

**Ana Paula Pinto Pinheiro**

**Análises Microestruturais de Espécies  
de Madeira e Estudo da Viabilidade de  
Utilização em Design de Jóias**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos.

Orientador: Prof. José Roberto Moraes d'Almeida

Rio de Janeiro  
Abril de 2013



**Ana Paula Pinto Pinheiro**

**Análises Microestruturais de Espécies  
de Madeira e Estudo da Viabilidade de  
Utilização em Design de Jóias**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Profº. José Roberto Moraes d'Almeida**

Orientador e Presidente

Departamento de Engenharia de Materiais – PUC-Rio

**Profº. Walter Barreiro Cravo Jr.**

Departamento de Engenharia de Materiais – PUC-Rio

**Profª. Ana Karla Freire de Oliveira**

Departamento de Design de Produto – UFRJ

**Profº. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 05 de Abril de 2013

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

## Ana Paula Pinto Pinheiro

Graduada em Nutrição pela UFF (Universidade Federal Fluminense) em 1998. Graduada em Desenho Industrial pela UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro) com habilitação em *Projeto de Produto* em 2005. Graduada em Desenho Industrial com habilitação em *Programação Visual* em 2010.

### Ficha Catalográfica

Pinheiro, Ana Paula Pinto

Análises microestruturais de espécies de madeira e estudo da viabilidade de utilização em design de jóias / Ana Paula Pinto Pinheiro; orientador: José Roberto Moraes d'Almeida – 2013.

104 f.; il (color.) ; 30cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia de Materiais, Rio de Janeiro, 2013.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia de Materiais – Teses. 2. Madeira. 3. Biodeterioração. 4 Análise microestrutural. 5 Resistência à abrasão. 6 Design de jóias. I. Almeida, José Roberto Moraes d'. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia de Materiais. III. Título

CDD: 620.11

## Agradecimentos

A Deus pela minha existência, força e fé.

À minha família pelo apoio durante todos esses anos.

Ao CNPq pelo suporte financeiro.

Ao meu orientador, profº José Roberto, pela compreensão, conhecimentos e paciência.

A todos os professores e colaboradores do DCMM.

Aos amigos pela compreensão à minha ausência.

Aos novos amigos da PUC-Rio, em especial, Mayara Mendonça, Patrícia Pontón, Juliana Viol e Nidia Margarita.

A equipe do laboratório de biocorrosão do DCMM.

Aos professores que participaram da Comissão examinadora.

A Empresa Fibra Design Sustentável pelas amostras de pupunha cedidas.

A oficina de madeira do Departamento de Projeto de Produto de Desenho Industrial – UFRJ, pela doação das amostras de imbuia e pau-brasil.



## Resumo

Pinheiro, Ana Paula Pinto; d'Almeida, José Roberto Moraes. **Análises Microestruturais de Espécies de Madeira e Estudo da Viabilidade de Utilização em Design de Jóias**. Rio de Janeiro, 2013. 104p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A madeira é o material biológico mais conhecido e utilizado como matéria-prima desde os primórdios da humanidade até os dias atuais. Como um composto natural e renovável, seu tempo de vida útil é limitado pela degradação de seus elementos básicos. Essa degradação pode ser ocasionada por reações químicas ou por agentes biológicos capazes de acelerar o processo de deterioração. Esse trabalho teve como objetivo avaliar, sob condições laboratoriais, características mecânicas, térmicas, microestruturais e de biodeterioração em sistemas estáticos de 3 espécies de madeiras - Pupunha (*Bactris gasipaes*, Kunth), Pau-Brasil (*Caesalpinia echinata*) e Imbuia (*Ocotea porosa*) - com o objetivo de utilizá-las em projetos de design de jóias. Como resultado, foi observado que a pupunha obteve menor perda de massa após ensaio de abrasão, menor teor de umidade absorvida e mostrou resistência a degradação em temperaturas mais elevadas. O pau-brasil apresentou melhor desempenho visual quando analisado no MEV após ensaio de abrasão, maior índice de cristalinidade e menores valores referentes a ataques de fungos, formação de biofilme e/ou qualquer variação causada por substâncias agressivas. A imbuia foi a espécie que sofreu visualmente maiores alterações microestruturais, apresentou elevados valores quanto ao teor de umidade, aumento da rugosidade após ensaio de abrasão, maior contaminação por fungos e crescimento bacteriano; provavelmente por ser a espécie mais porosa dentre as analisadas.

## Palavras-chave

Madeira; Biodeterioração; Análise Microestrutural; Resistência à Abrasão; Design de Jóias.

## Abstract

Pinheiro, Ana Paula Pinto; d'Almeida, José Roberto Moraes (Advisor). **Microstructural analysis of wood species and the study of their use in the design of jewels.** Rio de Janeiro, 2013. 104p. Msc. Dissertation – Departamento de Engenharia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Wood is the best-known and biological material used as raw material since the dawn of mankind until the present day. As a natural and renewable composite, its lifetime is limited by the degradation of its basic elements. This degradation can be caused by chemical reactions or by biological agents capable of accelerating the process of deterioration. In this work, mechanical, thermal, micro-structural characteristics and bio-degradation characteristics in static systems of 3 species of woods - Pupunha (*Bactris gasipaes*), Pau-Brazil (*Caesalpinia echinata*) and Imbuia (*Ocotea porosa*) - were studied under laboratory conditions in order to use these woods in jewelry design. The results obtained show that pupunha had less loss in mass after abrasion test, less absorbed moisture content and showed higher resistance to thermal degradation. Pau-brazil showed better visual performance when analyzed in SEM after the abrasion test, the highest crystallinity and lower values for fungus attacks, bio-film formation and/or any variation caused by aggressive substances. Imbuia was the species that suffered visually major micro-structural changes; presented higher values for the moisture content and increase of roughness after abrasion test and greater contamination by fungi and bacterial growth. This behavior was probably due because Imbuia is the most porous species among the analyzed ones.

