou documental, mas talvez também de outros tipos. A validade de um tipo ou outro de Restauração depende de como eles entendem que se devem realizar estes tipos de trabalhos. (VÍÑAS, 2021, 186).

Complementando, Muñoz Viñas diz que “de um ponto de vista ético, a melhor restauração é a que proporciona maior satisfação a um maior número de pessoas ou aquela que produz uma soma maior de satisfação” (VÍÑAS, 2021, 171).

4 REVISÃO TEÓRICA-METODOLÓGICA

4.1 Características da madeira

A identificação da madeira utilizada em uma escultura pode ser realizada a partir de observações macroscópicas. Embora esse tipo de análise não substitua uma identificação anatômica completa, baseada em exames laboratoriais e cortes histológicos, trata-se de uma ferramenta válida e útil no contexto da conservação e restauração. Quando bem conduzida, com apoio de bibliografia especializada e chaves de identificação, ela pode fornecer indícios relevantes sobre o suporte da obra, auxiliando o restaurador na escolha de tratamentos compatíveis com as características físicas e estruturais da madeira.

Para uma provável identificação da madeira utilizada em uma escultura é necessário fazer observações macroscópicas, que incluem aquelas que são organolépticas ou sensoriais (cor, odor, gosto, brilho, desenho, textura, grã⁴, peso e dureza) e as anatômicas, em que se observa as características da madeira a olho nu ou com uma lupa com um aumento de cerca de dez vezes. Nas observações microscópicas (figura 4) a madeira é analisada por um microscópio

⁴ O termo grã refere-se à orientação e ao paralelismo dos elementos celulares verticais constituintes do lenho em relação ao eixo principal do tronco da árvore ou peças de madeira. (BOTOSSO, 2011, p. 22)

eletrônico, a fim de detectar aspectos como direção das fibras, raios e presença e distribuição dos vasos ou poros, os parênquimas axiais⁵ e as fibras e xilema⁶.

As seguintes características sensoriais podem ser observadas:

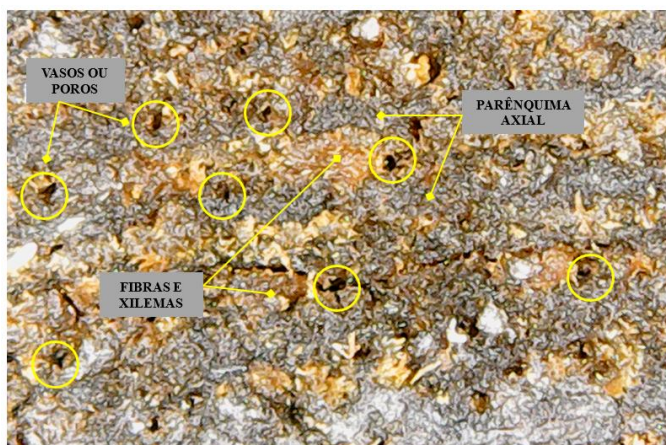
- Brilho
- Cor
- Densidade
- Desenho
- Dureza
- Gosto
- Grã
- Odor
- Peso
- Textura

As seguintes características anatômicas podem ser observadas a olho nu ou com o auxílio de uma lupa:

- Visibilidade dos vasos
- Diâmetro dos vasos
- Frequência dos vasos
- Porosidade
- Agrupamento dos poros
- Parênquima axial

Para uma possível identificação de madeira utilizada em uma escultura pode ser utilizada uma chave de identificação descrita no site do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas).

Figura 4 – Exemplo de madeira vista pelo microscópio



Fonte: Fotos do autor

⁵ O parênquima axial é definido como um tecido constituído de células de paredes finas, de cor mais clara que a parte fibrosa do lenho, quando visto sob a lente no plano transversal. Possui a função de acumular reservas nutritivas [...]. É uma das características essenciais para a identificação de famílias, gêneros e/ou espécies por causa de seus diferentes tipos. (FLORSHEIM, 2020, p. 36)

⁶ Tecido de sustentação e condução da seiva que passa pelos caules e raízes. (MICHAELIS, 2023)

4.2 Importância da identificação anatômica das madeiras

A identificação anatômica das madeiras é considerada uma ferramenta valiosa no campo da conservação e restauração, especialmente no estudo de esculturas sacras. Em estudo conduzido por Nabais (2014) e colaboradores, foram analisadas 182 esculturas pertencentes às coleções do Museu Nacional de Arte Antiga e do Museu Grão Vasco, evidenciando como a escolha das espécies refletia não apenas critérios técnicos, como densidade, porosidade e resistência mecânica, mas também preferências regionais e o comércio internacional de madeiras, como o pinho-de-riga, oriundo do Báltico. A madeira era um elemento decisivo tanto na definição estética quanto simbólica da obra, sendo também indicadora de práticas e contextos socioculturais mais amplos (NABAIS; RODRIGUES, 2014, p. 17).

4.3 Ação do fogo sobre a madeira

A madeira, quando submetida a altas temperaturas, pode passar por dois processos distintos: combustão ou carbonização, dependendo da presença ou ausência de oxigênio. A combustão é uma reação exotérmica que ocorre na presença de oxigênio, resultando na liberação de calor, luz e na decomposição completa da madeira em gases e cinzas. Já a carbonização ocorre em ambientes com pouco ou nenhum oxigênio, e transforma a madeira em carvão, um resíduo sólido rico em carbono. Enquanto a combustão consome totalmente os componentes voláteis e deixa pouco material residual, a carbonização preserva parte da estrutura física da madeira, tornando-a quebradiça, leve e com coloração escura, mas ainda identificável. Como destaca Cobb (2005, p. 1), o carvão de madeira é criado pela ausência de oxigênio, o que permite que a madeira passe por transformações químicas diferentes daquelas resultantes da combustão.

De acordo com Figueroa e Moraes (2009, p. 160), durante o processo de carbonização, os polímeros da madeira, que apresentam diferentes níveis de estabilidade térmica devido à sua estrutura cristalina, sofrem degradação, resultando em perda de massa. A temperaturas superiores a 65°C, ocorrem efeitos permanentes, como a perda de água e a despolimerização, que afetam as propriedades mecânicas da madeira. Esses efeitos, que se intensificam a partir de 100°C, incluem a perda de carboidratos e o amolecimento da lignina, componentes essenciais para a resistência estrutural da madeira. Ainda segundo os autores (2009, p. 170), a madeira exposta ao calor, além de sofrer degradação térmica de seus polímeros, apresenta redução de suas propriedades mecânicas e carbonização de sua superfície, sendo esses efeitos diretos do processo de aquecimento. Cobb (2005, p. 7) ainda reforça que a celulose, um dos principais

componentes da madeira e responsável por sua resistência e rigidez, é altamente cristalina. Sua degradação no processo de carbonização contribui para que os artefatos de madeira carbonizados tornem-se leves e quebradiços, o que explica as características fragilizadas de objetos arqueológicos em madeira carbonizada.

Finalmente, a decomposição da celulose no processo de carbonização libera gases inflamáveis e alcatrão. Se houver oxigênio presente, esses gases podem entrar em combustão. Contudo, na ausência de oxigênio, a formação de carvão continua, o que resulta em uma transformação térmica característica da carbonização.

4.4 Adesivos utilizados em restauração

Um adesivo deve ser usado quando se necessita unir duas partes ou quando é preciso preencher ou reforçar áreas danificadas do suporte ou da policromia de uma escultura. Segundo Mayor (1989, p. 1), “os adesivos são usados para aderir materiais de reforço a áreas danificadas ou para colar componentes separados de um objeto, para consolidar, fixar, dimensionar ou fornecer ligantes, esmaltes e vernizes”.

Algumas considerações devem ser feitas para a escolha dos adesivos a serem utilizados pelo restaurador. Esta escolha deve considerar as vantagens e desvantagens de um determinado adesivo, levando em conta sua estabilidade, propriedades físico-químicas e suas características de envelhecimento, podendo variar de acordo com o uso. Mayor (1989, p. 2) alerta que um adesivo deve apresentar “estabilidade a longo prazo e características de envelhecimento consideradas aceitáveis para uso conservacionista”. A estabilidade e as características de envelhecimento dos adesivos mais utilizados podem ser consultadas em diversas bibliografias. A autora chama a atenção para o uso de adesivos comerciais, cujas “formulações podem ser alteradas sem aviso prévio”, além de que os aditivos adicionados aos adesivos podem alterar sua estabilidade a longo prazo. Figueiredo Junior (2012, p. 129) explica que entre as características físico-químicas, a tensão superficial e a viscosidade dos adesivos devem ser tais que garantam o melhor preenchimento das cavidades dos substratos (que possuem uma escala microscópica). Segundo o autor, se a tensão superficial for muito baixa ele não irá preencher as “seções capilares na superfície do substrato”. Do mesmo modo, “se a viscosidade for muito alta, não há deslizamento adequado do adesivo impedindo-o de alcançar todas as cavidades”. Todas estas características vão depender do material a ser trabalhado e da proposta de tratamento. Adesivos com viscosidades mais altas formam ligações mais fortes, mas podem ser mais difíceis de serem aplicados; adesivos com viscosidades mais baixas formam ligações mais fracas mas podem ser aplicados de várias formas.

Quando tratamos da interação entre os adesivos e os diversos substratos da obra a ser restaurada, é importante salientar que um adesivo não pode ser demasiadamente forte a ponto de deteriorar o substrato, nem fraco o bastante para não cumprir seu papel. Ele deve produzir uma força de adesão ou coesão⁷ que seja apropriada ao tratamento a que se propôs. De acordo com Mayor (1989, p. 3), o encolhimento da camada adesiva durante a secagem não deve causar enrugamento na superfície do suporte. Esta propriedade é tratada por Villarquide (2005, p. 152) como a flexibilidade do adesivo que se caracteriza pela capacidade do mesmo de se adaptar aos movimentos da obra. Da mesma forma, ainda segundo Mayor (1989, p. 3), “o adesivo e o seu método de aplicação não devem alterar o aparência da mídia ou suporte”. Quando um adesivo solubilizado em um solvente é utilizado, é importante garantir que esse solvente não irá causar danos à obra, como manchas no suporte ou a solubilidade da policromia que cerca a área a ser tratada. Estas características se enquadram no termo “compatíveis” citado por Villarquide (2005, p. 150). Segundo a autora, sempre que se adiciona outros materiais a uma obra, aqui se tratando dos adesivos, é necessário avaliar se eles possuem compatibilidade com o material original.

Outro ponto a ser considerado na escolha dos adesivos é o princípio da reversibilidade. Materiais de difícil remoção que possam pôr em risco a integridade da obra devem ser evitados. Segundo Mayor (1989, p. 2), esta reversibilidade pode variar desde a remoção completa do adesivo “até apenas inchá-lo para separar as partes fixadas”. De um modo geral também, a disponibilidade do adesivo, seu custo e a facilidade de preparação também são critérios importantes a serem avaliados.

5 METODOLOGIA

A metodologia de pesquisa é composta por um conjunto de procedimentos e técnicas sistemáticos que orientam a condução de um estudo, sendo essencial para assegurar a validade e a confiabilidade dos resultados. Conforme destaca Silva (2024, p. 3), “a importância da metodologia é indiscutível, sendo a base que sustenta a validade e confiabilidade dos resultados obtidos”. Uma metodologia bem estruturada permite que outros pesquisadores repliquem o estudo, contribuindo para a robustez da investigação científica e para a verificação dos achados.

⁷ Dois conceitos importantes relativos aos adesivos e consolidantes são as forças adesivas e as forças coesivas. As forças adesivas são as forças que surgem na interface entre dois materiais e os mantém unidos. Estes materiais a serem unidos são chamados de substratos. As forças coesivas são as forças que mantêm um material unido. (FIGUEIREDO JUNIOR, 2012, p. 129)



Sua aplicação deve seguir etapas previamente definidas, assegurando coerência entre os objetivos propostos, os métodos utilizados e as conclusões alcançadas. A metodologia proposta neste trabalho é composta pelas seguintes etapas:

- Pesquisa bibliográfica: levantamento e fichamento de livros, teses, dissertações, artigos, relatórios e estudos de casos, abrangendo temas sobre constituição e identificação de madeiras, tipologia de madeiras usadas em esculturas do século XVIII, tipos de consolidantes/adesivos, estudos de casos sobre esculturas carbonizadas, química do fogo e carbonização de madeira
- Escolha de uma escultura carbonizada, em processo de restauro, para ser identificada como caracterização de um estudo de caso: Santo Antônio.
- Análise da escultura escolhida, incluindo principalmente sua técnica construtiva e o levantamento dos danos existentes.
- Produção de protótipos, através da seleção das espécies, corte, preparação das amostras com camadas de policromia e douramento, simulação da ação do fogo e aplicação dos diferentes consolidantes.
- Tratamento e registro de dados, usando as medições de massa e volume dos protótipos, cálculo de densidade, testes de resistência mecânica e consolidação das amostras.
- Análise dos resultados, pela interpretação dos dados obtidos nos experimentos com base nos parâmetros físicos e estruturais das madeiras.
- Proposição de estratégias, elaborando diretrizes práticas para aplicação da metodologia em situações reais, incluindo a escultura de Santo Antônio.

A escolha por uma abordagem metodológica mista, unindo pesquisa teórica e análise prática, visa garantir uma compreensão aprofundada tanto dos fundamentos conceituais quanto das especificidades do objeto em estudo. Essa integração permite a correlação entre dados empíricos e bibliográficos, fortalecendo a validade das estratégias propostas. Além disso, o estudo de caso contribui para o aprimoramento da atuação profissional no campo da conservação e restauração.

6 SELEÇÃO DAS MADEIRAS DE TESTE

6.1 Pesquisa bibliográfica

Segundo Fabrino (2012, p. 68), em seu Guia de Identificação de Arte Sacra, publicado pelo IPHAN, a madeira começou a ganhar maior destaque como material para a confecção de imagens a partir da segunda metade do século XVII no Brasil. Essa preferência se deve às suas diversas vantagens, como alta resistência, propriedades de isolamento térmico e acústico, além dos resultados notáveis obtidos com seu uso. O autor destaca que entre as espécies mais empregadas no país estão o cedro, a canela, o vinhático, o pinho-do-Paraná, o cambará e o jacarandá. Coelho e Quites (2014, p. 64) também citam que, no século XVIII, a madeira tornou-se o principal material utilizado como suporte para a produção de imagens sacras em todo o Brasil. Em Minas Gerais, o cedro destacou-se como a madeira mais empregada. As autoras fazem um levantamento de outras madeiras utilizadas pelos escultores na produção de suas obras neste período, elencando também o pau-de-lacre, a canela, o louro, o guaperê, o cambará, o marinho, o pinho-do-Paraná, o castanheiro e o jequitibá.

Dentre 37 amostras de madeiras de esculturas policromadas do século XVIII, de Catas Altas e Sabará, em Minas Gerais, identificadas no laboratório de Anatomia de Madeira do Museu Paraense Emílio Goeldi, por Pedro Luiz Braga Lisboa, 36 foram executadas em cedro, e apenas uma - Nossa Senhora da Conceição da Matriz de Nossa Senhora da Conceição, de Sabará - foi executada com a utilização de duas madeiras diferentes: *Vismia aff. cayenensis* (Jacq.) Pers/família Guttiferae (nome popular: pau de lacre) - corpo da imagem - e *Aniba* sp., família Lauraceae (nome popular: canela), utilizada para a execução da cabeça. Para a mesma pesquisa, entretanto, foram analisadas e identificadas no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) 19 esculturas policromadas de Ouro Preto e Mariana (Matriz de Nossa Senhora do Pilar, Matriz de Santa Ifigênia, Capela do Padre Faria) e do Museu Arquidiocesano de Arte Sacra de Mariana (imagens procedentes de várias localidades da Arquidiocese): 6 foram identificadas como *Cedrela*, cedro, e, para nossa surpresa, foram identificadas nas outras 13, madeiras diferentes, cujos nomes são: *Cordia*, nome popular louro; *Ocotea* ou *Nectandra* (canela); *Niconia* (carvoeiro, guaperê); *Moquinia* (cambará), *Guarea* (marinho); *Araucaria* (pinho-do-Paraná) e *Castanea* (castanheiro). Dessas, a única madeira que não é brasileira é o castanheiro, cuja amostra foi removida da base da escultura de Nossa Senhora do Pilar da Matriz de Nossa Senhora do Pilar, que é a mais antiga das que se encontram nessa igreja, podendo ter vindo de Portugal ou da Espanha por se tratar de devoção de origem espanhola. (COELHO; QUITES, 2014, p. 65)

Esse tipo de análise encontra paralelo com pesquisas em esculturas portuguesas. No Museu Grão Vasco, por exemplo, 52 % das esculturas analisadas foram esculpidas em madeira de castanheiro, uma espécie autóctone e de ampla disponibilidade na região de Viseu, o que confirma a tendência de utilização de materiais locais conforme a geografia das oficinas (NABAIS; RODRIGUES, 2014, p. 50).

A tabela 1 resume os tipos de madeiras citadas pelos autores, comparando a coincidência entre eles. A seguir, em função das amostras de madeiras disponíveis para teste e do uso em esculturas no Brasil e em Minas Gerais, conforme os autores pesquisados (tabela 2), foram definidos os seis tipos de madeiras a serem utilizadas, conforme listado abaixo. Fabrino (2012, p. 68) não faz menção ao nome científico das espécies e existem divergências nas citações de Coelho e Quites (2014, p. 64). Desta forma, outros autores foram pesquisados para determinar o nome científico de cada espécie: Araucária (*Araucaria angustifolia*); Canela (*Gochnatia polymorpha*); Cedro (*Cedrela fissilis*); Jacarandá (*Dalbergia brasiliensis*); Jequitibá (*Cariniana legalis*); Pinho-de-Riga (*Pinus sylvestris*).

Tabela 1 – Madeiras utilizadas em esculturas do século XVIII

MADEIRA ⁸	OUTROS NOMES/ESPÉCIES	FABRINO	COELHO
Araucária (<i>Araucaria angustifolia</i>)	Cori, Curiúva, Pinhão, Pinheiro-Brasileiro, Pinho-do-Paraná	✓	✓
Cambará (<i>Gochnatia polymorpha</i>)	Balieira-Preta, Camará, Cambará-Açu, Candeão, Pau-Candeia	✓	✓
Canela (<i>Ocotea odorifera</i>) ⁹	Canela-Branca, Canela-Guaicá, Canela-Preta, Canela-Sassafrás	✓	✓
Carvoeiro (<i>Zeyheria tuberculosa</i>)	Ipê-Felpudo, Taxi-Branco		✓
Castanheiro (<i>Hymenaea courbaril</i>)	Árvore-Copal, Burandá, Imbiúva, Jataí, Jataiba, Jatobá, Jutaúba		✓
Cedro (<i>Cedrela fissilis</i>)	Acaiaçá, Acaju, Capiúva, Cedrinho, Cedro-Rosa, Iacaiacá	✓	✓
Guaperê (<i>Lamanonia ternata</i>)	Cajacatinga, Cangabicho, Cedrinho, Guareperê, Maria-Preta		✓
Jacarandá (<i>Dalbergia brasiliensis</i>)	Caraoba-Brava, Caviúna, Marreteiro, Marmeleiro	✓	
Jequitibá (<i>Cariniana legalis</i>)	Binga-de-Macaco, Bingueiro, Cachimbeiro, Caixão, Coatinga		✓
Louro (<i>Bastardiopsis densiflora</i>)	Algodoeiro, Barbanteiro, Jangada-Branca, Malva, Pau-de-Balsa		✓
Marinheiro (<i>Guarea macrophylla</i>) ¹⁰	Marinheiro-do-Brejo, Camboatá, Gitó, Café-Bravo, Catigua-Branca		✓
Pau-de-Lacre (<i>Vismia cayennensis</i>) ¹¹	Lacre, Ubucuba, Ucuúba		✓
Pinho-de-Riga (<i>Pinus sylvestris</i>) ¹²	Pinheiro-de-Casquinha, Pinheiro-de-Riga, Pinheiro-Silvestre		✓
Vinhático (<i>Plathymenia reticulata</i>)	Acende-Candeia, Amarelinho, Amarelo, Candeia, Oiteiro, Paricazinho	✓	

Fonte: Carvalho (2003); Coelho; Quites (2014)

⁸ Carvalho, 2003. Espécies Arbóreas Brasileiras.

⁹ O nome da espécie citado por Coelho; Quites (2014) não foi encontrado. Entretanto, em Carvalho (2003). Espécies Arbóreas Brasileiras existe uma referência a *Ocotea odorifera*, como sendo popularmente conhecida canela sassafrás, com presença em Minas Gerais.

¹⁰ Flora e Funga do Brasil (http://servicos.jbrj.gov.br/flora/search/Guarea_macrophylla).

¹¹ Flora e Funga do Brasil (http://servicos.jbrj.gov.br/flora/search/Vismia_cayennensis).

¹² Não é nativo do Brasil, sendo introduzido aqui no período colonial (<https://www.estudioripa.com.br>).

6.2 Definição das dimensões dos protótipos

Em função da disponibilidade das amostras de madeiras e da quantidade necessária para os testes, contemplando uma amostra de controle e três amostras de teste, foram definidas as seguintes dimensões, mostradas na figura 5. As madeiras foram cortadas e lixadas, seguindo estas medidas (figura 6). Outros blocos de madeira foram reservados para a realização de testes preliminares de queima, fundamentais para o ajuste das condições experimentais. Esses testes foram utilizados para definir parâmetros como a altura ideal da chama, a distância entre a fonte de calor e os protótipos, bem como o tempo de exposição necessário para provocar carbonização visível, sem a destruição completa do material. A padronização desses critérios foi essencial para garantir a repetibilidade dos danos entre os protótipos e, consequentemente, a confiabilidade dos dados obtidos nos testes comparativos de consolidação.

Tabela 2 – Amostras de madeiras disponíveis

MADEIRA	OUTROS NOMES/ESPÉCIES	CITADA
Araucária (<i>Araucaria angustifolia</i>)	Cori, Curiúva, Pinhão, Pinheiro-Brasileiro, Pinho-do-Paraná	SIM
Canafistula (<i>Peltophorum dubium</i>)	Acácia-Amarela, Angico, Camurça, Curucaia, Cambuí, Canela-de-Veado	NÃO
Canela ((<i>Ocotea odorifera</i>)	Canela-Branca, Canela-Guaicá, Canela-Preta, Canela-Sassafrás	SIM
Cedro (<i>Cedrela fissilis</i>)	Acaiacá, Acaju, Capiúva, Cedrinho, Cedro-Rosa, Iacaiacá	SIM
Imbuia (<i>Ocotea porosa</i>)	Canela-Broto, Canela-Preta, Canela-de-Imbuia	SIM
Jacarandá-do-Cerrado (<i>Dalbergia miscolobium</i>)	Canela-de-Burro, Cabiúna-do-Cerrado, Jacarandá-do-Campo	SIM ¹³
Jacarandá-Violeta (<i>Dalbergia nigra</i>)	Cabiúna, Caviúna, jacarandá-cabiúna, Jacarandá-da-Bahia,	SIM ¹⁴
Jaqueira (<i>Artocarpus heterophyllus</i>)	Jaca	NÃO
Jequitibá (<i>Cariniana legalis</i>)	Binga-de-Macaco, Bingueiro, Cachimbeiro, Caixão, Coatinga	SIM
Muirapiranga (<i>Caesalpinia echinata</i>)	Arabutã, Ibiripitinga, Pau-Brasil	NÃO
Peroba-Rosa (<i>Aspidosperma polyneuron</i>)	Guatambu, Peroba, Perobinha	NÃO
Pinho-de-Riga (<i>Pinus sylvestris</i>)	Pinheiro-de-Casquinha, Pinheiro-de-Riga, Pinheiro-Silvestre	SIM
Roxinho (<i>Peltogyne spp</i>)	Amarante, Coataquiçaua, Pau-Roxo-da-Terra-Firme, Pau-Roxo-da-Várzea	NÃO
Sucupira (<i>Diploptropis spp</i>)	Cutiúba, Macanaíba, Macanaíba-Pele-de-Sapo, Sapupira	NÃO

Fonte: Carvalho (2003); Coelho; Quites (2014)

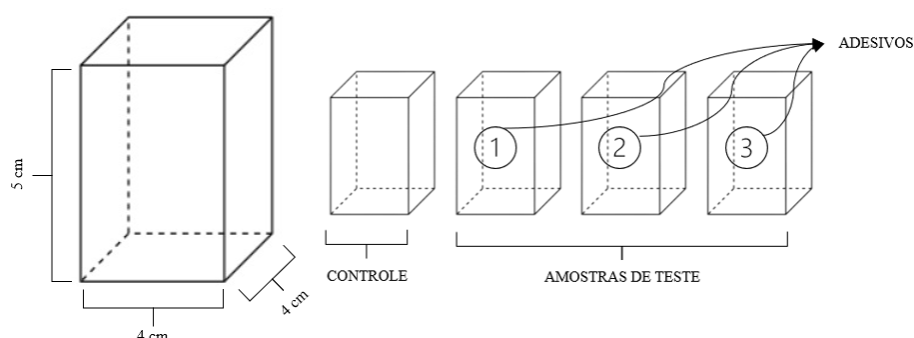
¹³ Somente como Jacarandá (*Dalbergia brasiliensis*)

¹⁴ Somente como Jacarandá (*Dalbergia brasiliensis*)

6.3 Identificação das espécies de madeiras

Para garantir a fidelidade da escolha das madeiras selecionadas, foram realizados testes de identificação de acordo com algumas de suas propriedades. Uma vez determinadas, elas foram comparadas com chaves de identificação de madeiras do Laboratório de Produtos Florestais (Serviço Florestal Brasileiro)¹⁵.

Figura 5 – Dimensões dos protótipos e esquema de testes



Fonte: Montagem do autor

Figura 6 – Protótipos de madeiras recortados



Fonte: Fotos do autor

6.3.1 Determinação da densidade

A primeira propriedade a ser determinada foi a densidade (quantidade de massa contida em uma unidade de volume)¹⁶, que foi realizada por medição direta de suas dimensões e massa, como citado por Vital (1984, p. 13). O método previsto na NBR 11941/2003 e NBR 7190/1997 não foi utilizado por expor os protótipos a uma imersão em água, o que poderia ocasionar deteriorações não desejadas para o propósito desta pesquisa. A base, largura e altura de cada um

¹⁵ Programa disponível em <https://lpf.florestal.gov.br/en-us/chave-interativa-de-identificacao>. As características de Canela (*Ocotea odorifera*) foram retiradas de Carvalho (2003, p. 315). O Pinho-de-Riga (*Pinus sylvestris*), por não ser uma madeira nativa do Brasil, ela não consta em nenhuma chave de identificação. Suas características foram determinadas e comparadas com *The Wood Database* (<https://www.wood-database.com>).

¹⁶ Como os valores de densidade deste trabalho se destinam a fins comparativos dentro do conjunto de teste, não se caracteriza esta propriedade como aquela definida pela Norma NBR 7190 – a densidade aparente ρ_{ap} é uma massa específica convencional, definida pela razão entre a massa e o volume de corpos-de-prova com teor de umidade de 12%. As normas NBR 7190 e NBR 11941 descrevem a metodologia em que o volume saturado é determinado nos corpos de prova submersos em água até atingirem peso constante.



dos 4 protótipos, dos 6 tipos de madeiras, foram medidas com o uso de um paquímetro digital para calcular seu volume, conforme a equação abaixo.

$$V = B \times L \times h \quad (1)$$

onde:

V = volume, cm^3 ,

B = medida da base, cm,

L = medida da largura, cm,

h = medida da altura, cm.

Em seguida, as massas de cada um deles foi determinada com o uso de uma balança analítica. Durante todas as medições foram registradas as temperatura e a umidade relativa. A densidade de cada protótipo foi, então, calculada pela equação abaixo:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

onde:

ρ = densidade, g/cm^3 ,

m = medida da massa, g,

V = volume, cm^3 .

Todas as densidades calculadas foram corrigidas em função da temperatura e da umidade, de acordo com as equações abaixo. A correção pela temperatura normalmente não é suficiente para obter uma densidade representativa. A umidade é o principal fator que afeta a densidade da madeira. Isso se deve à sua natureza higroscópica, isto é, à capacidade de absorver ou liberar vapor d'água do ambiente, modificando sua massa sem alterar significativamente o volume. Além disso, a madeira apresenta comportamento físico-mecânico que varia conforme a direção das fibras – longitudinal, radial ou tangencial. Como explica Botosso (2011, p. 17), “[...] o comportamento físico-mecânico da madeira difere em cada um destes três sentidos, sendo a madeira, por essa peculiaridade, considerada um material anisotrópico”. Essa combinação de características torna essencial o controle da umidade ao avaliar a densidade do material, especialmente quando se comparam amostras submetidas a diferentes condições ambientais. Portanto, além da correção térmica, é recomendado ajustar a densidade de acordo com o teor de umidade, especialmente se esta variar significativamente. Apenas para fins didático e comparativo a temperatura foi ajustada para 20 °C e a umidade relativa para 65 %¹⁷.

$$\rho_{20} = \rho_T \times [1 + \alpha \times (T-20)] \quad (3)$$

onde:

¹⁷ A densidade aparente (ρ_{ap}), corresponde a densidade medida a um certo conteúdo de umidade. Nas condições de uma atmosfera com 20 °C de temperatura e uma umidade relativa de 65%, a umidade de equilíbrio para a madeira é 12% (DIAS; LAHR, 2004, p. 104 apud CISTERNAS, 1994).



ρ_{20} = densidade corrigida (g/cm^3) para 20 °C,
 ρ_T = densidade medida (g/cm^3) à temperatura T ,
 α = coeficiente de expansão térmica da madeira¹⁸,
 T = temperatura da medição em °C.

$$\rho_{50\%} = \rho_U / [1 + 0,01 \times (U-65)] \quad (4)$$

onde:

$\rho_{65\%}$ = densidade corrigida (g/cm^3) para UR 65 %,
 ρ_U = densidade medida (g/cm^3) no teor de umidade atual U ,
 U = teor de umidade atual (%).

Os valores obtidos são mostrados na tabela 3.

A densidade também será utilizada para avaliar a perda da resistência da madeira após os danos causados pelo fogo, bem como a eficácia do adesivo empregado em sua consolidação. Desta forma, foi estabelecido um outro método de determinação desta propriedade, por deslocamento de volume, devido à dificuldade de se calcular o volume em um sólido irregular – o que irá ocorrer com as amostras de teste após a queima. Este método se baseia no princípio de Arquimedes, segundo o qual o volume do líquido deslocado é igual ao volume do objeto submerso (figura 7). Para evitar o contato das amostras de teste com a água, esta foi substituída por areia de gramatura 00, colocada em um cilindro de vidro. O raio do cilindro foi medido com um paquímetro, bem como a altura (h_I) atingida pela areia nele contida. Assim, o volume (V_I) pôde ser calculado pela equação seguinte:

$$V_I = \pi \times r^2 \times h_I \quad (5)$$

onde:

V_I = volume inicial,
 π = constante matemática (3,14159),
 r = raio do cilindro,
 h_I = altura da areia dentro do cilindro.

A seguir, o cilindro foi esvaziado e nele inserido o protótipo de madeira. A mesma quantidade de areia foi colocada no cilindro e a altura (h_2) medida novamente. O novo volume (V_2) foi calculado. A diferença de V_2 e V_I corresponde ao volume do sólido. Testes realizados mostram que a diferença deste método em relação ao método de medição direta ficaram próximos de 5 %.

¹⁸ Para pequenas variações de temperatura, é comum utilizar um coeficiente de expansão térmica linear médio para a madeira. Um valor aproximado para madeiras comuns é $0,00003 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, embora esse valor possa variar ligeiramente conforme a espécie de madeira (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999, p. 3-21).

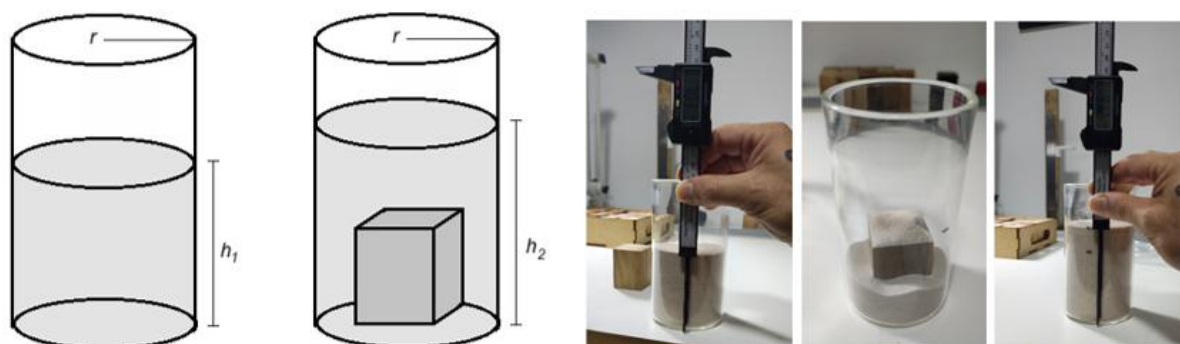


Tabela 3 – Densidades das amostras de teste

MADEIRA	CÓDIGO	DENSIDADE 20 °C / UR 65% (g/cm ³)
ARAUCÁRIA (<i>Araucaria angustifolia</i>)	AR01	0,531
	AR02	0,538
	AR03	0,530
	AR04	0,538
	Média ($\bar{x}$)	0,534
CANELA (<i>Ocotea odorifera</i>)	CA01	0,539
	CA02	0,520
	CA03	0,529
	CA04	0,527
	Média ($\bar{x}$)	0,529
CEDRO (<i>Cedrela fissilis</i>)	CE01	0,440
	CE02	0,437
	CE03	0,432
	CE04	0,453
	Média ($\bar{x}$)	0,440
JACARANDÁ (<i>Dalbergia nigra</i>)	JD01	0,776
	JD02	0,782
	JD03	0,786
	JD04	0,785
	Média ($\bar{x}$)	0,782
JEQUITIBÁ (<i>Cariniana legalis</i>)	JQ01	0,581
	JQ02	0,577
	JQ03	0,573
	JQ04	0,575
	Média ($\bar{x}$)	0,577
PINHO-DE-RIGA (<i>Pinus sylvestris</i>)	PR01	0,631
	PR02	0,629
	PR03	0,645
	PR04	0,644
	Média ($\bar{x}$)	0,637

Fonte: Elaboração do autor

Figura 7 – Medição de densidade por deslocamento de volume



Fonte: Fotos e montagem do autor

6.3.2 Características sensoriais e anatômicas

A olho nu e com o auxílio de uma lupa de aumento do tipo conta fios (figura 8) algumas das características de cada uma das madeiras foi observada, de modo a compará-las com aquelas descritas nas chaves de identificação ou em bibliografias. Características organolépticas, como brilho, odor (incluindo o tipo), cor, grã e textura, e anatômicas, como presença ou ausência de vasos e sua frequência, juntamente com as densidades determinadas, estão listadas na tabela 4 e foram conclusivas para a confirmação das espécies de madeiras selecionadas. De modo geral, somente de 3 a 4 características são necessárias para determinar uma espécie.

Figura 8 – Observação com lupa de aumento



Fonte: Fotos do autor

Tabela 4 – Identificação das espécies

MADEIRA	ARAUCÁRIA (<i>Araucaria angustifolia</i>)	CANELA (<i>Ocotea odorifera</i>)	CEDRO (<i>Cedrela fissilis</i>)	JACARANDÁ (<i>Dalbergia nigra</i>)	JEQUITIBÁ (<i>Cariniana legalis</i>)	PINHO-DE-RIGA (<i>Pinus sylvestris</i>)
BRILHO	Sem	Com	Sem	Com	Com	Sem
ODOR	Perceptível	Perceptível	Perceptível	Perceptível	Imperceptível	Perceptível
TIPO	Agradável	Agradável	Agradável	Característico	-	Característico
COR	Esbranquiçado	Amarelado	Rosado	Arroxeadado	Rosado	Amarronzado
GRÃ	Direita	Direita	Direita	Entrecruzada	Direita	Direita
TEXTURA	Fina	Média	Média	Média	Média	Média
DENSIDADE ¹	Média	Média	Leve	Pesada	Média	Média
VASOS	Ausentes	Presentes	Presentes	Presentes	Presentes	Ausentes
FREQUÊNCIA ²	-	Baixa	Baixa	Baixa	Média	-

¹ Leve (<0.50 g/cm³) – Média (0.50-0.72 g/cm³) – Pesada (>0.72 g/cm³)

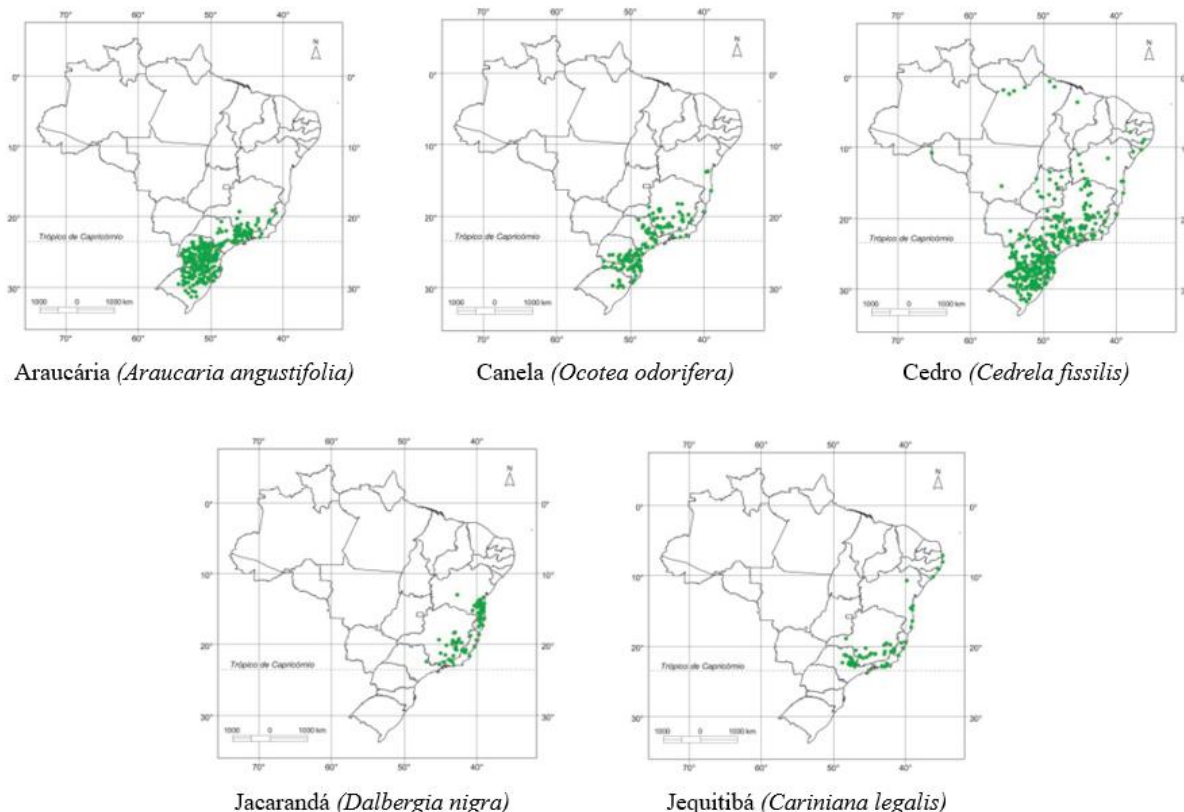
² Baixa (até 5 vasos/2 mm²) – Média (de 6 a 30 vasos/2 mm²) – Alta (mais de 30 vasos/2 mm²)

Fonte: Elaboração do autor

6.3.3 Geolocalização

As áreas de ocorrência das espécies são também uma forma de comprovação de que determinados tipos de madeira estavam disponíveis aos escultores para uso na confecção de suas obras. Como o levantamento das espécies, realizado por Coelho e Quites (2014), se concentra na região de Minas Gerais, é de se esperar que estas espécies estejam geograficamente presentes nessa área. A geolocalização refere-se à identificação da posição geográfica de um objeto ou elemento no espaço. No campo da conservação e da história da arte, esse conceito é útil para associar materiais a regiões específicas. Ao mapear a distribuição das espécies vegetais, é possível correlacionar a disponibilidade de madeira com as escolhas técnicas e estéticas feitas pelos escultores, além de lançar luz sobre os fatores logísticos e culturais que influenciaram essas decisões. O Pinho-de-Riga (*Pinus sylvestris*), valorizado por sua resistência e facilidade de trabalho, especialmente em construções elaboradas, é a única exceção dentro do conjunto de madeiras escolhidas. Proveniente da região do Báltico (Riga, capital da Letônia), essa madeira chegou ao Brasil no século XVIII por meio do comércio marítimo. Ela era amplamente utilizada na Europa para construção naval, estruturas arquitetônicas e mobiliário de alta qualidade. No contexto colonial, Portugal desempenhou um papel central na introdução do Pinho-de-Riga no Brasil. Os diagramas da figura 9 comprovam a distribuição geográfica das outras cinco espécies em Minas Gerais.