## Keywords

Wood; Biodeterioration; Microstructural Analysis; Abrasion Resistance; Jewelry Design.

## Sumário

1.Introdução	15
2. Objetivo	18
3. Revisão Bibliográfica	19
3.1. Madeiras	19
3.1.1 Aspectos Anatômicos	20
3.1.2. Composição Química	23
3.1.3. Componentes Macromoleculares	23
3.1.4. Propriedades Organolépticas	27
3.2. Espécies de Madeira	29
3.2.1. Pupunha	31
3.2.2. Pau-Brasil	35
3.2.3. Imbuia	39
3.3. Caracterização de propriedades da madeira	41
3.3.1. Abrasão	41
3.3.2. Absorção	43
3.3.3. Análise Termogravimétrica - TGA	45
3.3.4. Difração de Raios-X	47
3.3.5. Deterioração	49
3.3.5.1. Biodeterioração	49
3.3.5.2. Suor	52
3.4 . Jóias	53
4. Materiais e Métodos	56
4.1. Materiais	56
4.1.1. Fabricação dos corpos de prova	56
4.2. Métodos	57
4.2.1. Ensaio de Abrasão	57

4.2.2. Caracterização de superfície	59
4.2.3. Análise de rugosidade	59
4.2.4. Ensaio de Absorção	60
4.2.5. Análise Termogravimétrica - TGA	61
4.2.6. Difração de Raios-X	61
4.2.7. Ensaio de Biodeterioração	62
4.2.7.1. Métodos	63
4.2.8. Ensaio de Interação com suor artificial	64
5 Resultados e Discussões	65
5.1. Ensaio de Abrasão	65
5.2. Caracterização de superfície	67
5.3. Análise de rugosidade	72
5.4. Ensaio de Absorção	73
5.5. Análise Termogravimétrica - TGA	75
5.6. Difração de Raios-X	77
5.7. Ensaios de Deterioração	79
5.7.1. Biodeterioração	79
5.7.1.1. Análises Microbiológicas	79
5.7.1.2. Análises por Microscopia Eletrônica	81
5.7.2. Interação com suor artificial	82
5.8. Design de Jóias	85
6. Conclusões	90
6.1. Sugestões para trabalhos futuros	91
7. Referências bibliográficas	92
Glossário	101
Apêndice	104

## Lista de figuras

Figura 1 – Anisotropia da madeira	20
Figura 2 – Anéis crescimento: à esquerda <i>Piptadenia communis</i> (barra de 1cm). À direita, Cedro ( <i>Cedrela odorata</i> L. Meliaceae), (barra de 1mm).	21
Figura 3 – Corte de um tronco com seus elementos constituintes.	21
Figura 4 – Seção de tora de madeira destacando alburno e cerne.	22
Figura 5 – Fórmula da celulose, apresentando estrutura organizada, parcialmente cristalina e com formação de pontes de hidrogênio.	24
Figura 6 – Esquema entre moléculas de celulose formando microfibrilas e interação com a hemicelulose (poliose).	25
Figura 7 – Corte transversal de parede celular lignificada.	26
Figura 8 – Pupunheiras.	31
Figura 9 – Touceiras: sem manejo e manejada.	32
Figura 10 – Folhas flechas.	32
Figura 11 – Estipe da <i>Bactris gasipaes</i> e detalhe de móvel fabricado em compensado de pupunha.	33
Figura 12 – Palmitos da pupunha.	33
Figura 13 – Frutos da Pupunha.	34
Figura 14 – Composição química dos resíduos da pupunheira.	34
Figura 15 – Árvore e flores do pau-brasil.	36
Figura 16 – Tronco do pau-brasil com presença de acúleos.	36
Figura 17 – Corte do tronco pau-brasil com alburno diferenciado do cerne.	37
Figura 18 – Arco de violino fabricado em pau-brasil.	38