Figura 9 – Geolocalização das espécies



Fonte: Carvalho (2003)

6.3.4 Resistência da madeira

A madeira pode ser avaliada em relação à sua resistência usando um teste de compressão. Esta característica se torna interessante para que se determine sua perda após os danos causados pelo fogo e sua recuperação com a consolidação. Entretanto, por ser um teste destrutivo, o que não pode ocorrer com as amostras de teste carbonizadas antes dos testes de consolidação, propõe-se a seguinte solução:

Os resultados do teste de compressão da madeira estão diretamente relacionados à sua densidade, apesar desta relação exata depender de vários fatores, como espécie, teor de umidade e direção da compressão em relação às fibras. Mas, em geral, madeiras com maior densidade tendem a apresentar maior resistência à compressão. Dias e Lahr (2004, p. 104), apresentam estudos de vários autores estabelecendo as relações da densidade com as propriedades de resistência e rigidez da madeira. Os autores estabeleceram procedimentos estatísticos para esta relação. O *Wood Handbook* (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999, p. 4-27) também apresenta algumas funções que relacionam as propriedades mecânicas da madeira à densidade, indicando que esta propriedade é um indicador significativo do comportamento mecânico da madeira, onde um aumento na densidade geralmente se relaciona a um aumento nas



propriedades de resistência, como a resistência à flexão e à tração. A relação entre densidade e resistência à compressão se estabelece em função de alguns fatores como a estrutura celular – madeiras mais densas possuem paredes celulares mais espessas e uma estrutura interna mais compacta, o que suporta melhor as forças compressivas; teor de lignina – madeiras mais densas frequentemente têm maior quantidade de lignina, que confere rigidez.

Segundo o *Wood Handbook* (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999, 9-6), a densidade da madeira pode variar significativamente entre diferentes espécies e até mesmo dentro de uma mesma espécie, devido às diferenças no volume vazio e na espessura das paredes celulares. Madeiras de alta densidade apresentam paredes celulares espessas e lúmens¹⁹ de pequeno volume, enquanto madeiras de baixa densidade possuem paredes finas e lúmens de grande volume. Essa relação é fundamental, pois a resistência da madeira está diretamente ligada à densidade: células com paredes espessas suportam muito mais estresse do que aquelas com paredes finas.

Para avaliar a resistência das madeiras estudadas, foram separadas outras 2 amostras de menor e maior densidade, antes da queima, após a queima e após a consolidação. Com os resultados da resistência destas amostras, será possível estabelecer uma relação com as densidades das outras madeiras e avaliar o efeito das consolidações.

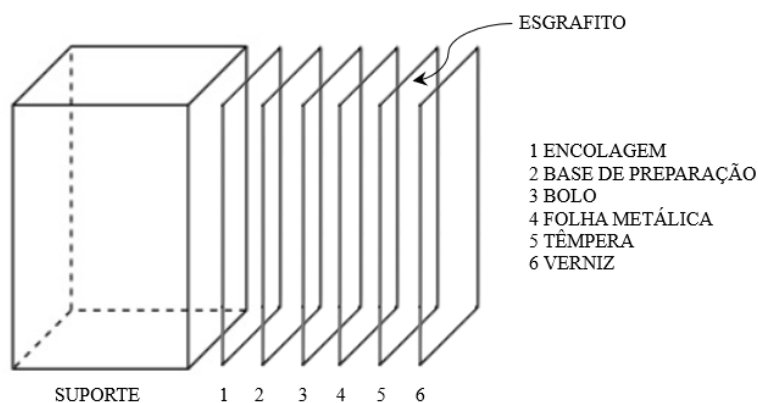
7 REALIZAÇÃO DOS TESTES

7.1 Preparo dos protótipos

Como forma de simular a policromia utilizada nas esculturas do século XVIII em Minas Gerais e garantir uma maior representatividade dos resultados de testes em obras que possam receber o mesmo tratamento, os protótipos receberam em sua face frontal, as mesmas camadas pictóricas de uma escultura em madeira policromada. De acordo com Coelho e Quites (2014, p. 149) “as camadas que compõem uma policromia são basicamente: encolagem, bolo armênio, folha metálica e ornamentação para áreas que imitam os têxteis”. A preparação de cada camada foi feita seguindo os passos descritos por Medeiros e Souza (2001, p. 85). As camadas aplicadas sobre cada uma das espécies de madeiras, nas três amostras de teste (a amostra de controle permaneceu sem nenhum tipo de tratamento), são mostradas na figura 10.

¹⁹ O lúmen é o espaço interno das células vegetais, localizado no interior das paredes celulares.

Figura 10 – Esquema das camadas da policromia e douramento



Fonte: Montagem do autor

1. Após o lixamento de todas as faces de cada bloco de madeira, a encolagem foi aplicada com Cola de Coelho a 10 % em Água Deionizada. Segundo Medeiros (2001, p. 5) a principal função desta camada é “obturar os poros da madeira, evitando que a madeira absorva o adesivo das camadas posteriores. Foram aplicadas duas camadas consecutivas em sentidos perpendiculares.
2. Em seguida foram aplicadas camadas de base de preparação. Estas camadas foram constituídas de uma carga composta de gesso grosso e fino (Sulfato de Cálcio Hemihidratado – $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$), adicionada à Cola de Coelho a 10 % em água. Ainda segundo a Medeiros (2001, p. 6), sua função é “nivelar as irregularidades da madeira, da talha, uniformizando a superfície e fazendo um isolamento entre a madeira e as camadas posteriores”. Foram aplicadas quatro camadas de gesso grosso em sentidos perpendiculares, aguardando a secagem parcial entre elas. O mesmo processo foi repetido com o gesso fino (*sotille*). Após 24 horas de secagem total a base de preparação foi lixada com lixa grão 120, até tornar-se lisa, sem arranhões.
3. A terceira camada é constituída pelo bolo armênio, um material argiloso, constituído de óxido de ferro, que serve de base para aplicação das folhas metálicas. Foi utilizado o bolo vermelho, vendido comercialmente como *Assiette a dorer – rouge (Lefranc Et Bourgeois)*, que foi diluído em Cola de Coelho a 5 % em água, até se obter uma consistência líquida mais encorpada, que pôde ser aplicada com o auxílio de um pincel. Foram aplicadas três camadas em sentidos perpendiculares. Após a secagem completa a camada final do bolo foi lixada com lixa grão 120 e o polimento completado com um trapo de linho.
4. De acordo com Medeiros (2001, p. 11) as folhas de ouro podem ser encontradas em diferentes quilates e vendidas em livretes separadas por folhas de papel de seda. As

folhas são obtidas a partir de placas de ouro marteladas ou pelo uso de rolos. Também podem ser utilizadas folhas de prata ou ligas de ouro, prata e cobre. Atualmente, são comercializadas folhas de ouro falso, feitas de alumínio, que foi o material utilizado neste trabalho. A folha metálica foi aplicada a partir do umedecimento do bolo, com um pincel embebido em cola de dourador, constituída de Água, Cola de Coelho e Álcool Etílico 70 %. Desta forma, o aglutinante do bolo é ativado, causando a aderência da folha metálica, que deve ser aplicada suavemente. Cerca de uma hora após o douramento, com o uso de uma pedra de ágata, foi realizado o brunimento dos protótipos.

5. Sobre a folha metálica foram aplicadas três demãos de têmpera vermelha, em sentidos perpendiculares. A têmpera foi preparada utilizando um pigmento em pó vermelho²⁰, moído em água, até se obter uma pasta. Em seguida, foi acrescentado uma parte de gema de ovo a uma parte desta mistura. Após a aplicação e a secagem de três camadas de têmpera a ovo sobre a área a ser esgrafiada, foi aplicado um papel com o motivo decorativo (utilizado o mesmo motivo da obra de Santo Antônio), a partir do qual se fez o decalque sobre a têmpera com o uso de um instrumento pontiagudo de metal. Por fim, foi realizada a remoção da têmpera como o mesmo instrumento de metal, nas áreas em que o *ouro* deveria ficar aparente.
6. A última camada, ou camada de proteção, constitui de um verniz preparado com resina de Damar, extraída em Aguarrás, na proporção de 1:3. Foram aplicadas 2 demãos, em sentido perpendicular. Todo o processo de preparação e aplicação das camadas nos protótipos é mostrado na figura 11.

7.2 Queima dos protótipos

As amostras de teste foram submetidas à exposição ao fogo em condições de atmosfera aberta, ou seja, com presença de oxigênio disponível, simulando um possível acidente no local de guarda ou exposição da escultura. Durante o processo de queima, o oxigênio é consumido gradualmente pela combustão, o que altera sua concentração local e influencia tanto a intensidade da chama quanto a forma de degradação da madeira. Essa dinâmica é importante para reproduzir, ainda que em escala reduzida, as condições reais em que ocorreria um incêndio em ambientes não controlados. Para garantir a similaridade dos danos, a posição e a altura da chama em relação a cada protótipo foi devidamente

²⁰ Óxido de Ferro III - Fe_2O_3

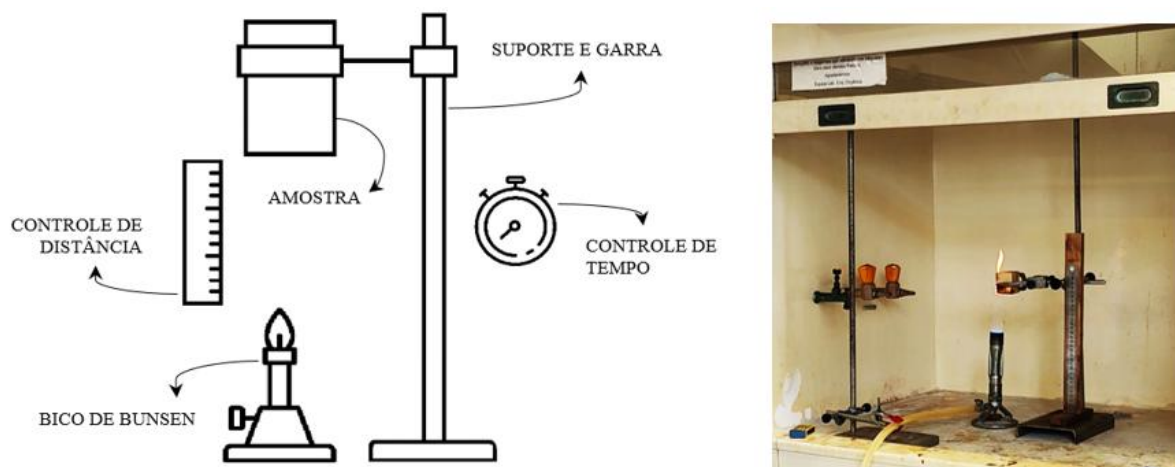
controlada. Da mesma forma, o tempo de exposição a este agente também foi cronometrado. Após a retirada da chama, as amostras ainda permaneceram queimando por um tempo previamente determinado em outras amostras, aqui chamadas de pré-testes. O esquema de queima é mostrado na figura 12.

Figura 11 – Aplicação das camadas nos protótipos



Fonte: Fotos do autor

Figura 12 – Esquema de queima dos protótipos



Fonte: Montagem e foto do autor

7.2.1 Preparo do local de queima

A queima dos protótipos ocorreu no Laboratório 1008 do Departamento de Química do Instituto de Ciências Exatas da UFMG. Antes da realização do procedimento o local foi examinado para determinar a montagem que permitisse que os testes ocorressem de forma a não colocar em risco as pessoas e as instalações. Foi verificada a presença de extintores de incêndio no local e a montagem foi feita dentro de uma capela. Foi utilizado Bico de Bunsen com gás GLP como fonte de fogo. A chama gerada por um bico de Bunsen alimentado com gás GLP pode atingir temperaturas de até $1.500\text{ }^{\circ}\text{C}^{21}$, dependendo da proporção de ar admitida na mistura com o combustível. Considerando as condições do teste e o posicionamento dos protótipos, é razoável assumir que as temperaturas atingidas nas áreas mais afetadas da madeira se aproximaram dessa faixa, contribuindo para a carbonização parcial observada. A sua posição na capela e a distância de 9 cm da extremidade do Bico de Bunsen até a parte inferior do bloco de madeira foram previamente determinadas nas amostras de pré-teste e marcadas no piso da capela e por uma régua que fez parte da montagem (figura 13). O tempo de 1 minuto de queima com chama também foi estipulado, de forma que as áreas afetadas pelo fogo se concentrassem na face central do protótipo que continha as camadas de policromia e douramento. Após a retirada da chama, foi permitido que o fogo continuasse consumindo a madeira até o tempo máximo de 1 minuto, quando ele era, então, apagado – na maioria das amostras não foi necessário sua extinção. Entretanto, após as medidas de perda de massa, foi constatado que a

²¹ ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA, Inc. *Bunsen burner*. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/Bunsen-burner>. Acesso em: 18 abr. 2025.



queima foi insuficiente para causar um dano estatisticamente mensurável. Deste modo, as amostras de teste foram queimadas por mais 2 minutos, em condições análogas à anterior.

7.2.2 Queima dos protótipos

Não foi observada qualquer tendência à manutenção do fogo após a retirada da chama do bico de Bunsen em relação direta com a espécie de madeira utilizada. Ainda assim, é perceptível que cada tipo de madeira apresentou um comportamento distinto frente à ação da chama. Segundo Figueroa e Moraes (2009), a degradação térmica da madeira varia de acordo com suas características físicas e químicas, sendo influenciada pela espécie, pelos anéis de crescimento e pela umidade.

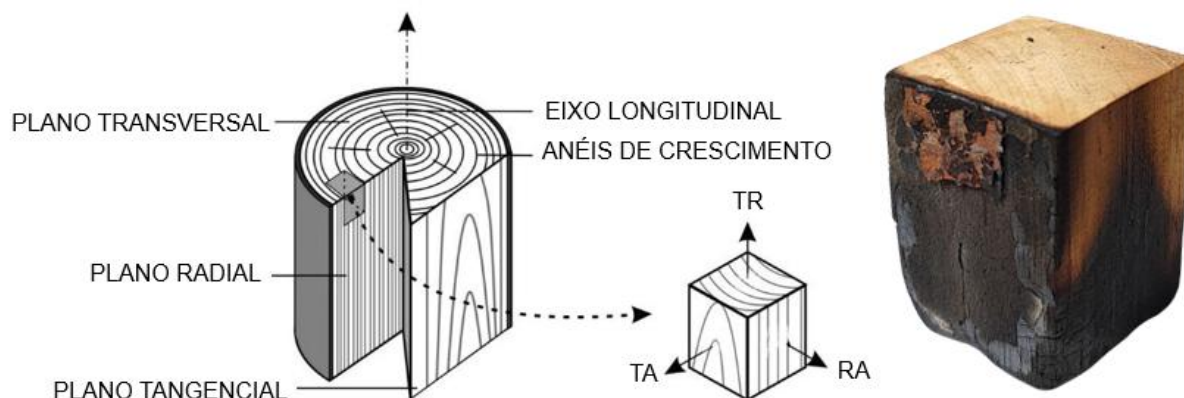
Vários trabalhos foram realizados sobre a degradação térmica da madeira, mostrando que o processo de decomposição e a temperatura na qual ela ocorre são dependentes, significativamente, da espécie da madeira (BODÍRLÁU; SPIRIDON; TEACĂ, 2007; PONCSÁK *et al.*, 2006), dos anéis de crescimento (BODÍRLÁU *et al.*, 2007) e do teor de umidade do material. As reações químicas no interior do material são complexas, com reações endotérmicas e exotérmicas ocorrendo simultaneamente tanto no tempo como no espaço. (FIGUEROA; MORAES, 2009, p.160)

Durante a queima, ocorrem reações complexas no interior da madeira, liberando compostos orgânicos voláteis, como álcoois, resinas e terpenos, que alimentam a combustão. Esses compostos desempenham papel crucial na propagação das chamas e na intensidade da queima, variando conforme as características intrínsecas de cada espécie. Tais características explicam as variações observadas entre os protótipos, já que fatores como densidade, origem da amostra na peça original e presença de veios ou imperfeições influenciam diretamente no comportamento térmico. Soma-se a isso a interferência da camada de policromia, que atua como uma barreira física e térmica, retardando o avanço da chama e modificando a forma de carbonização. A forma de aplicação dos estratos pictóricos e o tipo de metal utilizado na douração também parecem exercer influência sobre os danos causados pelo calor, tanto na proteção quanto na propagação da deformação superficial.

Os resultados obtidos foram considerados satisfatórios, visto que houve a formação de carvão com a preservação parcial da policromia e da madeira original. Além do carvão, foi registrada a perda significativa de parte da camada pictórica – especialmente da folha metálica – e a formação de bolhas em algumas áreas. As zonas carbonizadas se tornaram extremamente frágeis, e as maiores rachaduras ocorreram no plano transversal, na base do protótipo (figura 13), com aberturas de até 2 mm. De acordo com Figueroa e Moraes (2009, p. 160), as reações exotérmicas se iniciam entre 150 e 160 °C, e acima de 200 °C há perda acelerada de massa e redução da resistência mecânica. A pirólise da celulose, por sua vez, ocorre entre 200 e 280 °C.

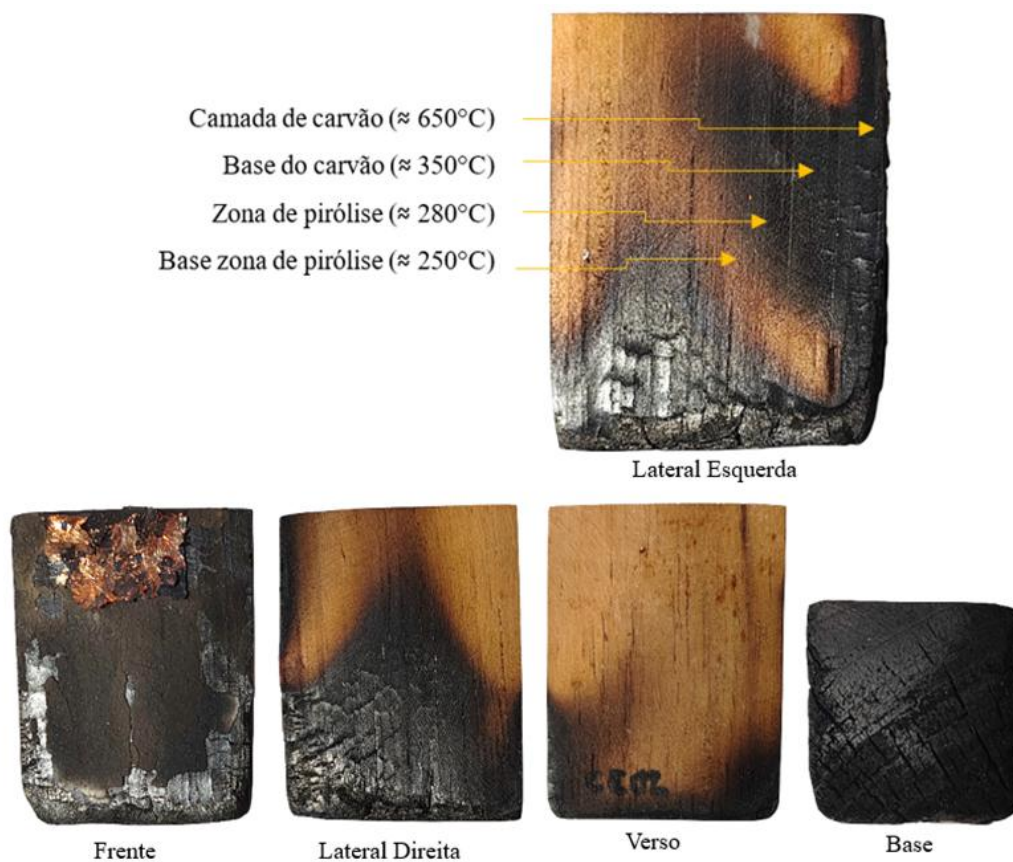
A figura 14, baseada em Figueroa e Moraes (2009, p. 161), mostra a seção carbonizada de uma das amostras (Cedro – CE02). Os testes seguintes determinarão as perdas de massa e de densidade para cada amostra.

Figura 13 – Esquema de queima dos protótipos



Fonte: Fotos do autor e esquema adaptado de Feijoo, Armijos e Cofrep (2019)

Figura 14 – Seções carbonizadas da madeira



Fonte: Fotos do autor e esquema adaptado de Figueroa e Moraes (2009)

7.3 Consolidação dos protótipos queimados

7.3.1 Determinação do consolidante

Horie (2010, p. 3) destaca a importância de especificar as propriedades dos materiais antes de sua aplicação, reforçando que é fundamental que os restauradores entendam e especifiquem as propriedades físicas dos acrilatos e outros polímeros, uma vez que as opções disponíveis no mercado estão em constante mudança. A escolha de um material deve ser baseada em suas propriedades adequadas para a necessidade de conservação.

Para determinar que consolidantes seriam utilizados foi realizado um levantamento das técnicas aplicadas em estudos de casos que envolviam obras com madeiras carbonizadas. O uso dos materiais e técnicas de intervenção mais adequados à consolidação das áreas danificadas pelo fogo varia conforme o tipo de obra e a extensão destes danos. O resumo deste levantamento é mostrado na tabela 5. Foi também avaliado o uso de composições diferentes de solventes, considerando o estudo feito por Boelsums, Figueiredo Junior e Souza (2021). Os autores avaliaram potenciais solventes, ou a mistura desses, na formulação de vernizes utilizados em procedimentos de restauração com quatro tipos de resinas. O objetivo do estudo era determinar as solventes de menor toxicidade, com desempenho estético igual ou superior a uma formulação usando Xileno²².

Na maioria dos estudos de casos pesquisados, o Paraloid® B-72 foi utilizado na consolidações das madeiras carbonizadas. Cobb (2005) utilizou também o Butvar® B-98 que é uma resina de polivinilbutiral (PVB - $(C_8H_{14}O_2)_n$), constituída de Álcool Polivinílico e Butiraldeído. Para o Cristo Crucificado de *Niedźwiedź* o autor (KIEFERLING, 1992) cita o uso de Osolan® K, uma resina acrílica de metacrilato (copolímero de metacrilato de butila e metacrilato de metila). Ambos não são de uso convencional no Brasil. A exceção se apresenta na consolidação da Nossa Senhora do Carmo, do Santuário de Santa Luzia, que foi realizada com Acetato de Polivinila em água.

Quanto aos solventes utilizados na preparação do Paraloid® B-72, é citado o uso de Acetato de Etila, Acetona, Álcool Etílico e Xileno. No Crucifixo da Capela do Hospital Municipal de Mannheim, Stadler (2012) foi utilizado como solvente do Paraloid® B-72, uma mistura de tolueno e Shellsol T, um solvente sintético isoparafínico. Ramos (2017), cita que na consolidação do São Francisco de Assis Penitente, a madeira carbonizada não suportou a

²² Os termos Xilol e Xileno, são usados para se referir ao mesmo composto químico. Xileno é o nome sistemático recomendado pela IUPAC (União Internacional de Química Pura e Aplicada) e se refere a um composto aromático com a fórmula C_8H_{10} , que possui três isômeros (orto-, meta- e para-xileno).

introdução do Álcool Etílico e fissurou. Boelsums, Figueiredo Junior e Souza (2021) citam o Acetato de Etila, o Acetato de Isoamila e a mistura do Acetato de Isoamila/Cicloexano (45 : 55) como alternativas menos tóxicas para preparar o Paraloid® B-72.

Tabela 5 – Uso de consolidantes em estudos de casos

OBRA OU ESTUDO	CONSOLIDANTE
Conjuntos de amostras preparados a partir de quatro madeiras: freixo, bordo, cerejeira e carvalho, carbonizadas em ambiente controlado ²³	Butvar® B-98 a 10% em 60/40 de Etanol e Tolueno e Paraloid® B-72 a 10 % em Acetona
Cristo Crucificado Paróquia de Santo Adalberto de Praga Niedźwiedz, Polônia ²⁴	Osolan K® a 10, 15 e 20% em Xileno
Coroamento do Para Vento Igreja de Nossa Senhora do Carmo Mariana, Minas Gerais ²⁵	Paraloid® B-72 a 10 % em Xileno
Crucifixo Capela do Hospital Municipal de Mannheim Baden-Württemberg, Alemanha ²⁶	Paraloid® B-72 a 20% em Tolueno / Shellsol® T
Virgen del Carmen Parroquia El Sagrario Santiago, Chile ²⁷	Paraloid® B-72 a 10% em Acetato de Etila
Nossa Senhora do Carmo Santuário de Santa Luzia Santa Luzia, Minas Gerais ²⁸	Acetato de Polivinila em água (2:1)
São Francisco de Assis Penitente Igreja Matriz de Nossa Senhora da Piedade Piedade do Paraopeba, Minas Gerais ²⁹	Paraloid® B-72 a 10% em Álcool Etílico 92,8% e Paraloid® B-72 a 10% em Acetona

Fonte: Compilação do autor

Baseado nas pesquisas bibliográficas acima e partindo do fato de que o Paraloid® B-72 é o consolidante de uso mais usual em restaurações de esculturas, o mesmo foi definido como o material mais adequado para a consolidação dos protótipos de teste. Como cita Horie (2010, p. 165), o Paraloid® B-72 foi inicialmente utilizado como um verniz de prata em 1947 e também empregado para a consolidação de têxteis. Ainda hoje ele permanece como um dos poucos

²³ COBB, Kim Cullen. Charred Wood Consolidated with Thermoplastic Resins. In: Annual Student Conference Hosted by the Buffalo State College. 2005.

²⁴ KIEFERLING, Roman. Konserwacja zniszczonego przez pożar krucyfiks z Niedźwiedzia. Ochrona Zabytków, Warszawa. 1992.

²⁵ CASTRO, Maria Ângela Reis de. Estudo de critérios para a restauração de uma peça carbonizada: fragmento de frontão do pára-vento da Igreja de Nossa Senhora do Carmo de Mariana-MG. 2002.

²⁶ STADLER, Jonny W. Heilung nach dem Brandanschlag: Die Konservierung und Restaurierung eines brandgeschädigten Kruzifixes aus dem Städtischen Klinikum Mannheim. Restauro: Forum für Restauratoren, Konservatoren und Denkmalpfleger. 2012.

²⁷ PICCOLINI, Álvaro Villagrán; LAPUENTE, Alejandra Bendekovic de. Cuantificación del daño y estudio de materiales para la restauración de la imagen de la Virgen del Carmen. Revista Conserva. 2010

²⁸ RAMOS, Aline Cristina Gomes.; QUITES, Maria Regina Emery. Do negro ao Carvão: conservação-restauração de uma imagem de vestir carbonizada representando São Francisco de Assis Penitente. 2017.

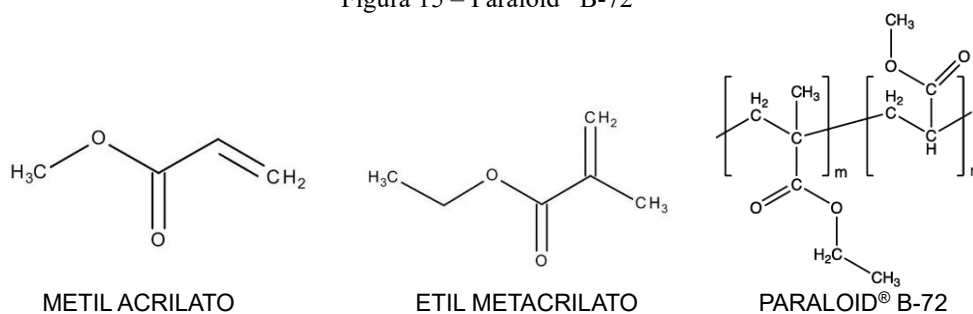
²⁹ RAMOS, Aline Cristina Gomes.; QUITES, Maria Regina Emery. Do negro ao Carvão: conservação-restauração de uma imagem de vestir carbonizada representando São Francisco de Assis Penitente. 2017.

polímeros que foram intensivamente testados e aprovados para uso em restauração. Segundo a ABRACOR (2011, p. 42), o Paraloid® B-72 é “uma das resinas mais estáveis para uso geral em conservação”, além de não estar sujeita ao ataque de microrganismos. Optou-se também pela formulação de três composições com os solventes Acetato de Etila, Acetona e Xileno, todas a 10 %. A mistura com Xileno já havia sido utilizada para fazer a consolidação da escultura de Santo Antônio.

O Paraloid® B-72 é uma copolímero de Metil Acrilato e Etil Metacrilato (figura 15). De acordo com Figueiredo Junior (2012, p. 72) os acrílicos são substâncias sintéticas derivados de compostos que contêm a função Vinila, um radical originado do Eteno, cuja fórmula é $H_2C=CH$. O grupo Vinila pode se ligar a diferentes funções orgânicas, formando as cadeias laterais de seus polímeros e quando essa função é um Ácido Carboxílico o resultado é o Ácido Acrílico. As reações de polimerização por adição que os formam ocorrem por meio via radicalar.

Como explica Figueiredo Junior (2012, p. 123), os consolidantes são materiais utilizados para restaurar a coesão em estruturas que perderam sua integridade, neste caso, a madeira carbonizada. O Paraloid® B-72 teria a função de preencher as lacunas do material, aumentando a coesão interna do substrato e consequentemente sua resistência mecânica. Ainda segundo o autor, para que o consolidante cumpra seu papel e penetre profundamente no substrato sólido devem ser consideradas duas variáveis: a penetração e a evaporação do solvente. A viscosidade da composição consolidante/solvente deve ser tal que permita que o consolidante penetre até as lacunas mais profundas do substrato danificado. Além disso, a velocidade de evaporação do solvente deve ocorrer de forma completa somente quando o consolidante atingir as áreas a serem consolidadas.

Figura 15 – Paraloid® B-72



Fonte: <https://www.merckmillipore.com/> e <https://artchimicarj.wixsite.com/>

Como reforça *Wood Handbook* (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999, p. 9-2), “uma penetração mais profunda na microestrutura fina aumenta a área de superfície de contato

entre o adesivo e a madeira para um intertravamento mecânico mais eficaz”. Complementando ainda que os solventes desempenham um papel importante no controle reológico³⁰ dos sistemas fluidos, especialmente ao reduzir a propagação e a penetração do consolidante na madeira. Assim, fica claro que a escolha do solvente é essencial para se atingir uma viscosidade adequada, que permita a penetração correta do consolidante nas áreas danificadas.

Uma vez aplicado o consolidante na superfície do material, ele penetrará em seu interior através de rachaduras, fissuras e poros. A porosidade de um material (vazios nele existentes) é caracterizada pela sua largura e geometria: pode ser aberta para o exterior (por onde o produto irá infiltrar) ou fechada dentro do filme, com acesso mais difícil ou inexistente. O solvente deve ser evaporado lentamente para não arrastar a resina quando ela migra para a superfície do objeto durante a evaporação. (VILLARQUIDE, 2005, p. 158).

A figura 16, adaptada de Villarquide (2005, p. 158), demonstra a penetração da composição consolidante/solvente nas lacunas do substrato em situações de viscosidade e evaporação do solvente adequadas (a), quando a viscosidade é excessivamente alta e a evaporação se dá antes que o consolidante atinja as áreas mais profundas (b) e quando a viscosidade está adequada, mas a evaporação do solvente é rápida e arrasta o consolidante de volta para a superfície (c).

Figura 16 – Penetração do consolidante



Fonte: Montagem do autor, baseado em Villarquide (2005)

A viscosidade do solvente é a determinante na viscosidade da composição consolidante/solvente. Os solventes selecionados, Acetato de Etila, Acetona e Xileno, apresentam as características mostradas na tabela 6, retiradas do *CRC Handbook of Chemistry and Physics* (2015): Peso molecular (massa molar relativa), conforme calculado com os Pesos Atômicos Padrão da IUPAC de 2001; densidade (massa por unidade de volume) em g/cm³, na temperatura em °C indicada; ponto de ebulição normal em °C, que é a temperatura na qual a fase líquida está em equilíbrio com o vapor a uma pressão de 760 Torr (101,325 kPa); fórmula molecular escrita na convenção de Hill. As taxas de evaporação dos solventes³¹ (em relação ao

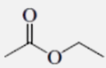
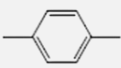
³⁰ A reologia é o estudo do fluxo de líquidos e deformação de sólidos. A reologia aborda fenômenos como fluência, relaxamento de tensão, inelasticidade, deformação de tensão não linear e viscosidade. (HAYNES, 2015, p. 2-63).

³¹ A velocidade de evaporação de um solvente é determinada por uma combinação de fatores físicos e químicos, como a pressão de vapor, ponto de ebulição, calor específico, entalpia, tensão superficial. Normalmente se

éter), retiradas de suas respectivas Fichas de Dados de Segurança (FDS), dependem de vários fatores, como a pressão de vapor, o ponto de ebulição, seu calor específico, a tensão superficial do líquido e a umidade do ar ao redor da superfície. Entretanto, os valores mostrados podem fornecer uma ideia do comportamento da composição consolidante/solvente. A análise dos dados da tabela sugerem que a composição preparada com Acetona apresentará uma viscosidade menor, com uma penetração e uma evaporação mais rápida. De modo contrário, o uso de Xileno fará com que a composição tenha viscosidade maior e penetração e evaporação mais lenta.

Outro dado relevante ao se tratar da escolha dos solventes em qualquer tipo de atividade são aquelas relativas à segurança dos restauradores. Como lembram Boelsums, Figueiredo Junior e Souza (2021, p. 70), a toxicidade de solventes orgânicos é “tão considerável que se torna necessário evitar o seu uso ou substituí-los por solventes menos tóxicos”. Entretanto, o xileno foi incluído nesta pesquisa por ter sido citado em diversos estudos de caso analisados, nos quais foi utilizado como solvente para a preparação de soluções de Paraloid® B-72. Apesar de seu uso ainda ser recorrente na prática da conservação e restauração, trata-se de um solvente com risco toxicológico significativo, o que exige a adoção de medidas rigorosas de segurança, incluindo o uso obrigatório de Equipamentos de Proteção Individual (EPI's) apropriados e a manipulação em ambientes com ventilação ou exaustão adequadas.

Tabela 6 – Propriedades dos solventes

PROPRIEDADES	ACETATO DE ETILA $C_4H_8O_2$ 	ACETONA C_3H_6O 	<i>p</i> -XILENO C_8H_{10} 
Densidade (g/cm ³)	0.8941	0.7845	0.8565
Peso molecular	88.106	58.079	106.165
Ponto de ebulição (°C)	77.1	56.1	138.3
Pressão de vapor (kPa)	12.6	30.8	1.2
Velocidade de evaporação	2.9	2.1	13.5
Viscosidade (mPa s a 25 °C)	0.423	0.306	0.603

Fonte: *CRC Handbook of Chemistry and Physics* (2015)

Pelo Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos - GHS, da Organização das Nações Unidas, como previsto na NR-26: Sinalização de



Segurança e na ABNT NBR 14725-4: Produtos químicos, os três solventes apresentam os seguintes perigos³² mostrados abaixo. É evidente que o Xileno é o solvente mais nocivo.

Classificação GHS para o Acetato de Etila:

1. Líquidos inflamáveis (Categoria 2): H225 – Líquido e vapores altamente inflamáveis.
2. Irritação ocular (Categoria 2A): H319 – Provoca irritação ocular grave.
3. Toxicidade sistêmica de órgão-alvo específico – exposição única (Categoria 3): Sistema nervoso central: H336 – Pode provocar sonolência ou vertigem.

Classificação GHS para a Acetona:

1. Líquidos inflamáveis (Categoria 2): H225 – Líquido e vapores altamente inflamáveis.
2. Irritação da pele (Categoria 3): H316 – Provoca irritação moderada à pele.
3. Irritação ocular (Categoria 2A): H319 – Provoca irritação ocular grave.
4. Toxicidade sistêmica de órgão-alvo específico – exposição única (Categoria 3): Sistema nervoso central: H336 – Pode provocar sonolência ou vertigem.

Classificação GHS para o p-Xileno:

1. Líquidos inflamáveis (Categoria 3): H226 – Líquido e vapores inflamáveis.
2. Toxicidade aguda, Oral (Categoria 5): H303 – Pode ser nocivo se ingerido.
3. Toxicidade aguda, Inalação (Categoria 4): H332 – Nocivo em contato se inalado.
4. Toxicidade aguda, Dérmico (Categoria 4): H312 – Nocivo em contato com a pele.
5. Irritação da pele (Categoria 2): H315 – Provoca irritação à pele.
6. Irritação ocular (Categoria 2A): H319 – Provoca irritação ocular grave.
7. Toxicidade sistêmica de órgão-alvo específico - exposição única (Categoria 3): Sistema
8. Respiratório: H335 – Pode provocar irritação das vias respiratórias.
9. Perigo por aspiração. (Categoria 1): H304 – Pode ser fatal se ingerido e penetrar nas vias respiratórias.

Maynor (1989, p. 66) adverte que “as resinas [Paraloid® B-72] não são consideradas perigosas, mas os solventes exigem medidas de segurança adequadas”. Como medidas de proteção, ao manipular solventes orgânicos, é recomendado não respirar vapores nem aerossóis, evitar o contato com a substância, assegurar ventilação adequada, manter afastado do calor e de fontes de ignição. O uso de EPI’s adequados, como protetor ocular e luvas, aprovados de acordo com os órgãos pertinentes, torna-se essencial.

³² Dados retirados das FDS em <https://www.merckmillipore.com/>

7.3.2 Preparo e aplicação do consolidante

Todas as soluções de consolidantes foram preparadas à 10 %. O Paraloid® B-72 foi pesado em uma balança analítica e transferido para um béquer de 100 mL (figura 17). Em seguida, o solvente foi medido em uma proveta e transferido para o béquer. Com o uso de um bastão de vidro, a solução foi agitada, até que todo o soluto se dissolvesse completamente. Nenhum tipo de aquecimento foi utilizado. De forma geral, o Paraloid® B-72 se dissolve razoavelmente rápido no Acetato de Etila, na Acetona e no Xileno. No Xileno foi percebido uma pequena facilidade maior de dissolução que nos outros dois solventes.

Com o protótipo apoiado em uma placa de vidro, o consolidante foi aplicado utilizando um pincel redondo No. 12, em pinceladas largas, de forma a encharcar cada área carbonizada (figura 18). Com exceção da face superior dos blocos, todas as demais receberam três demãos de consolidante, em intervalos de 30 minutos entre secagens, em um total de 10 mL para cada bloco. Isto corresponde, portanto, a uma quantidade aproximada de 1 g de Paraloid® B-72 para cada protótipo. A face a ser consolidada permaneceu na posição horizontal para que a força da gravidade auxiliasse na penetração do consolidante pelas rachaduras da madeira criadas pelo fogo e através dos seus poros.

Figura 17 – Preparo dos consolidantes



Fonte: Fotos do autor

Outros métodos de aplicação foram pensados – aspersão, gotejamento e injeção. A aspersão não iria garantir a penetração do consolidante nas zonas mais internas da madeira

carbonizada. Esse tipo de aplicação tende a formar apenas um filme superficial, uma vez que as gotículas finas se depositam rapidamente e evaporam antes de atingir camadas mais profundas. Essa limitação já foi destacada por Villarquide (2005, p. 163), que afirma que a aplicação por pulverização só é eficaz em camadas superficiais e, para obter alguma penetração, seria necessário complementar com pincelamento de solvente sobre a superfície tratada. A injeção foi considerada, mas descartada como método de aplicação devido ao risco de danos mecânicos nas áreas fragilizadas pela carbonização. Durante os trabalhos práticos com a escultura de Santo Antônio, foi possível constatar que as regiões queimadas apresentam estrutura extremamente comprometida, o que dificulta ou inviabiliza a inserção de agulhas sem causar perda de material ou desagregação da superfície. Esse fator limita a viabilidade da técnica de injeção nesse tipo específico de substrato. No caso do gotejamento, uma possibilidade a ser explorada seria a variação do posicionamento do bloco, com o objetivo de favorecer a penetração do consolidante por diferentes caminhos capilares. No entanto, sabe-se que líquidos de baixa viscosidade podem ser absorvidos por capilaridade mesmo sem a necessidade de movimentação constante da peça, como ocorre, por exemplo, em procedimentos de desinfestação. Assim, este e outros métodos de aplicação precisam ser estudados em uma etapa futura, visando a comprovação de que, o uso do pincel é realmente o mais adequado ao propósito de aplicar o consolidante de maneira mais eficiente, atingindo a maior área de lacunas da madeira.