Figura 19 – Árvore e folhagem da imbuia.	39
Figura 20 – Móveis fabricados em madeira imbuia: mesa e banco Samurai.	40
Figura 21 – Mecanismos de desgastes abrasivos.	41
Figura 22 – Ensaio de abrasão - perda de massa.	43
Figura 23 – Variação do teor de umidade da madeira, ao longo do tronco, de sete espécies de Eucalyptus	44
Figura 24 – Curvas TG (linha tracejada) e DTG (linha sólida) de reação de decomposição térmica que ocorre numa única etapa.	45
Figura 25 – Curvas de TG / DTG para fibra de coco exposta ao ambiente por sete dias e tratada em solução de NaOH por 48h.	46
Figura 26 – Curvas de TG / DTG da fibra de curauá.	47
Figura 27 – Difractogramas (a) da fibra de ubuçu e (b) pupunha.	48
Figura 28 – Madeira de <i>Pinus spp</i> estocada por cerca de três semanas com a presença de fungos.	50
Figura 29 – Corte transversal de pupunha com escurecimento dos tecidos internos	51
Figura 30 – Estrutura da pele, destaque para glândula sudorípara.	52
Figura 31 – Jóia dos etruscos (a); adornos romanos (b); exemplar da Idade Média (c).	53
Figura 32 – Jóias de estilos: Barroco (a) e Neoclássico (b).	54
Figura 33 – Libélula René Lalique (a); peças em estilo Art Decó (b).	55
Figura 34 – Jóias confeccionadas com madeira: anéis de pau-brasil (a) e colar de prata, madeira e diamantes (b).	55
Figura 35 – Corpos de prova cilíndricos de cada espécie de madeira: pupunha (a), pau-brasil (b) e imbuia (c).	56
Figura 36 – Amostras em pó das espécies pupunha (a), pau-brasil (b) e imbuia (c).	56
Figura 37 – Fluxograma geral.	57

Figura 38 – Abrasímetro e detalhe do dispositivo de ensaio à abrasão, mostrando movimento de rotação do porta-amostra e do cilindro giratório.	58
Figura 39 – Máquinas de polimento com lixa(a) e com pasta de diamante(b).	58
Figura 40 – Corpos de prova de cada espécie submersos em água destilada.	60
Figura 41 – Perkin-Elmer, modelo Pyris1 (EQ/UFRJ).	61
Figura 42 – Método das diluições sucessivas e plaqueamento.	64
Figura 43 – Valores referentes ao ensaio de abrasão da pupunha.	66
Figura 44 – Valores referentes ao ensaio de abrasão do pau-brasil.	66
Figura 45 – Valores referentes ao ensaio de abrasão da imbuia.	66
Figura 46 – Pupunha após polimento.	67
Figura 47 – Pau-brasil após polimento.	67
Figura 48 – Imbuia após polimento.	67
Figura 49 – Pupunha após polimento, 50x e 200x.	68
Figura 50 – Pau-Brasil após polimento. 50x e 200x.	68
Figura 51 – Imbuia após polimento, 50x e 200x.	68
Figura 52 – Pupunha após polimento e abrasão 50x e 200x.	69
Figura 53 – Pau-Brasil após polimento e abrasão 50x e 200x.	69
Figura 54 – Imbuia após polimento e abrasão 50x e 200x.	69
Figura 55 – Pupunha sem processo de abrasão (50x).	70
Figura 56 – Pau-Brasil sem processo de abrasão (50x).	70
Figura 57 – Imbuia sem processo de abrasão (50x).	70
Figura 58 – Pupunha após o processo de abrasão (50x).	71
Figura 59 – Pau-Brasil após o processo de abrasão (50x).	71
Figura 60 – Imbuia após o processo de abrasão com (50x).	71

Figura 61 – Pupunha sem abrasão (a) e após abrasão (b).	72
Figura 62 – Pau-Brasil sem abrasão (a) e após abrasão (b).	72
Figura 63 – Imbuia sem abrasão (a) e após abrasão (b).	72
Figura 64 – Pupunha após absorção 50x (a) e 200x (b).	74
Figura 65 – Pau-brasil após absorção 50x (a) e 200x (b).	74
Figura 66 – Imbuia após absorção 50x (a) e 200x (b).	74
Figura 67 – Termograma obtido da pupunha.	75
Figura 68 – Termograma obtido da espécie Pau-Brasil.	76
Figura 69 – Termograma obtido da espécie Imbuia .	77
Figura 70 – Difractograma da pupunha.	78
Figura 71 – Difractograma do pau-brasil.	78
Figura 72 – Difractograma da imbuia.	78
Figura 73 – Placa de diluição $10^2$ pupunha utilizada para contagem de colônias.	79
Figura 74 – Placa de diluição $10^1$ pau-brasil utilizada para contagem de colônias.	80
Figura 75 – Placa de diluição $10^4$ da imbuia utilizada para contagem de colônias.	80
Figura 76 – Análise por MEV de cada espécie (50x), antes e após ensaio.	82
Figura 77 – Análise por MEV de cada espécie (50x), antes e após ensaio com suor.	83
Figura 78 – Pupunha antes(a) e após ensaio com suor artificial(b).	83
Figura 79 – Pau-Brasil antes(a) e após ensaio com suor artificial b).	84
Figura 80 – Imbuia antes (a) e após ensaio com suor artificial (b).	84



Figura 81 – Imagens da microestrutura da pupunha após polimento e visualização no MEV como inspiração para a coleção.	85
Figura 82 – Imagens nas quais foram baseadas as idéias para produção das peças.	86
Figura 83 – Desenho da Coleção <b>ZOOM</b> – Colar, brincos e anel.	87
Figura 84 – Anel e colar produzidos – Coleção <b>ZOOM</b> . Jóias em ouro amarelo, pupunha e topázio amarelo.	88
Figura 85 – Modelo utilizando as jóias e simulação do uso do brinco - Coleção <b>ZOOM</b> .	88
Figura 86 – Tag desenvolvida para coleção <b>ZOOM</b> com breve explicação do projeto.	88
Figura 87 – Esboço de colar e brincos para uma suposta coleção <b>ZOOM</b> com a espécie Imbuia a partir de imagens microestruturais.	89

## Lista de tabelas

Tabela 1 – Composição % típica dos componentes químicos elementares de diversas espécies de madeira, em relação ao peso seco.	23
Tabela 2 – Conteúdo médio de celulose.	24
Tabela 3 – Exemplo algumas diferenças entre celulose e polioses	25
Tabela 4 – Espécies de madeira e suas respectivas substâncias corantes.	27
Tabela 5 – Algumas espécies tidas como prejudiciais à saúde e seus efeitos negativos para os seres humanos causados pelas substâncias depositadas interior de suas células.	29
Tabela 6 – Teor de Lignina Klason presente em diferentes partes da madeira de pau-brasil e em madeiras comerciais de eucalipto, angico--preto e pinus.	38
Tabela 7 – Valores referentes às rugosidades analisadas no MO.	73
Tabela 8 – Resultados gerais das análises de TGA das 3 espécies.	76
Tabela 9 – Resultados das análises microbiológicas.	82
Tabela 10 – Valores referentes às rugosidades analisadas no MO após ensaio de interação com suor artificial.	84

# 1

## Introdução

Em tempos remotos, a sociedade humana apresentava grandes limitações e a sua produção de bens de consumo dependia apenas de um comércio local limitado e pouco produtivo.

Com o passar dos anos, novos materiais foram sendo descobertos; a economia progrediu, a tecnologia avançou aceleradamente e a industrialização tomou proporções gigantescas. Concomitantemente surgiu uma grande mudança ambiental, com produção de grande quantidade de produtos nocivos e de resíduos gerados por tal modernização. Logo, as preocupações com o meio ambiente foram ganhando grande importância e os problemas de poluição e a diminuição dos recursos naturais revelando a urgência por mudanças de comportamento da sociedade.

Nos dias atuais, a sustentabilidade abrange vários níveis de organização e está relacionada à continuidade de diversos aspectos, sejam eles de caráter econômico, social ou cultural, com o surgimento de uma consciência ambiental que se espalha mundo afora, onde o mais importante é atender às necessidades do presente sem comprometer as gerações futuras. Essas preocupações provavelmente possibilitarão levar a mudanças que impeçam a degradação do nosso sistema ecológico [1].

O desenvolvimento sustentável refere-se a diversos problemas de adequação ecológica e alguns deles baseiam-se em princípios como a diminuição de volume dos materiais usados, dos resíduos e do custo ambiental e tem o intuito de buscar aplicações eficientes em produtos e técnicas geradoras deste menor impacto, acarretando mudanças em todas as etapas do desenvolvimento dos produtos industriais; desde a criação e conceituação, passando pela escolha dos materiais e processos de fabricação, ao uso, a reutilização e a reciclagem até atingir sua disposição final pós-consumo.

Enquanto alguns materiais têm sua produção limitada e outros requerem elevados investimentos para serem produzidos, a madeira é um material renovável

cujo suprimento pode ser planejado de forma adequada e, como produto acabado, exige poucos recursos. Além disso, apresenta boas características de isolamento térmico, acústico e elétrico, aliadas a uma baixa atividade química [2].

Por sua disponibilidade e características, a madeira foi um dos primeiros materiais a serem utilizados pela humanidade, tendo contribuído para o desenvolvimento e bem estar do ser humano e mantém até nossos dias, apesar do aparecimento dos materiais sintéticos, uma imensa gama de usos diretos e serve de matéria-prima para inúmeros outros produtos [3]. Um exemplo clássico do emprego da madeira é seu uso para fabricação de móveis.

Mas, a exploração da madeira continua a ser uma das principais causas de preocupação ambiental; daí a grande importância de se trabalhar visando a sustentabilidade e o reflorestamento. A utilização correta de determinadas espécies depende das suas propriedades físicas e mecânicas, que influenciam a sua durabilidade. Tais propriedades dependem da espécie em questão e de diversas condições ecológicas nas quais cada espécie se desenvolve [2]. Assim, normalmente os valores numéricos que expressam as propriedades das madeiras devem ser tomados como valores médios, variando dentro de uma distribuição estatística, pois o meio no qual a espécie se desenvolve pode afetar as suas propriedades.

Exatamente por serem organismos vivos, é importante enfatizar que existe grande diversidade em todo processo natural e que as características das madeiras podem apresentar discrepâncias até mesmo entre elementos da mesma espécie. Mudanças climáticas, tipos de solo, incidência de raios solares, volume pluviométrico, variações genéticas são apenas alguns fatores que podem influenciar nas muitas alterações entre os materiais provenientes da natureza [4]. Isso, aliado ao fato de algumas madeiras terem um crescimento mais longo do que outras, faz com que possuam qualidade e valor comercial também diferenciados.

Além da variabilidade intrínseca de propriedades de cada espécie, fatores biológicos estarão interagindo em todo momento em um processo natural. Assim, sempre faz-se necessário avaliar como algumas das suas propriedades são alteradas para que se possa interferir de modo mais eficiente, impedindo posteriormente a biodegradação e garantindo maior vida útil ao material fabricado a partir da madeira, para haver melhor aproveitamento desse material em pequena ou larga escala e até mesmo em âmbito industrial.