Figura 18 – Aplicação do consolidante



Fonte: Fotos do autor

Durante a aplicação foi percebido que a composição Paraloid® B-72 - Acetona se evaporava rapidamente após o contato com a madeira danificada, o que já era esperado. As

características da Acetona, como sua alta Pressão de Vapor (30,8 kPa) e baixo Ponto de Ebulição (56,1 °C), como mostrado na tabela 6, indicam este comportamento. A composição Paraloid® B-72 - Xileno mostrou ter uma característica de evaporação mais lenta, comprovado pelas características do solvente de baixa Pressão de Vapor (1,2 kPa) e alto Ponto de Ebulição (138,3 °C). A composição Paraloid® B-72 - Acetato de Etila apresenta comportamento intermediário.

7.4 Testes de resistência

Os testes de resistência foram realizados no Laboratório de Caracterização Mecânica do CTNano (Centro de Tecnologia em Nanomateriais), um centro de pesquisa e desenvolvimento vinculado à UFMG. Os testes foram conduzidos no equipamento de ensaio mecânico universal EMIC DL10000, utilizado para testar materiais sob diferentes condições de carga. Este equipamento é projetado para realizar ensaios como tração, compressão e flexão, tendo uma capacidade de carga de até 10.000 kgf (100 kN), permitindo testes em materiais de alta resistência. O teste de compressão avalia a resistência de materiais sob forças compressivas. Seus componentes principais incluem um pórtico, construído de aço de alta resistência, que fornece a rigidez necessária para suportar as cargas aplicadas nos ensaios, composto por duas colunas verticais que sustentam o sistema de aplicação de carga. Este sistema é um atuador eletromecânico ou hidráulico, responsável por aplicar força controlada nos corpos de prova. Uma célula de carga atua como sensor de alta precisão que mede a força aplicada. O equipamento possui um *software* de aquisição de dados, utilizado para registrar, processar e analisar os resultados dos ensaios (figura 19).

O funcionamento geral consiste em posicionar o corpo de prova na base do equipamento. A seguir, o sistema de controle aplica uma carga gradativa, de acordo com as condições determinadas pelo operador no *software*, e registra os dados de força e deformação. O *software* analisa os dados obtidos nos ensaios e gera gráficos de tensão $\times$ deformação, a partir dos quais se pode obter parâmetros físicos relevantes, como a resistência máxima à compressão e o módulo de elasticidade (E). Os corpos de prova selecionados foram 6 protótipos, 3 de Cedro (RC01, RC02, RC03) e 3 de Jacarandá (RJ01, RJ02, RJ03), considerando as densidades menores (média 0.488) e maiores (média 0.704) das amostras de madeira disponíveis. Para cada madeira, havia uma sem tratamento, uma carbonizada e uma consolidada com Paraloid® B-72 em Xileno a 10 %. Após diversos testes prévios com outros corpos de prova, o ensaio escolhido foi o de compressão, tendo como condição padrão de final de teste, para todos os protótipos, o colapso da madeira, após 20 % de deformação (10 mm), com uma carga constante que gere

uma compressão de 2 mm por minuto. O equipamento mediu a deformação (mm) ao longo do tempo e a força (N) aplicada, até que esta condição fosse atingida. A figura 20 mostra exemplos da realização do teste.

Figura 19 – Equipamento de ensaio mecânico universal EMIC DL10000



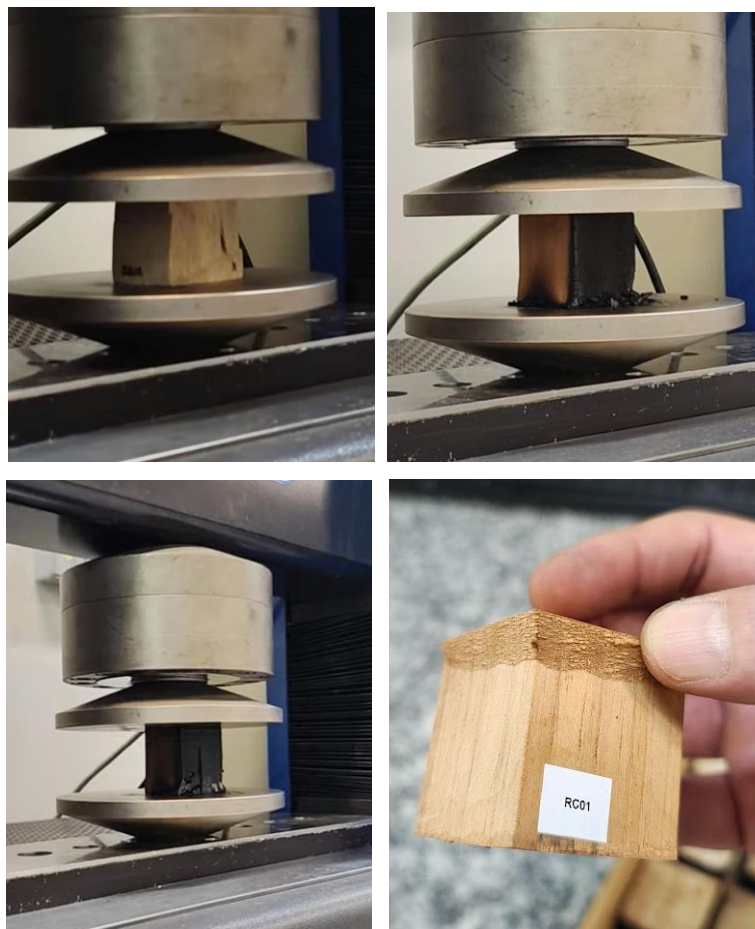
Fonte: Fotos do autor

8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

8.1 Cálculo das perdas de massa e alteração das densidades após a queima

Após o resfriamento total das amostras de teste, as mesmas foram levemente limpas mecanicamente com uma trincha de cerdas macias para retirada das partes soltas de carvão. Em seguida, cada uma delas foi novamente pesada e a perda de massa foi calculada em função da massa original. Os dados obtidos estão apresentados na tabela 7. Usando o método de deslocamento, o volume após a queima foi medido, de forma a se determinar as variações de densidade de cada amostra de teste. Estes novos valores são mostrados na tabela 8.

Figura 20 – Teste de resistência na madeira



Fonte: Fotos do autor

8.2 Tratamento dos dados após a queima

Nesta seção, são apresentados os tratamentos estatísticos aplicados aos dados obtidos a partir dos testes de queima das amostras de madeira. As análises foram realizadas com base nas perdas percentuais de massa e nas variações nas densidades, utilizando média aritmética e desvio padrão amostral³³ (s), com o objetivo de comparar o comportamento das diferentes espécies frente à degradação térmica.

³³ O desvio padrão amostral (s) é uma medida estatística que expressa o grau de dispersão dos dados em relação à média de uma amostra. Ele é especialmente adequado quando se trabalha com um número limitado de observações, como nos experimentos realizados nesta pesquisa. Sua fórmula é $s = \sqrt{(\sum(x_i - \bar{x})^2 / (n - 1))}$, em que x_i representa cada valor observado, $\bar{x}$ é a média da amostra e n é o número total de observações. O valor do desvio padrão indica o quanto os dados estão próximos ou afastados da média: quanto menor o desvio, mais homogêneos são os dados; quanto maior, mais dispersos eles se encontram.

Tabela 7 – Perda de massa após a queima das amostras

MADEIRA	CÓDIGO	MASSA (g)		PERDA	
		Antes	Após	(g)	(%)
ARAUCÁRIA (<i>Araucaria angustifolia</i>)	AR02	43,972	40,935	3,037	6,91
	AR03	41,910	38,080	3,830	9,14
	AR04	43,957	40,237	3,720	8,46
		Média ($\bar{x}$) = 8,17 %		Desvio Padrão (s) = 1,14	
CANELA (<i>Ocotea odorifera</i>)	CA02	41,696	37,670	4,026	9,66
	CA03	41,795	38,306	3,489	8,35
	CA04	40,932	37,457	3,475	8,49
		Média ($\bar{x}$) = 8,83 %		Desvio Padrão (s) = 0,72	
CEDRO (<i>Cedrela fissilis</i>)	CE02	32,395	29,400	2,995	9,25
	CE03	32,159	28,854	3,305	10,28
	CE04	33,296	30,025	3,271	9,82
		Média ($\bar{x}$) = 9,78 %		Desvio Padrão (s) = 0,52	
JACARANDÁ (<i>Dalbergia nigra</i>)	JD02	59,002	54,996	4,006	6,79
	JD03	58,127	53,428	4,699	8,08
	JD04	58,516	54,655	3,861	6,60
		Média ($\bar{x}$) = 7,16 %		Desvio Padrão (s) = 0,61	
JEQUITIBÁ (<i>Cariniana legalis</i>)	JQ02	43,677	39,537	4,140	9,48
	JQ03	42,600	40,178	2,422	5,69
	JQ04	41,900	39,956	1,944	4,64
		Média ($\bar{x}$) = 6,60 %		Desvio Padrão (s) = 2,55	
PINHO-DE-RIGA (<i>Pinus sylvestris</i>)	PR02	51,411	46,538	4,873	9,48
	PR03	53,494	47,908	5,586	10,44
	PR04	53,435	49,473	3,962	7,41
		Média ($\bar{x}$) = 9,05 %		Desvio Padrão (s) = 1,53	

¹ Cálculos de média e desvio padrão referem-se aos valores percentuais (s = desvio padrão amostral).

Fonte: Elaboração do autor

Tabela 8 – Densidades das amostras de teste após a queima

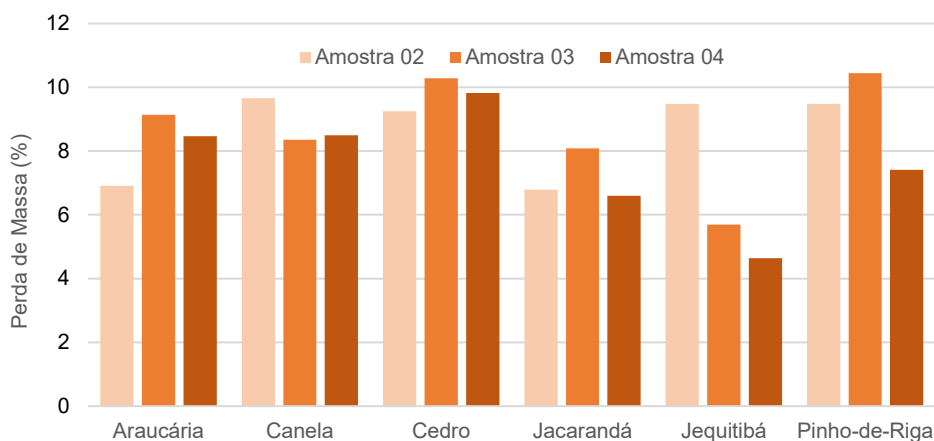
MADEIRA	CÓDIGO	DENSIDADE (g/cm ³) ¹		DIF.	%
		1	2		
ARAUCÁRIA (<i>Araucaria angustifolia</i>)	AR02	0,538	0,510	0,028	5,20
	AR03	0,530	0,498	0,032	6,04
	AR04	0,538	0,517	0,021	3,90
		Média ($\bar{x}$) = 5,05 %		Desvio Padrão (s) = 1,08	
CANELA (<i>Ocotea odorifera</i>)	CA02	0,520	0,453	0,067	12,88
	CA03	0,529	0,475	0,054	10,21
	CA04	0,527	0,472	0,055	10,44
		Média ($\bar{x}$) = 11,18 %		Desvio Padrão (s) = 1,48	
CEDRO (<i>Cedrela fissilis</i>)	CE02	0,437	0,406	0,031	7,09
	CE03	0,432	0,422	0,010	2,31
	CE04	0,453	0,409	0,044	9,71
		Média ($\bar{x}$) = 6,37 %		Desvio Padrão (s) = 3,75	
JACARANDÁ (<i>Dalbergia nigra</i>)	JD02	0,782	0,771	0,011	1,41
	JD03	0,786	0,756	0,030	3,82
	JD04	0,785	0,762	0,023	2,93
		Média ($\bar{x}$) = 2,72 %		Desvio Padrão (s) = 1,22	
JEQUITIBÁ (<i>Cariniana legalis</i>)	JQ02	0,577	0,530	0,047	8,15
	JQ03	0,573	0,552	0,021	3,66
	JQ04	0,575	0,549	0,026	4,52
		Média ($\bar{x}$) = 5,44 %		Desvio Padrão (s) = 2,38	
PINHO-DE-RIGA (<i>Pinus sylvestris</i>)	PR02	0,629	0,575	0,054	8,59
	PR03	0,645	0,600	0,045	6,98
	PR04	0,644	0,617	0,027	4,19
		Média ($\bar{x}$) = 6,59 %		Desvio Padrão (s) = 2,23	

¹ Corrigidas para 20 °C e UR 65 %² Cálculos de média e desvio padrão referem-se aos valores percentuais (s = desvio padrão amostral).

Fonte: Elaboração do autor

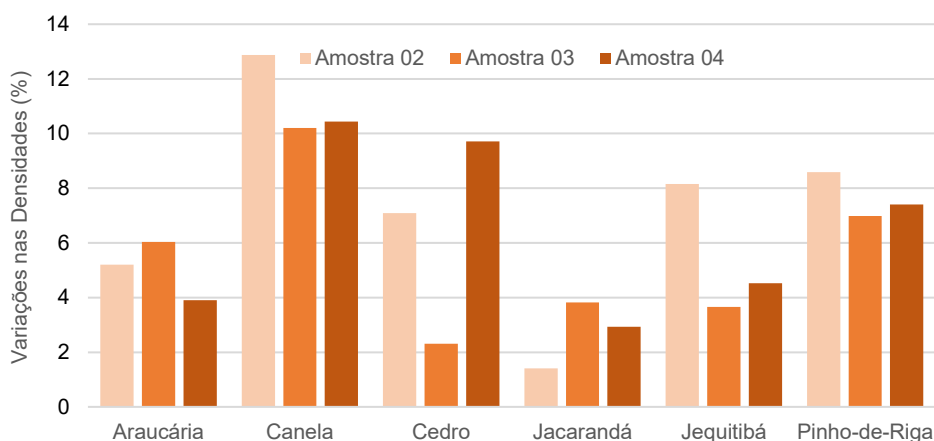
Os dados apresentados nas tabelas 7 e 8 podem ser visualizados graficamente nas figuras 21 e 22, que ilustram, respectivamente, a perda percentual de massa e a variação percentual de densidade das amostras após a queima.

Figura 21 – Gráfico da perda percentual de massa após a queima das madeiras



Fonte: Gráfico gerado pelo autor

Figura 22 – Gráfico das variações nas densidades das amostras após a queima das madeiras



Fonte: Gráfico gerado pelo autor

Para a Araucária, a perda percentual média de massa foi de 8,17 %, com um desvio padrão amostral (s) de 1,14 %, com valores variando entre 6,91 % e 9,14 %. A densidade inicial foi de 0,535 g/cm³ em média ($s = 0,005$ g/cm³), enquanto a densidade final apresentou média de 0,508 g/cm³ ($s = 0,010$ g/cm³), resultando em uma diferença média de 0,027 g/cm³ ($s = 0,006$ g/cm³), com redução percentual média de 5,05 % ($s = 1,08$ %), variando de 3,90 % a 6,04 %.

A Canela apresentou uma perda percentual média de massa de 8,83 %, com $s = 0,72$ %, oscilando entre 8,35 % e 9,66 %. Sua densidade inicial média foi de 0,525 g/cm³ ($s = 0,005$ g/cm³), enquanto a densidade final foi de 0,467 g/cm³ ($s = 0,012$ g/cm³), resultando em uma diferença média de 0,059 g/cm³ ($s = 0,007$ g/cm³) e uma redução percentual média de 11,18 % ($s = 1,48$ %), entre 10,21 % e 12,88 %.

Para o Cedro, a perda percentual média de massa foi de 9,78 %, com $s = 0,52$ %, oscilando entre 9,25 % e 10,28 %. A densidade inicial apresentou média de 0,441 g/cm³ ($s = 0,011$ g/cm³), enquanto a densidade final foi de 0,412 g/cm³ em média ($s = 0,009$ g/cm³), com

diferença média de $0,028 \text{ g/cm}^3$ ($s = 0,017 \text{ g/cm}^3$) e redução percentual média de $6,37 \%$ ($s = 3,75 \%$), variando entre $2,31 \%$ e $9,71 \%$.

O Jacarandá apresentou uma perda percentual média de massa de $7,16 \%$, com $s = 0,61 \%$, oscilando entre $6,60 \%$ e $8,08 \%$. Sua densidade inicial foi de $0,784 \text{ g/cm}^3$ em média ($s = 0,002 \text{ g/cm}^3$), enquanto a densidade final apresentou média de $0,763 \text{ g/cm}^3$ ($s = 0,008 \text{ g/cm}^3$), resultando em uma diferença de densidade média de $0,021 \text{ g/cm}^3$ ($s = 0,010 \text{ g/cm}^3$) e uma redução percentual média de $2,72 \%$ ($s = 1,22 \%$), com valores entre $1,41 \%$ e $3,82 \%$.

O Jequitibá teve uma perda percentual média de massa de $6,60 \%$, com $s = 2,55 \%$, e valores entre $4,64 \%$ e $9,48 \%$. A densidade inicial foi de $0,575 \text{ g/cm}^3$ em média ($s = 0,002 \text{ g/cm}^3$), enquanto a densidade final teve média de $0,544 \text{ g/cm}^3$ ($s = 0,012 \text{ g/cm}^3$), com diferença média de $0,031 \text{ g/cm}^3$ ($s = 0,014 \text{ g/cm}^3$) e redução percentual média de $5,44 \%$ ($s = 2,38 \%$), variando entre $3,66 \%$ e $8,15 \%$.

Por fim, o Pinho-de-Riga apresentou uma perda percentual média de massa de $9,05 \%$, com $s = 1,53 \%$, oscilando entre $7,41 \%$ e $10,44 \%$. Sua densidade inicial teve média de $0,639 \text{ g/cm}^3$ ($s = 0,009 \text{ g/cm}^3$), enquanto a densidade final foi de $0,597 \text{ g/cm}^3$ em média ($s = 0,021 \text{ g/cm}^3$). A diferença média foi de $0,042 \text{ g/cm}^3$ ($s = 0,014 \text{ g/cm}^3$), com redução percentual média de $6,59 \%$ ($s = 2,23 \%$), entre $4,19 \%$ e $8,59 \%$.

A análise dos resultados revela alguns padrões e tendências para os diferentes tipos de madeira após a queima.

Perda de Massa:

1. Tendência geral: a perda de massa absoluta varia de acordo com o tipo de madeira, com as madeiras de maior densidade inicial apresentando, em geral, maiores perdas absolutas (em gramas). Porém, a perda percentual não segue exatamente essa tendência, podendo ter sido influenciada por outros fatores, como estrutura celular.
2. Madeiras com maior perda percentual: Cedro ($9,78 \%$), Pinho-de-Riga ($9,11 \%$) e Canela ($8,83 \%$) tiveram as maiores perdas percentuais médias. Isso pode indicar uma tendência de maior volatilidade ou maior fração de material combustível em relação à estrutura total.
3. Madeiras com menor perda percentual: Jequitibá ($6,60 \%$) e Jacarandá ($7,16 \%$) tiveram as menores perdas percentuais médias. Essas madeiras podem apresentar maior resistência estrutural ou menor quantidade de material facilmente degradável durante a queima.

Densidade:

1. Redução geral de densidade: todas as madeiras analisadas apresentaram redução na densidade após a queima, com a diferença de densidade variando de 0,021 g/cm³ (Jacarandá) a 0,059 g/cm³ (Canela). Isso já era esperado, visto que a queima provoca a perda de massa por meio da degradação térmica de constituintes orgânicos da madeira, incluindo compostos voláteis, água absorvida e parte das estruturas celulares. Essa redução de massa ocorre sem alteração significativa do volume externo, resultando na diminuição da densidade aparente.
2. Tendência de redução percentual: a redução percentual de densidade foi maior em madeiras menos densas, como a Canela (11,18 %) e o Cedro (6,37 %). Madeiras mais densas, como o Jacarandá (2,72 %), apresentam menor redução percentual, indicando maior resistência à degradação.
3. Relação com a estrutura celular: madeiras com maior densidade inicial, como Jacarandá e Araucária, parecem manter melhor sua integridade estrutural após a queima, com menores variações na densidade final.

Especificidades por madeira:

1. Madeiras mais densas (Jacarandá e Araucária): apresentam menor perda percentual de massa e densidade. Essas características indicam maior resistência à combustão ou presença de componentes mais estáveis na estrutura celular.
2. Madeiras menos densas (Cedro e Canela): sofrem maior redução percentual de massa e densidade. A maior volatilidade sugere menor quantidade de material estrutural resistente ou maior fração de compostos degradáveis.