Em todo este contexto sustentável, é importante a busca por materiais oriundos de fontes renováveis e capazes de substituir, sob diversos aspectos, alguns materiais sintéticos.

Nesta busca, pode-se destacar a pupunha (*Bactris gasipaes*), um material semelhante à madeira extraído do pseudo-caule da palmeira [5], de grande viabilidade econômica e importância ambiental. Por ser uma planta perene, seu cultivo apresenta algumas vantagens como: precocidade de corte, rusticidade, perfilhamento abundante (após primeiro corte, as mudas crescem permitindo uma produção permanente) e consequentemente, alta produtividade [6].

Pode-se também ressaltar a cultura de madeiras denominadas nobres como o pau-brasil (*Caesalpinia echinata*), a qual os índios usavam na produção de seus arcos e flechas e na pintura de enfeites, antes mesmo dos portugueses aqui chegarem. A exploração do pau-brasil veio a ser a primeira atividade econômica empreendida pelos portugueses em território brasileiro e, até 1875, sua madeira foi intensamente utilizada para extração de corantes para tingimento de tecidos e para produção de tintas de escrever [7].

A imbuia (*Ocotea porosa*), cuja madeira possui alto valor econômico, também é denominada nobre e assim como o pau-brasil, está na lista oficial de espécies da flora brasileira ameaçada de extinção. Essa espécie sempre desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento econômico e cultural nas regiões de abrangência da Floresta Ombrófila Mista (Floresta com Araucária) [8].

Todos esses materiais apresentam potencial de expandir a gama das suas aplicações e, é importante destacar, que a reutilização de madeiras é também um modo de contribuir com a sustentabilidade tão almejada atualmente e de introduzir, mesmo que de forma indireta, conhecimentos significativos para seu emprego sustentável.

## 2 Objetivo

Este trabalho tem por objetivo analisar 3 espécies de madeira - Pupunha (*Bactris gasipaes*), Pau-Brasil (*Caesalpinia echinata*) e Imbuia (*Ocotea porosa*) - mediante ensaios microestruturais (microscopias óptica e eletrônica de varredura e difração de raios-x), mecânico (abrasão), térmico (análise termogravimétrica) e de deterioração (absorção de água, biodeterioração e ação do suor), buscando avaliar suas viabilidades para utilização em projetos de design de jóias.

### 3

## Revisão Bibliográfica

### 3.1.

#### Madeira

Aproximadamente 37 milhões de hectares de florestas são destruídas a cada ano e isso é uma das maiores preocupações da atualidade [9]. Assim, significativas alterações vêm ocorrendo anualmente nos mercados mundiais madeireiros e muitas mudanças ainda ocorrerão [10].

O Brasil apresenta uma das maiores biodiversidades do mundo e, em suas florestas nativas, podemos encontrar uma variedade inigualável de espécies de madeira [11]. Em todo território nacional o consumo de madeira gira em torno de 300 milhões de metros cúbicos por ano (dentre as espécies nativas mais plantadas), sendo 100 milhões de metros cúbicos por ano de florestas plantadas para uso industrial, onde cerca de 4,8 milhões de hectares são reflorestados apenas com plantio de espécies como *Eucalyptus* e *Pinus*. O reflorestamento veio tentar evitar a destruição refletida pela exploração de novas áreas, satisfazer as necessidades de produção e de consumo da sociedade. Porém, o fato é que ele não segue na mesma velocidade em que as árvores são cortadas [10].

Aproximadamente 21 bilhões de dólares foram gerados no ano de 2001 no setor florestal, responsável por cerca de 4% do PIB brasileiro, e cerca de 2 bilhões de dólares foram recolhidos apenas em impostos [12]. Com toda essa importância, a madeira tornou-se, inegavelmente, um bem de valor inigualável e conhecê-la de modo mais detalhado é indispensável para sua utilização [13].

A madeira é o material biológico mais conhecido e utilizado como matéria-prima desde os primórdios da civilização até os dias atuais e, sendo um composto natural e renovável, seu tempo de vida útil é limitado pela degradação de seus elementos básicos. Exemplos clássicos do emprego da madeira incluem a fabricação de móveis; produção de papel; utilização na construção civil, além de

ser responsável por inúmeros outros produtos derivados de sua transformação química [13].

### 3.1.1. Aspectos Anatômicos

Pela anatomia é possível diferenciar espécies e identificar, pela estrutura celular, o comportamento mecânico. Em função dessa estrutura, a madeira caracteriza-se como material anisotrópico, ou seja, apresenta características que podem variar de acordo com cada direção [13]. As 3 direções principais, normalmente associadas à madeira estão mostradas na Figura 1 [14], onde no sentido medula-casca está a direção radial; no sentido base-copa a direção longitudinal e por fim a direção tangencial [14,15].

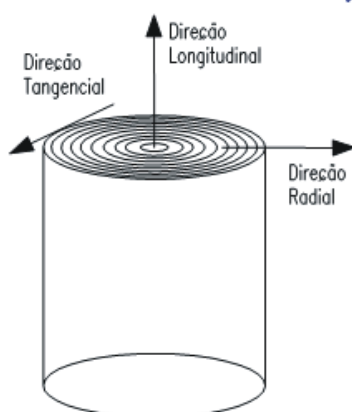


Figura 1- Anisotropia da madeira [14].