Concluindo, pode-se estabelecer como tendência relevante que madeiras de maior densidade inicial tendem a manter melhor sua integridade dimensional após a queima, apresentando menores variações percentuais de massa e densidade, enquanto madeiras menos densas demonstram maior suscetibilidade à degradação térmica e perdas percentuais mais expressivas. Além disso, os resultados indicam que a relação entre densidade e perda de massa não é linear, sendo influenciada por fatores estruturais e químicos específicos de cada espécie, como porosidade, composição de sua estrutura celular e teor de extrativos, como óleos, resinas e pigmentos.

8.3 Cálculo dos ganhos de massa e alteração das densidades após a consolidação

Quando todos os protótipos secaram após a aplicação do Paraloid® B-72, com cada um dos três solventes selecionados para sua diluição, os mesmos foram novamente pesados e o

ganho de massa foi calculado em função das massas após a queima. Estes resultados são mostrados na tabela 9. Os valores referem-se a três etapas distintas: madeira original (1), madeira queimada (2) e madeira consolidada (3). O ganho de massa absoluto (g) e o percentual de aumento (%) indicam o efeito da consolidação sobre a incorporação de material ao suporte, o que está diretamente relacionado à capacidade de penetração da solução consolidante nas estruturas porosas da madeira.

Tabela 9 – Ganho de massa após consolidação das amostras

MADEIRA	CÓDIGO ¹	MASSA (g) ²			GANHO	
		1	2	3	(g)	(%)
ARAUCÁRIA (<i>Araucaria angustifolia</i>)	AR02	43,972	40,935	42,429	1,494	3,65%
	AR03	41,910	38,080	39,430	1,350	3,55%
	AR04	43,957	40,237	41,917	1,680	4,18%
		Média ($\bar{x}$) = 3,79 %			Desvio Padrão (s) = 0,34	
CANELA (<i>Ocotea odorifera</i>)	CA02	41,696	37,670	39,231	1,561	4,14%
	CA03	41,795	38,306	39,578	1,272	3,32%
	CA04	40,932	37,457	38,951	1,494	3,99%
		Média ($\bar{x}$) = 3,82 %			Desvio Padrão (s) = 0,44	
CEDRO (<i>Cedrela fissilis</i>)	CE02	32,395	29,400	30,627	1,227	4,17%
	CE03	32,159	28,854	29,832	0,978	3,39%
	CE04	33,296	30,025	31,136	1,111	3,70%
		Média ($\bar{x}$) = 3,75 %			Desvio Padrão (s) = 0,39	
JACARANDÁ (<i>Dalbergia nigra</i>)	JD02	59,002	54,996	55,985	0,989	1,80%
	JD03	58,127	53,428	53,858	0,430	0,80%
	JD04	58,516	54,655	56,456	1,801	3,30%
		Média ($\bar{x}$) = 1,97 %			Desvio Padrão (s) = 1,26	
JEQUITIBÁ (<i>Cariniana legalis</i>)	JQ02	43,677	39,537	41,385	1,848	4,67%
	JQ03	42,600	40,178	41,461	1,283	3,19%
	JQ04	41,900	39,956	41,324	1,368	3,42%
		Média ($\bar{x}$) = 3,76 %			Desvio Padrão (s) = 0,80	
PINHO-DE-RIGA (<i>Pinus sylvestris</i>)	PR02	51,411	46,538	48,009	1,471	3,16%
	PR03	53,494	47,908	49,459	1,551	3,24%
	PR04	53,435	49,473	50,967	1,494	3,02%
		Média ($\bar{x}$) = 3,14 %			Desvio Padrão (s) = 0,11	

¹ Tratadas com Paraloid® B-72 respectivamente em (02) Acetato de Etila (10 %), (03) Acetona (10 %), (04) Xileno (10 %).

² Original, após queima e após consolidação.

³ Cálculos de média e desvio padrão referem-se aos valores percentuais, entre as amostra queimadas e consolidadas.

Fonte: Elaboração do autor

A tabela 10 apresenta os dados referentes às variações na densidade das amostras de madeira antes e depois do processo de consolidação, permitindo avaliar a eficácia do tratamento aplicado.

Tabela 10 – Densidades após consolidação

MADEIRA	CÓDIGO	DENSIDADE (g/cm ³) ¹			DIFERENÇA. ²	%
		1	2	3		
ARAUCÁRIA (<i>Araucaria angustifolia</i>)	AR02	0,538	0,510	0,518	0,008	1,58%
	AR03	0,530	0,498	0,510	0,012	2,49%
	AR04	0,538	0,517	0,538	0,021	4,09%
		Média ($\bar{x}$) = 2,79 %			Desvio Padrão (s) = 1,27	
CANELA (<i>Ocotea odorifera</i>)	CA02	0,520	0,453	0,463	0,010	2,20%
	CA03	0,529	0,475	0,486	0,011	2,28%
	CA04	0,527	0,472	0,491	0,019	4,09%
		Média ($\bar{x}$) = 2,86 %			Desvio Padrão (s) = 1,07	
CEDRO (<i>Cedrela fissilis</i>)	CE02	0,437	0,406	0,414	0,008	2,06%
	CE03	0,432	0,422	0,427	0,005	1,18%
	CE04	0,453	0,409	0,416	0,007	1,60%
		Média ($\bar{x}$) = 1,61 %			Desvio Padrão (s) = 0,44	
JACARANDÁ (<i>Dalbergia nigra</i>)	JD02	0,782	0,771	0,777	0,006	0,72%
	JD03	0,786	0,756	0,762	0,006	0,82%
	JD04	0,785	0,762	0,771	0,009	1,23%
		Média ($\bar{x}$) = 0,92 %			Desvio Padrão (s) = 0,27	
JEQUITIBÁ (<i>Cariniana legalis</i>)	JQ02	0,577	0,530	0,549	0,019	3,57%
	JQ03	0,573	0,552	0,569	0,017	3,15%
	JQ04	0,575	0,549	0,573	0,024	4,38%
		Média ($\bar{x}$) = 3,70 %			Desvio Padrão (s) = 0,63	
PINHO-DE-RIGA (<i>Pinus sylvestris</i>)	PR02	0,629	0,575	0,593	0,018	3,09%
	PR03	0,645	0,600	0,619	0,019	3,21%
	PR04	0,644	0,617	0,635	0,018	2,95%
		Média ($\bar{x}$) = 3,08 %			Desvio Padrão (s) = 0,13	

¹ Corrigidas para 20 °C e UR 65 %. Original (1), após queima (2) e após consolidação (3).

² Diferença entre a densidade após a queima e após a consolidação.

³ Cálculos de média e desvio padrão referem-se aos valores percentuais, entre as amostra queimadas e consolidadas.

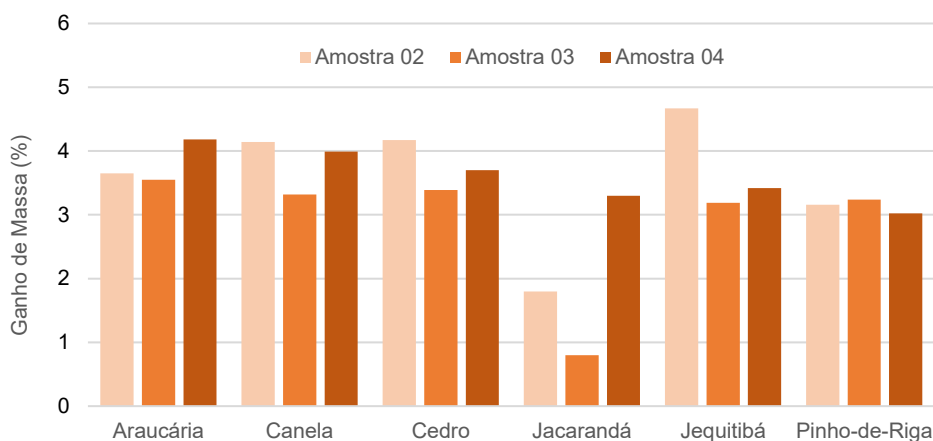
Fonte: Elaboração do autor

8.4 Tratamento dos dados após a consolidação

Nesta seção, são apresentados os tratamentos estatísticos aplicados aos dados obtidos após o processo de consolidação das amostras de madeira. As análises consideraram o ganho percentual de massa e a variação percentual de densidade, calculados com base na média aritmética e no desvio padrão amostral (s), com o objetivo de avaliar a eficácia das formulações de Paraloid® B-72 utilizadas em diferentes espécies.

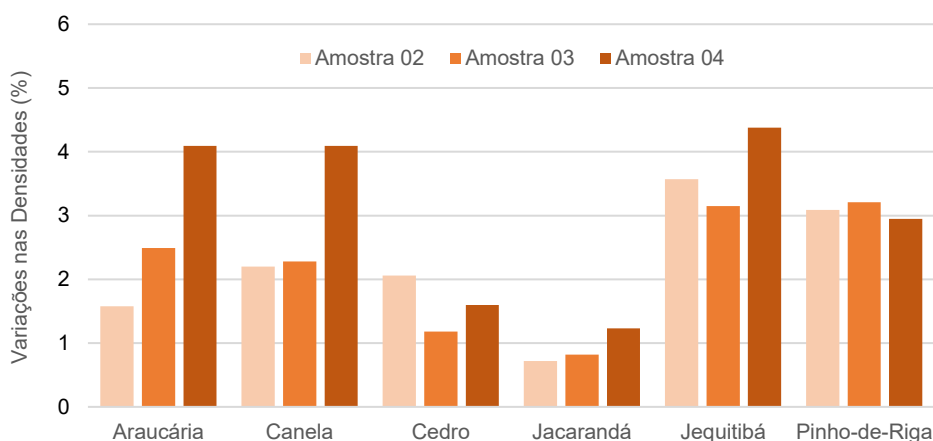
Os dados apresentados nas tabelas 9 e 10 podem ser visualizados graficamente nas figuras 23 e 24, que ilustram, respectivamente, o ganho percentual de massa e a variação percentual de densidade das amostras após a consolidação.

Figura 23 – Gráfico do ganho percentual de massa após a consolidação das madeiras



Fonte: Gráfico gerado pelo autor

Figura 24 – Gráfico das variações nas densidades após a consolidação das madeiras



Fonte: Gráfico gerado pelo autor

Como pode ser visto nos dados apresentados, as madeiras de Canela, Cedro, Jequitibá e Araucária apresentaram os maiores ganhos percentuais de massa, com médias variando entre 3,75 % e 3,83 %, enquanto o Jacarandá obteve o menor ganho percentual, com média de 1,97 % ($s = 1,26$ %). Essa variação pode estar relacionada à porosidade intrínseca de cada espécie, que influencia diretamente a absorção do consolidante: madeiras mais porosas tendem a incorporar maior volume de solução, enquanto estruturas mais densas e compactas, como a do Jacarandá, limitam a penetração.

No que se refere à variação percentual de densidade após a consolidação, o Jacarandá também apresentou os menores aumentos, com média de 0,92 % ($s = 0,27$ %). Por outro lado, as maiores variações foram observadas no Jequitibá (3,70 %), Canela (2,86 %), Araucária (2,72 %) e Pinho-de-Riga (3,08 %). De forma geral, identificou-se uma correlação positiva entre o ganho de massa e o aumento de densidade, indicando a absorção do consolidante pelas amostras.



Em todos os casos, independentemente da formulação utilizada de Paraloid® B-72, houve ganho de massa e aumento da densidade, confirmando a efetividade do tratamento consolidante. Considerando que a quantidade aplicada foi de aproximadamente 1 g por protótipo (seção 8.3.2), é possível afirmar que todo o produto foi incorporado à madeira, embora não seja possível determinar se ocorreu penetração efetiva nos poros e fissuras ou apenas deposição superficial. O aumento de densidade pode contribuir para a estabilidade mecânica das amostras, embora a absorção excessiva possa ocasionar rigidez indesejada, tornando a madeira mais suscetível à formação de trincas. Uma avaliação mais precisa da distribuição do consolidante, por meio de técnicas instrumentais como microscopia óptica ou eletrônica, não foi realizada nesta etapa, mas se apresenta como recomendação para estudos futuros que visem compreender a penetração real do Paraloid® B-72 nas estruturas internas da madeira carbonizada.

A avaliação da recuperação da densidade, considerando a densidade original como 100 %, permite estimar a efetividade do tratamento para cada espécie. Nenhuma amostra recuperou integralmente sua densidade inicial, com exceção da Araucária tratada com Paraloid® B-72 diluído em Xileno, que apresentou recuperação total (100 %). Essa diferença de desempenho pode estar associada a três fatores principais:

- Porosidade: madeiras mais porosas absorvem maior volume de consolidante, favorecendo a recuperação da densidade.
- Eficiência do solvente: a interação entre solvente e substrato influencia a penetração e fixação do Paraloid® B-72.
- Grau de degradação após a queima: perdas estruturais severas dificultam a reincorporação de massa e a recomposição da densidade.

A tabela 11 agrupa os resultados por solvente, permitindo observar os efeitos específicos de cada formulação nas diferentes madeiras.

A Araucária teve ótima recuperação com todos os solventes, destacando-se a amostra tratada com Xileno, que alcançou 100 % da densidade original. Isso sugere uma boa compatibilidade entre a estrutura da madeira e os três solventes testados.

A Canela apresentou os menores índices de recuperação (entre 89 % e 93 %), com melhor desempenho do Xileno e pior resultado com Acetato de Etila. Esse comportamento pode indicar limitações na penetração do consolidante, possivelmente devido à baixa porosidade ou estrutura menos favorável.



No Cedro, a Acetona proporcionou a maior recuperação ($\approx 99\%$), enquanto os demais solventes tiveram desempenhos inferiores. Isso pode indicar que a Acetona tem maior capacidade de interação com essa madeira.

O Jacarandá apresentou recuperações elevadas em todas as amostras, entre 96 % e 98 %, com pequena variação entre os solventes. A leve vantagem do Xileno sugere que a estrutura do Jacarandá responde de maneira uniforme à consolidação.

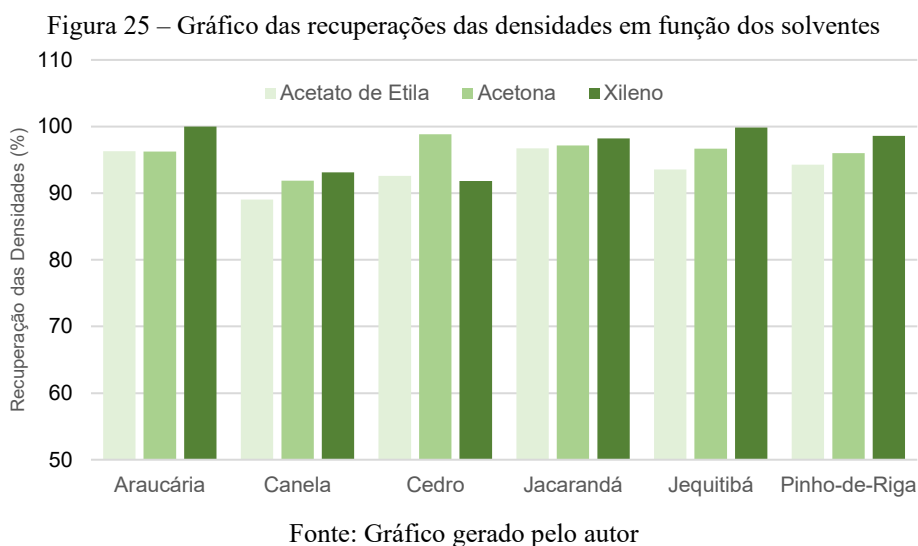
O Jequitibá obteve resultados expressivos, especialmente com Xileno (99,83 %) e Acetona, enquanto o Acetato de Etila teve o pior desempenho. O comportamento semelhante foi observado no Pinho-de-Riga, que também respondeu melhor ao Xileno e à Acetona.

Tabela 11 – Recuperação das densidades em função do valor original

MADEIRA	CÓDIGO	SOLVENTE	RECUPERAÇÃO DA DENSIDADE (%)
ARAUCÁRIA	AR02	Acetato de Etila	96.28
	AR03	Acetona	96.23
	AR04	Xileno	100.00
CANELA	CA02	Acetato de Etila	89.04
	CA03	Acetona	91.87
	CA04	Xileno	93.15
CEDRO	CE02	Acetato de Etila	92.61
	CE03	Acetona	98.85
	CE04	Xileno	91.83
JACARANDÁ	JD02	Acetato de Etila	96.72
	JD03	Acetona	97.18
	JD04	Xileno	98.22
JEQUITIBÁ	JQ02	Acetato de Etila	93.57
	JQ03	Acetona	96.67
	JQ04	Xileno	99.83
PINHO-DE-RIGA	PR02	Acetato de Etila	94.28
	PR03	Acetona	96.01
	PR04	Xileno	98.60

Fonte: Elaboração do autor

Os resultados também estão representados graficamente na figura 25, que permite uma visualização comparativa clara da eficácia dos solventes para cada madeira.



É possível concluir que o Xileno foi o solvente mais eficaz para a maioria das madeiras testadas, especialmente Araucária, Jequitibá e Pinho-de-Riga. A Acetona também apresentou bons resultados, destacando-se no Cedro. Por outro lado, o Acetato de Etila teve menor eficácia em diversas espécies, notadamente Canela e Jequitibá.

Esses dados reforçam a importância de considerar as características estruturais de cada madeira na escolha do solvente. Espécies como Araucária e Jequitibá apresentaram compatibilidade elevada com o Xileno, enquanto Cedro e Jacarandá responderam bem à Acetona. A Canela, por sua vez, mostrou dificuldades em recuperar a densidade, independentemente do solvente utilizado, podendo demandar ajustes no método ou uso de formulações alternativas. Esses comportamentos podem estar relacionados não apenas à porosidade da madeira, mas também às propriedades físico-químicas dos solventes utilizados, como a taxa de evaporação, a tensão superficial e a viscosidade, que influenciam diretamente a difusão do solvente, a capilaridade e, consequentemente, a profundidade de penetração da solução consolidante³⁴. Este pode ser um indicativo de que a escolha do solvente deve levar em consideração o tipo de madeira utilizada pelo artista na confecção da obra a ser restaurada.

³⁴ A eficácia da consolidação com Paraloid® B-72 está diretamente relacionada às propriedades físico-químicas do solvente utilizado. A velocidade de evaporação determina o tempo disponível para a penetração do consolidante: solventes com evaporação muito rápida, como a Acetona, tendem a secar antes de infiltrar-se em profundidade, enquanto solventes mais lentos, como o Xileno, favorecem maior tempo de ação e penetração. A tensão superficial afeta a capacidade do líquido de *molhar* a madeira; tensões superficiais mais baixas favorecem a difusão do solvente pelos capilares do material. Já a viscosidade está associada à fluidez da solução: quanto menor a viscosidade, maior a capacidade de infiltração, especialmente em substratos porosos. O equilíbrio entre essas variáveis é crucial para otimizar a distribuição do consolidante nas estruturas internas da madeira e garantir estabilidade sem excesso superficial.

Dado que o processo de consolidação não teve a mesma eficiência em todas as espécies, recomenda-se que futuros estudos explorem análises microscópicas para entender a distribuição do consolidante e testem novas combinações de solventes e concentrações, com o objetivo de otimizar a absorção e a estabilidade estrutural das madeiras tratadas.

8.5 Avaliação qualitativa da superfície consolidada

Com o objetivo de observar qualitativamente as alterações superficiais provocadas pela consolidação, foi realizado um teste simples de molhabilidade³⁵ utilizando gotas de água aplicadas diretamente sobre a superfície dos protótipos de madeira carbonizada, antes e após o tratamento com Paraloid® B-72.

Nos protótipos não consolidados, as gotas foram rapidamente absorvidas, indicando elevada porosidade e boa molhabilidade, favorecida pela presença de fissuras, cavidades e degradação estrutural causada pelo processo de queima. Após a aplicação do Paraloid® B-72, observou-se a formação de um filme superficial que dificultou significativamente a penetração da água, como evidenciado pela permanência da gota sobre a superfície, mantendo um ângulo de contato visivelmente maior.

Esse comportamento sugere que o consolidante atuou de forma eficaz na selagem dos poros, fissuras e rachaduras superficiais dos protótipos, reduzindo a rápida absorção da água. A película polimérica formada pelo Paraloid® B-72 cria uma barreira física que limita a interação da água com a estrutura interna da madeira. Assim, a molhabilidade é consideravelmente reduzida, o que pode ser visualmente interpretado pela forma quase esférica da gota de água sobre a superfície tratada – um comportamento típico de líquidos com alta tensão superficial, como a água, sobre superfícies menos porosas ou tratadas.