É importante destacar que, dependendo do modo como se faz o corte da madeira, ela vai ficar mais resistente em um sentido que em outro. Por essa razão é muito importante conhecer sua anisotropia e observar a disposição das fibras visando uma melhor aplicabilidade para evitar certos desperdícios e estragos que podem resultar em rachadura [15].

As fibras são as células que sustentam e dão rigidez ou flexibilidade à madeira, armazenam substâncias nutritivas e caracterizam-se por possuir elevado grau de longevidade [16]. A disposição e a direção em que elas se apresentam são fundamentais em relação ao comportamento frente a esforços mecânicos. Além



disso, existem diferenças entre cada espécie, principalmente geradas por fatores ambientais, genéticos e pela idade que possuem [15].

Os anéis de crescimento, também chamados de anéis anuais, permitem conhecer a idade da árvore visto que, de um modo geral, em áreas de clima temperado um anel cresce anualmente e a dendrocronologia, ciência que os estuda, permite conhecer a época de corte de madeiras e determina até mesmo idades de certas obras de arte e antiguidades históricas. De um modo geral, quando esses anéis são bem espaçados, representam uma árvore de crescimento rápido e vice-versa [17]. Na Figura 2 estão mostrados anéis de crescimento para 2 espécies de madeira.

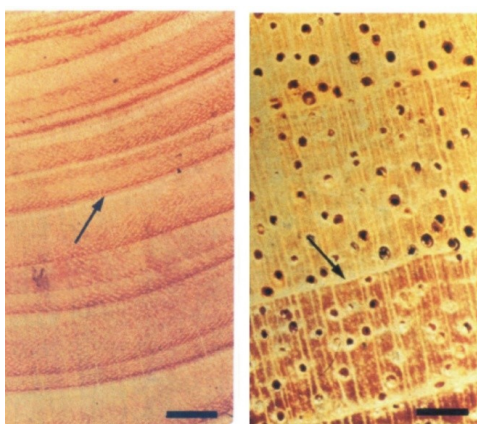


Figura 2: Anéis de crescimento: à esquerda *Piptadenia communis* Benth (barra de 1 cm). À direita, Cedro (*Cedrela odorata* L. Meliaceae), barra de 1 mm [16].

O tronco (Figura 3) é a parte da árvore de maior interesse comercial e constitui-se dos seguintes elementos: cerne, alburno e casca (do interior para o exterior) [17].

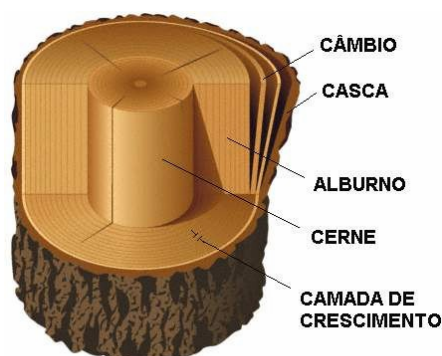


Figura 3: Corte de um tronco com seus elementos constituintes [17].

O cerne é a camada mais interna do alburno que perdeu a atividade fisiológica; apresenta apenas função de sustentação do caule. Na grande maioria das madeiras esta região apresenta coloração mais escura devido à deposição de corantes naturais. Porém, em algumas espécies como a virola, o cerne e o alburno apresentam a mesma cor [17].

O alburno é a porção mais externa da madeira do tronco, constituído por células vivas que conduzem a seiva bruta em movimento ascendente. Em geral possui coloração mais clara que o cerne e baixa resistência ao ataque de fungos e insetos [17]. Uma árvore jovem é constituída totalmente por alburno; quando estas células tornam-se inativas (deixam de transportar água) elas vão morrendo, passam a constituir o cerne [16] e assim sucessivamente aumentando a espessura da árvore [15]. A Figura 4 mostra claramente a diferença entre alburno e cerne [13].

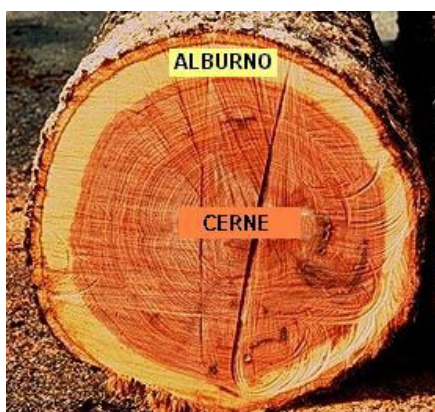


Figura 4: Seção de tora de madeira destacando alburno e cerne [13].

Em espécies da madeira carvalho, por exemplo, as células de parênquima permanecem vivas por 10 a 15 anos e seu alburno é constituído de 10 a 15 anéis anuais de crescimento mais externos [13].

A casca representa finalmente a proteção externa da árvore, formada por duas camadas: a externa, uma camada morta (ritidoma) de espessura variável com a idade e com a espécie; e uma fina camada interna (floema) de tecido vivo e macio, que conduz o alimento sintetizado nas folhas para as partes em desenvolvimento [17].