Esse teste é ilustrado na figura 26, que mostra o comportamento da gota de água antes da consolidação e após a primeira aplicação de Paraloid® B-72. Observa-se uma progressiva redução da molhabilidade, refletida no aumento do ângulo de contato e na permanência da gota sobre a superfície. Esse fenômeno é comparável ao descrito por *Wood Handbook* (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999, p. 9-3), em que superfícies de madeira alteradas por secagem excessiva ou tratamentos térmicos também apresentam redução na molhabilidade devido à migração de extrativos e fechamento dos microporos. No presente caso, a modificação

³⁵ Molhabilidade é a condição de uma superfície que determina a velocidade com que um líquido irá molhar e se espalhar sobre ela, ou se será repellido e não se espalhará. (FOREST PRODUCTS LABORATORY, *Glossary*, 1999, p. G-13).

é intencional, com o objetivo de reforçar estruturalmente os protótipos degradados e estabilizar suas superfícies.

Figura 26 – Teste de molhabilidade com gotas d'água
(a) aplicação; (b) antes da consolidação; (c) após aplicação de Paraloid® B-72



Fonte: Fotos do autor

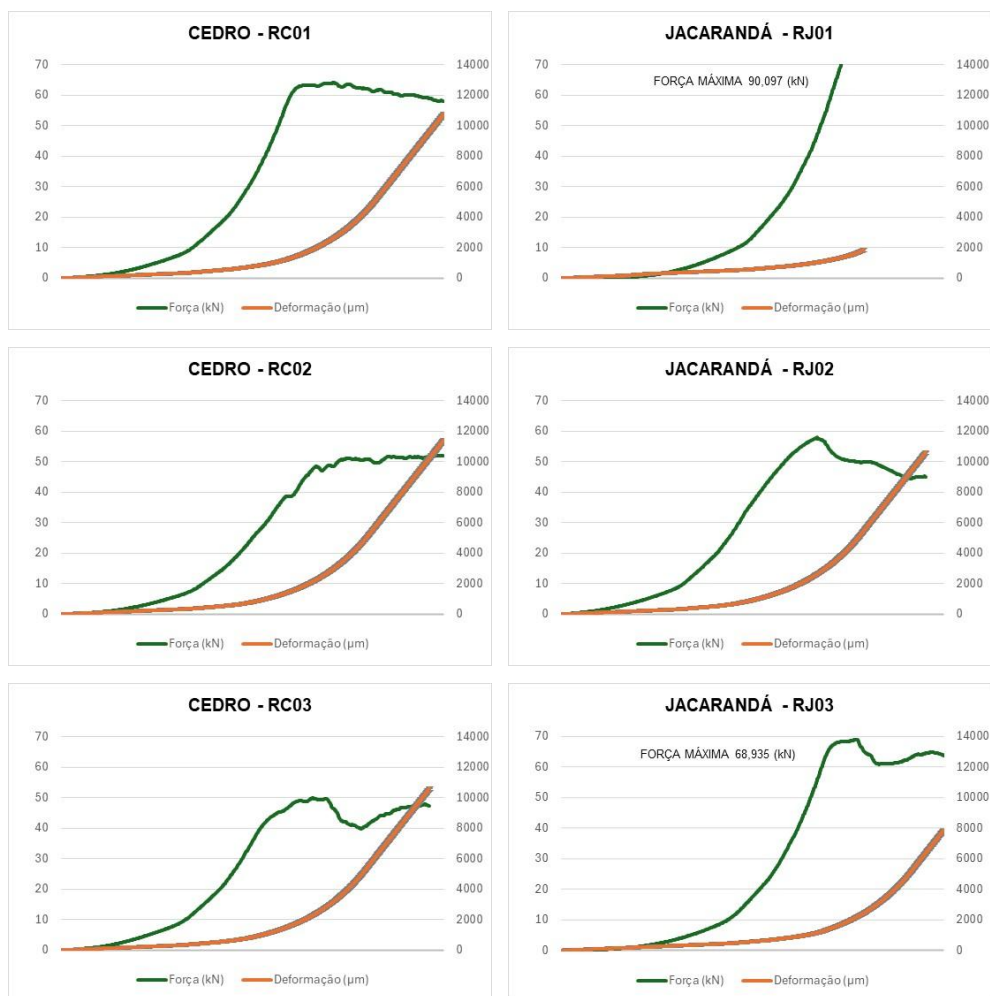
8.6 Resultados dos testes de resistência

A seguir é apresentada uma análise comparativa detalhada dos resultados obtidos nos testes de resistência (ensaios de compressão) realizados com amostras de duas espécies de madeira: Cedro e Jacarandá. As amostras foram submetidas a testes em três condições distintas: madeira original, madeira queimada e madeira queimada consolidada com Paraloid® B-72 dissolvido em Xileno. O objetivo foi avaliar a influência da degradação pela queima e da consolidação com o Paraloid® B-72 sobre a resistência e rigidez dos materiais.

O equipamento utilizado para os testes forneceu relatórios automáticos, contendo gráficos de força e deformação e tabelas com valores de tensão, deformação e módulo de elasticidade, calculados pelo seu próprio *software*. Além disso, foram fornecidos dados brutos, utilizados posteriormente para o cálculo manual de parâmetros mecânicos. Usando estes dados, com valores de tensão aplicada ponto a ponto ao longo do tempo e as deformações correspondentes causadas, foram gerados os gráficos mostrados na figura 27.

Os gráficos de força versus deformação obtidos para as amostras de Cedro e Jacarandá, em três diferentes condições (sem tratamento, queimada e consolidada), evidenciam os efeitos da degradação térmica e da consolidação com Paraloid® B-72 na resistência mecânica dessas madeiras.

Figura 27 – Gráficos de força e deformação ao longo do tempo



Fonte: Gráficos gerados pelo autor

Para o Cedro, a amostra sem tratamento suportou uma força máxima de 64,046 kN, servindo como referência de resistência original da madeira. A amostra queimada suportou 52,024 kN, confirmando a perda de resistência provocada pela queima. Já a amostra consolidada apresentou uma força máxima ligeiramente inferior, de 49,815 kN. No entanto, diferentemente do que se esperaria em uma simples análise da força, a deformação foi visivelmente menor do que nas demais amostras. Esse comportamento indica que, embora a madeira consolidada não tenha suportado a maior carga, ela apresentou um aumento na rigidez. Foi evidenciada neste caso a ruptura do corpo de prova em uma fenda natural da madeira, o que pode ter provocado este resultado.

Para o Jacarandá, a amostra sem tratamento atingiu uma força máxima de 90,097 kN, valor que corresponde ao limite do equipamento, indicando que não houve falha do material dentro da capacidade da máquina. Esse comportamento demonstra a alta rigidez e resistência natural do Jacarandá. Na amostra queimada, observou-se uma força máxima de 57,908 kN,

evidenciando uma queda significativa na resistência em decorrência da ação do fogo, que compromete a integridade estrutural da madeira. A amostra consolidada atingiu 68,935 kN, apresentando uma recuperação considerável da resistência, embora ainda inferior ao material original. A consolidação com Paraloid® B-72, portanto, teve um efeito relevante no reforço estrutural do Jacarandá degradado.

Os resultados comprovam que a queima reduz a resistência mecânica das madeiras avaliadas. Para ambas as espécies, a consolidação com Paraloid® B-72 proporcionou recuperação parcial da resistência. No caso do Jacarandá, esse ganho foi mais expressivo, evidenciando que o material consolidado suporta cargas significativamente superior à amostra queimada. Já no Cedro, a consolidação não resultou em aumento da força máxima, mas promoveu redução da deformação, o que indica uma melhoria no comportamento estrutural e aumento da rigidez. O conjunto dos gráficos demonstra, portanto, que o tratamento de consolidação é uma técnica promissora para recuperação de madeiras históricas ou degradadas, com variações de desempenho de acordo com as características específicas de cada espécie.

Conforme definido por Roark e Young (1965, p. 9) e Hibbeler (2010, p. 63), o Módulo de Elasticidade, também conhecido como Módulo de Young, é uma medida da rigidez de um material sólido. Ele representa a capacidade do material de resistir à deformação elástica quando submetido a uma tensão. Matematicamente, é definido como:

$$E = \sigma / \varepsilon \quad (6)$$

onde:

E = módulo de elasticidade, Mpa,

σ = tensão aplicada, Mpa,

ε = deformação específica, adimensional

Os relatórios automáticos apresentam valores de módulo de elasticidade diferentes (apesar de estarem na mesma ordem de grandeza) dos obtidos manualmente. Estas diferenças podem ser devido ao *software* realizar os cálculos com base na inclinação da curva, usando técnicas de regressão. Neste trabalho, os valores de tensão máxima e deformação correspondente (fornecidos em um relatório simplificado do equipamento) foram utilizados para calcular uma razão empírica entre essas grandezas, com o objetivo de permitir comparações relativas entre as amostras testadas. Embora essa abordagem não represente o verdadeiro módulo de elasticidade obtido por regressão linear na região elástica, ela oferece uma estimativa prática da rigidez das amostras no ponto de ruptura.

Em contextos de compressão, valores negativos de ε indicam contração do material, mas, para análise comparativa, foram considerados os valores absolutos. A partir dos relatórios foram extraídos os valores de tensão máxima e deformação específica correspondente. Para fins

comparativos, foram extraídos dos relatórios os valores de tensão máxima e a deformação específica correspondente. Com base nesses dados, foi calculada uma razão empírica entre tensão e deformação no ponto de ruptura, representando uma estimativa da rigidez global das amostras. Essa abordagem oferece uma medida prática para comparar o comportamento mecânico entre diferentes amostras. A tabela 12 mostra os resultados obtidos.

Tabela 12 – Resultados dos testes de resistência

	CÓDIGO	CONDIÇÃO	TENSÃO (MPa)	DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA (%)	MÓDULO DE ELASTICIDADE (MPa) ¹
CEDRO	RC01	Original	40	5.28	757.6
	RC02	Queimada	33	22.17	148.8
	RC03	Consolidada	31	4.60	673.9
JACARANDÁ	RJ01	Original	56	3.71	1509.4
	RJ02	Queimada	36	5.26	684.4
	RJ03	Consolidada	43	4.43	970.2

¹ Resultados calculados manualmente por $E = \sigma / \varepsilon$ (não representa o verdadeiro módulo de elasticidade).

Fonte: Elaboração do autor

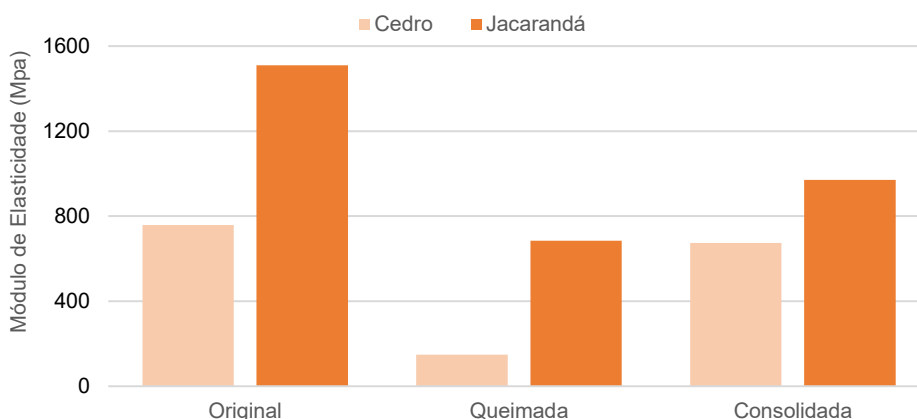
Em uma análise comparativa, em relação à resistência à compressão (tensão máxima), o Jacarandá original demonstrou a maior resistência entre todas as amostras (56 MPa), superando o Cedro original (40 MPa) em 40 %. Ambas as madeiras perderam resistência após a queima, sendo que no Cedro esta perda representou uma queda de 17,5 % e no Jacarandá 35,7%. A consolidação com Paraloid® B-72 recuperou parte da resistência, de 76,8 % no Jacarandá. No Cedro, esta recuperação não foi evidenciada no valor da força aplicada.

Em relação à rigidez das amostras, avaliada aqui pela razão entre a tensão máxima e a deformação específica correspondente, o Jacarandá original apresentou os maiores valores (1.509 MPa), quase o dobro do Cedro (758 MPa). Embora esse cálculo não represente o módulo de elasticidade no sentido estrito, ele oferece uma estimativa comparativa de rigidez entre as amostras. Para o Cedro esta redução foi de 80,4%, enquanto para o Jacarandá foi de 54,6 %. A consolidação teve impacto positivo em ambas as madeiras, sendo que o Jacarandá recuperou 64,3 % de sua rigidez original e o Cedro 88,9 %.

A madeira queimada apresentou grande redução de rigidez. Considerando o módulo de elasticidade das madeiras queimadas, o efeito da consolidação com Paraloid® B-72 no Cedro reduziu significativamente a deformação e melhorou a rigidez, passando de 148,8 para 673,9 MPa. No Jacarandá, o efeito também foi expressivo: aumento de 684,4 para 970,2 MPa, restabelecendo boa parte do desempenho original.

O gráfico da figura 28 ilustra as variações nos módulos de elasticidade nas duas madeiras e os efeitos da queima e da consolidação. É possível concluir que a degradação por queima impacta negativamente ambas as madeiras, com maior severidade no Cedro. A consolidação com Paraloid® B-72 demonstrou ser uma técnica adequada para a recuperação parcial da resistência mecânica.

Figura 28 – Módulo de Elasticidade Estimado por Condição e Madeira



Fonte: Gráfico gerado pelo autor

Para uma análise mais completa, parâmetros como tenacidade – que avaliam a capacidade de absorção de energia até a ruptura – poderiam ser explorados em trabalhos futuros, considerando a natureza frágil das madeiras carbonizadas.

9 CONSOLIDAÇÃO DA OBRA

A escultura de Santo Antônio, fortemente impactada pela ação do fogo, carrega consigo não apenas os danos físicos, mas também as marcas da comoção e do sentimento de perda que atingiram a comunidade.

Os estudos realizados para fundamentar a proposta de tratamento permitiram compreender a relevância da originalidade da obra e a importância da retratabilidade no processo de conservação e restauração. A análise de intervenções similares em esculturas carbonizadas contribuiu para a definição de procedimentos que respeitam tanto os aspectos materiais da peça quanto sua função litúrgica, visando a reintegração visual sem comprometer sua historicidade. A abordagem adotada teve como propósito não apenas restituir a integridade física da escultura, mas também possibilitar que ela continue a cumprir seu papel no contexto religioso e cultural da comunidade. O restauro de bens devocionais deve considerar a carga afetiva associada a esses objetos, garantindo que a relação de fé dos devotos com a imagem seja preservada e fortalecida.

A obra passou por diversas etapas de intervenções, abrangendo aquelas feitas no suporte e na policromia, como descrito resumidamente a seguir:

- Fixação da policromia: nas áreas do douramento do capuz, barra inferior do manto e punho direito.
- Proteção da policromia (faceamento): dos esgrafiados na barra da túnica vermelha.
- Higienização: limpeza mecânica da sujidade superficial (poeira, resíduos e particulados) em toda escultura.
- Tratamento das galerias feitas por insetos: retirada do fechamento das galerias no caimento do manto no braço direito e preenchimento com Paraloid® B-72.
- Consolidação das áreas carbonizadas: nas áreas carbonizadas com aplicação de Paraloid® B-72 em Xileno³⁶, em toda escultura.
- Complementação estrutural: nas perdas no suporte na lateral esquerda do livro, na mão esquerda da imagem, na parte central do cabelo e punho direito do manto, com massa de serragem.
- Consolidação de rachaduras, fissuras e aberturas: em todas as rachaduras, fissuras e aberturas onde as mesmas possuíam abertura suficiente para aplicação de massa de serragem.
- Complementação estrutural/estética: para a área do manto que apresenta a perda por carbonização, com modelagem com massa de serragem pigmentada.
- Complementação estrutural/estética: do pé esquerdo, com modelagem em massa Epóxi.
- Complementação estrutural/estética: da base, com aplicação de massa de serragem e PVA, seguido de um bloco de madeira.
- Limpeza química: realizada com solventes para a retirada da fuligem e sujidades mais aderentes.
- Retirada do faceamento: usando um *swab* com Água Deionizada para umedecer a entretela.
- Nivelamento: aplicadas massas de nivelamento nas áreas onde houve consolidação do suporte com massa de serragem e perda da camada pictórica.
- Pigmentação da base: para proteger a complementação estrutural da base e fazer sua complementação estética, foi aplicada sobre o novo bloco uma solução de Paraloid®

³⁶ Ver justificativa na Seção 2.1.

B-72 em Xileno, colorizado em uma tonalidade vermelha próxima do restante da base.

- Restauração pictórica: realizada em todas as áreas onde foram aplicadas massas de nivelamento e também em áreas de lacunas muito pequenas ou superficiais, onde a massa não iria aderir.
- Camada de proteção: feita a aplicação de uma camada de verniz como forma de garantir propriedades óticas de brilho e saturação cromática e proteção à obra.

A seguir, é detalhado somente o processo de consolidação das áreas carbonizadas da escultura, foco deste trabalho. O relatório detalhado de todo o processo de restauração de Santo Antônio está em anexo.

A consolidação de áreas carbonizadas em esculturas policromadas representa um dos maiores desafios na conservação de bens móveis afetados pelo fogo. A madeira carbonizada apresenta perda significativa de coesão, elevada fragilidade estrutural e baixa capacidade de adesão, o que exige soluções específicas para garantir sua estabilização sem comprometer as características originais da obra. Nesse tipo de intervenção, é fundamental garantir tanto a segurança estrutural quanto a preservação estética da peça. Além disso, a consolidação deve respeitar os princípios da reversibilidade e da mínima intervenção, sendo conduzida com materiais compatíveis, testados e documentados. O tratamento de áreas carbonizadas requer também sensibilidade técnica para não acentuar ainda mais a perda de informação histórica e artística.

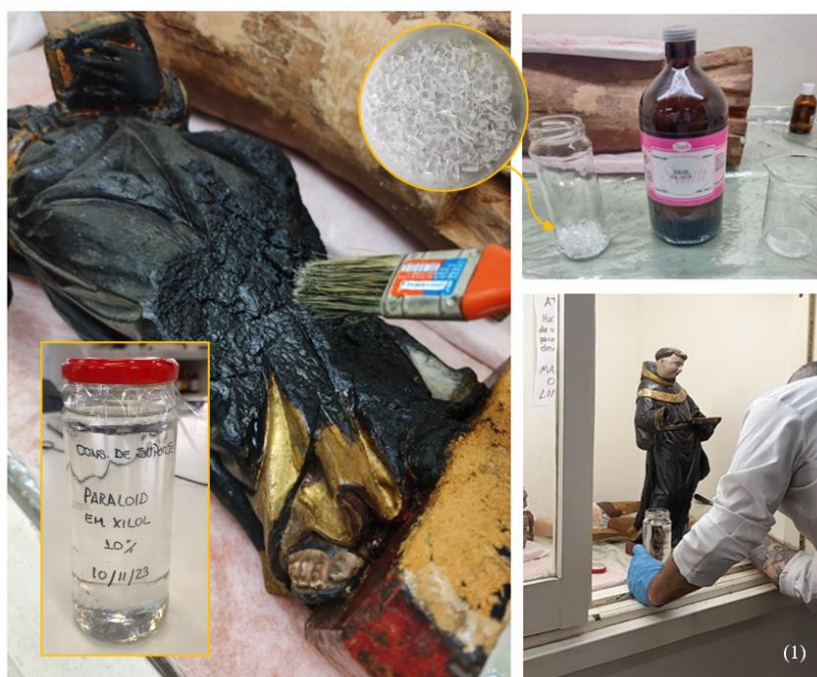
Como dito anteriormente, o processo ideal de consolidação deveria abranger uma pesquisa inicial para definir qual o melhor consolidante para as áreas atingidas pelo fogo. Entretanto, diante do recorte abordado e referências de procedimentos anteriores, foi utilizado o Paraloid® B-72 diluído em Xileno, por ser um consolidante tradicionalmente usado em restauração.