### 3.1.2.

#### Composição Química [13]

Conhecer a composição química da madeira é importante para entendermos o seu comportamento diante das diversas transformações que podem ocorrer. Seus principais elementos são: Carbono (C), Oxigênio (O), Hidrogênio (H) e pequenas quantidades de Nitrogênio (N), porém, encontram-se também pequenas quantidades de Cálcio (Ca), Potássio (K), Magnésio (Mg) e outros. Alguns valores estão listados na Tabela 1.

Tabela 1: Composição % típica dos componentes químicos elementares de diversas espécies de madeira, em relação ao peso seco [13].

Elemento	Percentagem
C	49 - 50
H	6
O	44 - 45
N	0,1 - 1

### 3.1.3.

#### Componentes Macromoleculares

A madeira é constituída de cerca de 65 a 75 % de polissacarídeos, porém em madeiras tropicais este valor pode atingir até 90% e em madeiras de zonas temperadas, podem somar de 97 a 99% do material [13].

Os principais componentes macromoleculares presentes em todas as madeiras, constituintes da parede celular são: celulose, hemicelulose (polioses) e lignina. Existem ainda componentes em menores quantidades como minerais e substâncias de baixo peso molecular, os quais sofrem variações dependendo da espécie.

#### Celulose [13]

A celulose é um polissacarídeo que se apresenta como um polímero de cadeia linear de alto peso molecular, constituído exclusivamente de  $\beta$ -D-glucose e apresenta-se como principal componente da parede secundária das células vegetais. Como componente em maior quantidade na madeira (de 40 a 50%), a

celulose apresenta-se de modo uniforme em sua estrutura. Suas moléculas são completamente lineares e tem forte tendência em formar pontes de hidrogênio (Figura 5). Na Tabela 2 está listado o conteúdo médio de celulose em relação a alguns materiais lignocelulósicos.

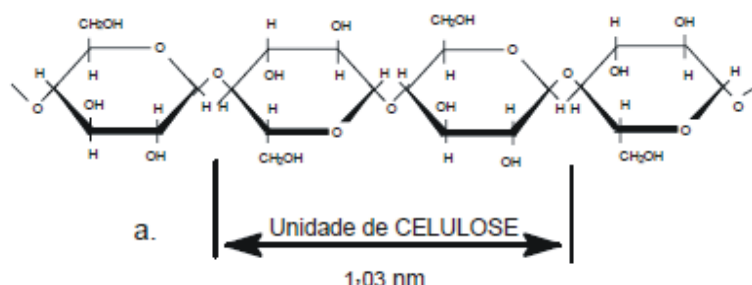


Figura 5: Fórmula da celulose, apresentando estrutura organizada, parcialmente cristalina e com formação de pontes de hidrogênio [13].

Tabela 2: Conteúdo médio de celulose [13].

Planta	Celulose (%)
Algodão	95 - 99
Rami	80 - 90
Bambu	40 - 50
Madeira	40 - 50
Casca de árvores	20 - 30
Musgos	25 - 30

### Hemicelulose [13]

A hemicelulose, também chamada de poliose, é uma mistura de polímeros polissacarídeos, associados à celulose nos tecidos das plantas (Figura 6). Está presente na madeira, porém em menor grau de polimerização que a celulose. Suas cadeias moleculares são muito mais curtas que a de celulose e em sua composição podem aparecer, em proporções variadas, as seguintes unidades de açúcares: xilose, manose, glucose, arabinose, galactose, ácido galactourônico, ácido glucourônico e ácido metilglucourônico.

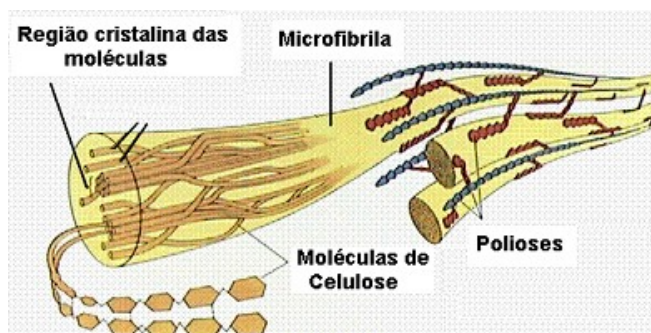


Figura 6: Esquema entre moléculas de celulose formando microfibrilas e interação com a hemicelulose (poliose) [13].

Existem diferenças entre a celulose e as hemiceluloses que precisam ser destacadas (Tabela 3). Por exemplo, as hemiceluloses não possuem regiões cristalinas como a celulose e por isso são afetadas mais facilmente por produtos químicos. Exatamente por esta ausência de cristalinidade, associada à baixa massa molecular e configuração irregular e ramificada, estas absorvem água facilmente, contribuindo com isso para o aumento da flexibilidade das fibras, por exemplo. Por ser uma substância amorfa e adesiva, a hemicelulose tende a perder elasticidade e endurecer com a secagem.

Tabela 3: Exemplo de algumas diferenças entre celulose e polioses [13].