Nas áreas da escultura danificadas pelo fogo foi aplicado Paraloid® B-72 diluído em Xileno a 10 %, usando uma trinchinha Nº. 1 de cerdas macias. A aplicação foi finalizada com a escultura na posição horizontal para garantir que a solução de Paraloid® B-72 penetrasse mais profundamente na madeira carbonizada, possibilitando o enrijecimento das áreas fragilizadas. Para o preparo do Paraloid® B-72 foram pesados 30 g de grânulos, transferidos para um recipiente de vidro com tampa e adicionados 30 mL de Xileno p.a.. A mistura foi agitada por alguns minutos com o uso de um bastão de vidro. Após o fechamento do recipiente, ele foi deixado em repouso por aproximadamente 12 horas para diluição completa. Este procedimento

e a posterior aplicação na obra foi realizado dentro de capela, com o uso de máscara contra vapores orgânicos. O preparo e a aplicação são mostrados na figura 29.

Dando seguimento à consolidação das áreas carbonizadas, foi preparada uma massa de serragem usando serragem fina e PVA diluído em Água Deionizada, na proporção de 1:1. A adição de PVA à serragem foi feita até se obter uma massa com a textura de areia molhada. A esta massa foi acrescentada uma pequena porção de pigmento preto, para que a mesma tivesse a tonalidade aproximada à da madeira carbonizada e das vestes da figura de Santo Antônio. Esta massa de consolidação foi aplicada em camadas finas, prensadas pouco a pouco com o uso de uma espátula, em todas as áreas carbonizadas, incluindo o manto, cinto, livro e mão esquerda. Esta consolidação possibilitou a vedação das fendas e orifícios oriundos da carbonização. Esta mesma massa foi usada também para modelar a parte superior do dedo indicador da mão esquerda. A figura 30 mostra detalhes da massa usada e da aplicação na escultura.

Figura 29 – Preparo e aplicação de Paraloid® B-72



Fonte: Foto Gabriel Nobre (1) / demais fotos do autor

Figura 30 – Aplicação de massa de serragem com pigmento



Fonte: Foto Gabriel Nobre (1) / demais fotos do autor

Esta etapa do trabalho foi continuada até a recuperação máxima possível do volume das vestes. Seguindo as mesmas diretrizes usadas na restauração do coroamento do para-vento da Igreja de Nossa Senhora do Carmo, Mariana/MG, citado por Ramos (2017, p. 92), as linhas mestras da escultura foram refeitas baseado na continuidade do relevo e das dobras do panejamento interrompido pela carbonização. Esta complementação respeitou o limite da policromia do manto não afetada pelo fogo. A aplicação da massa foi feita da direita para a esquerda e de cima para baixo, respeitando a volumetria da talha. Após cada aplicação da massa e sua secagem, toda área foi polida usando uma lixa adaptada a uma micro retífica e lixamento manual com lixa (grau 150 e 600). Em seguida, foi feita a aplicação de Paraloid® B-72 diluído em Acetona a 3 %, usando uma trincha N°. 1 de cerdas macias. Esta aplicação permitiu a proteção da área consolidada e a visualização de falhas na aplicação da massa de serragem pigmentada, aumentando o contraste das áreas carbonizadas. Nestas áreas foi feito um acabamento com uma nova massa pigmentada, com serragem mais fina e PVA diluído em Água Deionizada, na proporção de 1:1. O acabamento final foi dado com a lixa fina e aplicação de mais Paraloid® B-72 diluído em Acetona a 3%, apenas para formar um filme de proteção até a conclusão de toda a restauração. O processo e o resultado final da recuperação da volumetria do manto é mostrado na figura 31.

Figura 31 – Recuperação da volumetria do manto (etapa 1)



Fonte: Fotos do autor

Em uma nova etapa de intervenções, novas camadas de massa pigmentada, com serragem mais fina e PVA diluído em Água Deionizada, na proporção de 1:1, foram aplicadas, em sucessivos processos de aplicação e lixamento com lixa fina (grau 320) e lima diamantada, de forma a se conseguir um acabamento mais liso e uniforme no manto. Nas áreas com maior textura, foram aplicadas quatro novas camadas em semanas seguidas. Finalmente, uma massa contendo uma maior proporção de adesivo (PVA) foi aplicada e lixada usando a lixa adaptada a uma micro retífica, até se obter o acabamento desejado. O processo de acabamento final de consolidação do manto é mostrado na figura 32.

Figura 32 – Recuperação da volumetria do manto (etapa 2)



Fonte: Fotos do autor

Para além dos resultados técnicos obtidos, é importante reconhecer que a restauração da imagem de Santo Antônio representa também uma forma de reparação simbólica e afetiva para a comunidade. A presença da imagem restaurada, agora preservada e reintegrada, contribui para a continuidade dos vínculos espirituais e culturais construídos ao longo de gerações. O restauro não apenas resgatou as qualidades materiais da obra, mas também reafirmou sua função como objeto de devoção, memória e identidade coletiva, especialmente em um contexto onde a ausência de registros históricos formais é compensada pela força da tradição oral e do afeto popular. Todo o processo de restauro da imagem de Santo Antônio levou um ano e dez meses para sua conclusão. Após a aplicação do Paraloid® B-72 diluído em Xileno a 10 %, como consolidante das áreas carbonizadas, se passaram doze meses. Como demonstrado nos estudos acima, este consolidante recupera de forma bastante significativa a rigidez e integridade da madeira danificada pelo fogo. A prática com a escultura pode comprovar que o resultado deste tipo de consolidação foi bastante satisfatório para a obra em questão. A figura 33 mostra o estado atual da obra após todas as intervenções propostas e realizadas.

Figura 33 – Resultado final das intervenções



Fonte: Fotos do autor

10 CONCLUSÕES

A presente pesquisa teve como objetivo central analisar a consolidação do suporte de uma escultura devocional com representação de Santo Antônio, confeccionada em madeira talhada e policromada e danificada por um incêndio, atentando-se, especialmente, para os aspectos estruturais da madeira carbonizada e a eficácia de intervenções consolidadoras. A abordagem metodológica adotada, fundamentada em princípios técnicos e teóricos da conservação-restauração, seguiu diretrizes éticas e científicas alinhadas às teorias de restauro, privilegiando não apenas a materialidade da obra, mas também sua capacidade simbólica e comunicacional no contexto devocional.

A investigação experimental, conduzida com protótipos de madeiras historicamente utilizadas em esculturas do século XVIII, permitiu a avaliação criteriosa do comportamento físico-mecânico das madeiras antes e após a carbonização, bem como a análise do desempenho de diferentes composições de consolidantes aplicados. A escolha do Paraloid® B-72, amplamente referenciado em estudos técnicos da área, possibilitou uma comparação entre formulações com solventes distintos — Xileno, Acetona e Acetato de Etila — com o intuito de determinar sua penetração, coesão e recuperação da densidade original das madeiras.

Os resultados obtidos revelaram que a consolidação com Paraloid® B-72 foi eficaz em todas as espécies de madeiras testadas, com destaque para a Araucária e o Jequitibá, que apresentaram recuperação de densidade superior a 99 % quando consolidadas com a formulação



em Xileno. Ainda que a Canela tenha mostrado menor eficiência na recuperação da densidade, o tratamento foi suficiente para conferir estabilidade estrutural mínima às amostras. Além disso, os testes de resistência por compressão comprovaram que, apesar da significativa perda de rigidez decorrente da carbonização, houve uma recuperação parcial notável após a aplicação do consolidante, especialmente nas amostras de Jacarandá, que demonstraram aumento expressivo do módulo de elasticidade.

No caso da escultura devocional de Santo Antônio, os procedimentos adotados foram embasados tanto pela pesquisa experimental quanto pelas diretrizes técnicas da conservação. A consolidação das áreas carbonizadas com Paraloid® B-72 diluído a 10 % em Xileno mostrou-se adequada e compatível com o substrato, contribuindo para a estabilização das zonas fragilizadas e permitindo intervenções posteriores, como a complementação volumétrica e a reintegração pictórica. A escolha de técnicas minimamente invasivas, a busca pela retratabilidade e a consideração do valor simbólico da obra foram elementos fundamentais que nortearam a intervenção.

Conclui-se, portanto, que a combinação entre investigação científica, testes empíricos e reflexão teórica é imprescindível para o desenvolvimento de protocolos técnicos aplicáveis à restauração de bens culturais afetados pelo fogo. A proposta metodológica apresentada neste trabalho pode ser replicada e aprimorada em futuras pesquisas e intervenções similares, contribuindo para o avanço do campo da conservação e restauração no tratamento de madeiras carbonizadas.

Entretanto, destaca-se a importância da continuidade da pesquisa por meio da realização de novos ensaios com diferentes tipos de consolidantes, inclusive de base natural ou híbrida, bem como o uso de solventes alternativos menos tóxicos. Além disso, torna-se necessário investigar outras metodologias de aplicação – como injeção, gotejamento controlado ou imersão parcial – com o objetivo de ampliar a eficiência de penetração em substratos com diferentes níveis de degradação. Testes complementares de resistência, incluindo análises mecânicas de flexão, tração e fadiga, também devem ser considerados para aprofundar a compreensão do comportamento físico da madeira consolidada ao longo do tempo. Tais investigações futuras contribuirão significativamente para a construção de um repertório técnico mais robusto e seguro, assegurando tratamentos eficazes e compatíveis com a conservação do patrimônio cultural.

A interdisciplinaridade entre história da arte, biologia vegetal e ciência da conservação demonstrou-se crucial também em estudos anteriores. Segundo Nabais e Rodrigues (2014, p. 60), a identificação das espécies lenhosas revelou padrões históricos de uso das madeiras em



função de suas propriedades e da disponibilidade regional, tornando-se um fator central no planejamento de ações conservativas e na compreensão da trajetória simbólica e material das esculturas.



BIBLIOGRAFIA

- ABRACOR (Brasil). Universidade Federal do Rio de Janeiro (org.). **Banco de Dados:** materiais empregados em conservação-restauração de bens culturais. 2. ed. Rio de Janeiro: Vitae, 2011. 373 p. Organização: SLAIB, Thais H. Almeida; MENDES, Marylca; GUIGLEMETI, Denise O.; GUIGLEMETI, Wallace A.
- ALVES, Célio Macedo. **Um Estudo Iconográfico.** In: COELHO, Beatriz (org). *Devoção e Arte: imaginária religiosa em Minas Gerais*. São Paulo: Edusp, 2005. p.69-92
- ARGAN, Giulio Carlo. *Imagem e persuasão: ensaios sobre o barroco*. São Paulo: Companhia das Letras, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11941:** Madeira – Determinação da Densidade Básica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7190:** Projetos de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- BAILÃO, Ana. As Técnicas de Reintegração Cromática na Pintura: revisão historiográfica. **Ge-Conservacion**, [S.L.], v. 2, p. 45-65, 7 dez. 2011. Grupo Español del International Institute of Conservation. <http://dx.doi.org/10.37558/gec.v2i2.41>. Disponível em: <https://www.ge-iic.com/ojs/index.php/revista/article/view/41>. Acesso em: 22 jun. 2024.
- BOELSUMS, Mariah; FIGUEIREDO JUNIOR, João Cura D'ars de; SOUZA, Luiz Antônio Cruz. Composições de solventes de baixa toxicidade para formulação de vernizes de uso em restauro. **Conservar Patrimônio**, Lisboa, v. 37, n. 1, p. 69-79, 31 maio 2021. Quadrimestral. Disponível em: <https://conservarpatrimonio.pt/article/view/21776/15940>. Acesso em: 06 dez. 2024.
- BOTOSSO, Paulo Cesar. **Identificação macroscópica de madeiras:** guia prático e noções básicas para o seu reconhecimento. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 65 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 194). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/894373>. Acesso em: 05 out. 2023.
- BRANDI, Cesare. **Teoria da Restauração**. 4. ed. Cotia: Ateliê Editorial, 2019. 264 p. Apresentação Giovanni Carbonara.
- CAMARGOS, Anamaria Lopes. **As Representações de Santo Antônio na Imaginária Religiosa em Marfim nas Minas Gerais dos Séculos XVIII e XIX**. 2022. 242 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/45321>. Acesso em: 16 mai. 2025.
- CARVALHO, Paulo Ernani Ramalho. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Colombo: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 1044 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/305634/especies-arboreas-brasileiras>. Acesso em: 18 out. 2024.
- COBB, Kim Cullen. Charred Wood Consolidated with Thermoplastic Resins. In: Annual Student Conference Hosted by the Buffalo State College, 1., 2005, Buffalo. **Anais [...]**. Buffalo: ANAGIC, 2005. p. 1-20. Disponível em: https://faic.wpenginepowered.com/anagpic-student-papers/wp-content/uploads/sites/11/2020/04/2005ANAGPIC_Cobb.pdf. Acesso em: 21 out. 2024.
- COELHO, Beatriz R. V.; QUITES, Maria Regina Emery. **Estudos da escultura devocional em madeira**. 1.ed. Belo Horizonte: Fino Traço, 2014.



DIAS, Fabricio Moura; LAHR, Francisco Antonio Rocco. Estimativa de propriedades de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 1, n. 65, p. 102-113, jun. 2004. Trimestral. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr65/cap10.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2024.

FABRINO, Raphael João Hallack. **Guia de Identificação de Arte Sacra** - IPHAN-RJ. Rio de Janeiro: IPHAN, 2012. (Guia de Identificação). Disponível em: http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/guia_arte_sacra.pdf. Acesso em: 17 out. 2024.

FEIJOO, Cesar Emiliano Feijoo; ARMIJOS, Danny Daniel Ramón; COFREP, Darwin Alexander Pucha. **Guía para Cortes Anatómicos de la Madera**. Loja: EDILOJA Cía. Ltda., 2019. 44 p. Disponível em: EDILOJA Cía. Ltda.. Acesso em: 13 jan. 2025.

FIGUEIREDO JUNIOR, João Cura D'Ars de. **Química Aplicada à Conservação e Restauração de Bens Culturais**: uma introdução. Belo Horizonte: São Jerônimo, 2012. 208 p.

FIGUEROA, Manuel Jesús Manriquez; MORAES, Poliana Dias de. Comportamento da madeira a temperaturas elevadas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 157-174, dez. 2009. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/9547>. Acesso em: 17 out. 2024.

FLORSHEIM, Sandra M. Borges. **Identificação Macroscópica de Madeiras Comerciais do Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto Florestal, 2020. 392 p. Disponível em: https://smastr16.blob.core.windows.net/iflorestal/sites/234/2020/09/livro_identificacao-madeira.pdf. Acesso em: 17 out. 2024.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook**: wood as an engineering material. General technical report FPL ; GTR-113. Madison, WI, 1999 : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory: xi, [463] pages. Disponível em: <https://research.fs.usda.gov/treearch/5734>. Acesso em: 21 nov. 2024.

HAYNES, W. M. (ed.). **CRC Handbook of Chemistry and Physics**: a ready-reference book of chemical and physical data. 95. ed. Boca Raton: Crc Press Taylor & Francis Group, 2015. 2666 p. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=2511594&forceview=1>. Acesso em: 09 jan. 2025.

HIBBELER, R. C. *Resistência dos Materiais*. 7. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. Disponível em: <https://archive.org/details/resistencia-dos-materiais-r-c-hibbeler-7>. Acesso em: 26 mar. 2025.

HORIE, Velson. **Materials for Conservation**: organic consolidants, adhesives and coatings. 2. ed. Burlington: Elsevier Ltd, 2010. 504 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (São Paulo). Governo do Estado de São Paulo (org.). **Informações sobre madeiras brasileiras e plantadas**. 2024. Disponível em: <https://madeiras.ipt.br>. Acesso em: 17 out. 2024.

INSTITUTO FLORESTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (org.). **Identificação Macroscópica de Madeiras Comerciais do Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto Florestal, 2020. 392 p. Coordenação: Sandra M. Borges Florsheim. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutoflorestal/2020/09/identificacao-macroscopi>. Acesso em: 21 out. 2024.



JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO (Brasil). **Flora e Funga do Brasil**. 2024. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 19 out. 2024.

LA PUENTE, Alejandra Bendekovic de; HODGE, Cecilia Guerrero; ALMONACID, Melissa Morales. Restauración de la Virgen del Carmen: madera, carbón y fe. **Revista Conserva**, Santiago de Chile, n. 15, p. 93-121, 2010. Centro Nacional de Conservación y Restauración. Disponível em: <https://www.cncr.gob.cl/publicaciones/restauracion-de-la-virgen-del-carmen-madera-carbon-y-fe>. Acesso em: 05 out. 2023.

LORÊDO, Wanda Martins. **Iconografia Religiosa**: dicionário prático de identificação. Rio de Janeiro: Editora Interciência Ltda, 2002. 397 p.

MAYNOR, Catherine I., et al. 1989. **Adhesives**. In: Paper Conservation Catalog. Washington D.C.: The American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works. Book and Paper Group. Disponível em: http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/pcc/46_adhesives.pdf. Acesso em: 10 jan. 2025.

MEDEIROS, Gilca Flores de. **Conhecimento das Técnicas de Douramento**. Belo Horizonte: Escola de Belas Artes da UFMG, 2001. 29 p.

MEDEIROS, Gilca Flores de; SOUZA, Luiz Antonio Cruz. Tecnologia de Douramento em Esculturas em Madeira Policromada do Período Barroco e Rococó em Minas Gerais. **Imagem Brasileira**, Belo Horizonte, n. 1, p. 83-89, 2001. Anual. Disponível em: <https://www.eba.ufmg.br/revistaceib/index.php/imagembrasileira/issue/view/1>. Acesso em: 24 nov. 2024.

MICHAELIS Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa. São Paulo: Melhoramentos, 2023. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/>. Acesso em: 05 out. 2023.

NABAIS, Cristina; RODRIGUES, Dalila (org.). **As coleções de escultura em madeira do Museu Grão Vasco e do Museu Nacional de Arte Antiga**: um contributo da ciência para a arte. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2014. 84 p. Disponível em: <https://www.loc.gov/item/2020719506>. Acesso em: 30 mar. 2025.

PICCOLINI, Álvaro Villagrán; LAPUENTE, Alejandra Bendekovic de. Cuantificación del daño y estudio de materiales para la restauración de la imagen de la Virgen del Carmen. **Revista Conserva**, Santiago de Chile, n. 15, p. 85-91, 2010. Centro Nacional de Conservación y Restauración. Disponível em: <https://www.cncr.gob.cl/publicaciones/cuantificacion-del-dano-y-estudio-de-materiales-para-la-restauracion-de-la-imagen-de>. Acesso em: 04 dez. 2024.

RAMOS, Aline Cristina Gomes.; QUITES, Maria Regina Emery. **Do negro ao Carvão**: conservação-restauração de uma imagem de vestir carbonizada representando São Francisco de Assis Penitente. 2017. 1 DVD-R.

ROARK, R. J.; YOUNG, W. C. **Formulas for stress and strain**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 1965. Disponível em: https://archive.org/details/formulasforstres0000roar_g9q8. Acesso em: 26 mar. 2025.

SERRÃO, Vitor. Impactos do Concílio de Trento na arte portuguesa entre o Maneirismo e o Barroco (1563-1750). In: GOUVEIA, António Camões; BARBOSA, David Sampaio; PAIVA José Pedro. O Concílio de Trento em Portugal e nas suas conquistas: olhares novos. Lisboa: Universidade Católica de Lisboa, 2014. p. 103-132.

SILVA, Ana Paula da Silva. **Desvendando os mistérios da metodologia científica**: navegando pelos caminhos da pesquisa e escrevendo o artigo perfeito. RECIMA21 – Revista



Científica Multidisciplinar, São Luís, v. 5, n. 3, p. 1–11, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.47820/recima21.v5i3.5013>. Acesso em: 16 mai. 2025.

VILLARQUIDE, Ana. **La pintura sobre tela II**: alteraciones, materiales y tratamientos de restauración. Título original: Restauración e conservación de pintura sobre tea. Alteracións, materiais e tratamentos. Barcelona: Editorial Nerea, S.A., 2005. 734 p.

VIÑAS, Salvador Muñoz. **Teoria Contemporânea da Restauração**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2021. 215 p. Tradução de: Flavio Carsalade.

VITAL, Benedito Rocha. Métodos de Determinação da Densidade da Madeira. **Sociedade de Investigações Florestais**: Boletim Técnico, Viçosa, n. 1, p. 1-21, 1984. Universidade Federal de Viçosa. Disponível em: https://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1984_Metodos_determinacao_densidade.pdf. Acesso em: 21 nov. 2024.

WYPYCH, George (ed.). *Handbook of solvents*. Toronto; New York: ChemTec Publishing; William Andrew Inc., 2001. ISBN 1-895198-24-0.



ANEXOS

Anexo 1 – Cronograma das atividades

Anexo 2 – Relatório do processo de restauração de Santo Antônio