CELULOSE	POLIOSES
- Constituída por uma única unidade monomérica glucosídica	- Constituída por várias unidades ligadas entre si, pentoses e hexoses
- Grau de polimerização elevado	- Grau de polimerização baixo
- Forma fibras	- Não forma fibras
- Possui regiões cristalinas e amorfas em sua estrutura.	- Só possui regiões amorfas
- É lentamente atacada por ácidos	- Sofre ataque mais rápido por ácidos
- É insolúvel em álcali	- É solúvel

## Lignina

A lignina (do latim *lignum*, que significa madeira) é um polímero aromático (composto de unidades de fenilpropano), que constitui a parede celular vegetal, extremamente complexa, caracterizada por um sistema heterogêneo e ramificado sem nenhuma unidade repetida definida, completamente diferente dos

polissacarídeos. Ocorre na maioria das plantas, mas apresenta composição diferenciada variando entre espécies, compreendendo de 15 a 30% do peso da madeira [18].

Morfologicamente, a lignina é uma substância amorfa localizada na lamela média composta, bem como na parede secundária. A Figura 7 ilustra um corte da parede secundária de uma célula lignificada, que é a prova d'água, bloqueando a difusão de nutrientes para dentro da célula. Essa é uma das razões para que as células com paredes lignificadas estejam mortas na maturidade [13].

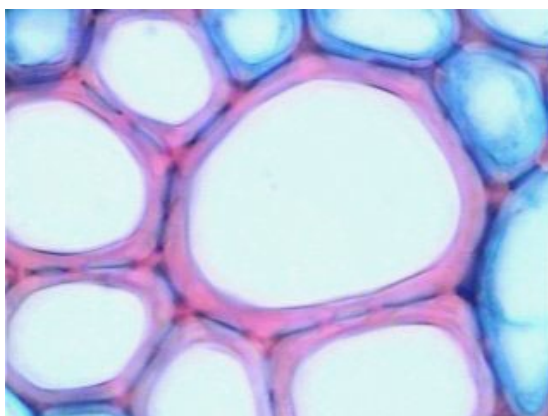


Figura 7: Corte transversal de parede celular lignificada [13].

Pode-se dizer que a lignificação é um processo selante que ocorre como consequência, não apenas do desenvolvimento de condução de água, mas também como uma necessidade da árvore de suportar uma copa de dezenas de metros de altura, capaz de absorver forças de compressão e proporcionando alta resistência à tração.

Resumidamente, podemos destacar algumas das principais funções da lignina nas plantas como: aumentar a rigidez da parede celular (resistência mecânica), reduzir a permeabilidade à água, promover a união entre as células e proteger a madeira contra microrganismos (a lignina age como um fungicida devido à sua composição química fenólica).

### 3.1.4.

#### Propriedades Organolépticas

As madeiras apresentam o que chamamos de propriedades organolépticas, ou características sensoriais, como cor, cheiro, sabor, brilho, dentre outras.

#### Cor

Genérica e visualmente, as madeiras são classificadas pela sua cor, onde as mais escuras tendem a ser as mais duras e pesadas e as madeiras mais claras são, normalmente as mais leves e macias. Porém, não podemos esquecer que as diferenças climáticas são capazes de influenciar nesta classificação onde observamos que em regiões quentes predominam madeiras com cores variadas e mais escuras do que em regiões de clima frio onde encontramos as chamadas ‘madeiras brancas’ [2].

A cor da madeira pode ser alterada pelo teor de umidade, pela exposição ao ar, pela radiação solar e até mesmo por altas temperaturas; normalmente torna-se mais escura pela oxidação de substâncias orgânicas contidas no material lenhoso [11].

Os corantes naturais são as substâncias responsáveis pela cor da madeira, presente tanto no interior das células (material lenhoso) quanto nas suas paredes, dentre os quais destacam-se resinas, corantes específicos e derivados tânico, dentre outros. Existem madeiras identificáveis facilmente por sua coloração característica como a braúna-preta, o pau-roxo e o pau-amarelo [11]. Como exemplo, a Tabela 4 destaca algumas espécies de madeira e as substâncias responsáveis por sua coloração que, presentes em altas concentrações, podem ser extraídas e utilizadas comercialmente na tingidura de diversos materiais. Como exemplo, além das espécies apresentadas abaixo, também tem destaque a espécie taiúva [2].

Tabela 4: Espécies de madeira e suas respectivas substâncias corantes [2].

NOME COMUM	NOME CIENTÍFICO	SUBSTÂNCIA CORANTE
Pau Brasil	<i>Guilandina echinata</i>	Brasilina
Pau Campeche	<i>Haematoxylum campechianum</i>	Hematoxilina
Ipê	Gênero <i>tabebuia</i> ( <i>Bignoniaceae</i> )	Lepachol



Existem outras formas de alteração da cor natural da madeira, quando ela entra em contato com outros tipos de materiais; principalmente com certos metais ou por até mesmo por ação de microrganismos, sejam eles fungos e/ou bactérias [2]. Porém, a alteração de cor pode ser proposital, com finalidade comercial, onde a aplicação artificial de descolorantes, tinturas ou qualquer outro tipo de substância é realizado visando um aumento de seu valor econômico.

### **Sabor**

O sabor está relacionado ao cheiro e algumas espécies apresentam sabores distintos como o amargo encontrado no angelim-amargoso e na peroba-rosa; o adocicado na cerejeira; o resinoso no *Pinus elliottii*; o picante na canela-sassafrás, dentre outros [11].

### **Cheiro**

Substâncias voláteis (concentradas principalmente no cerne) são responsáveis pelo odor agradável de algumas espécies, como imbuia, canela, cedro, louro e cerejeira. Outras espécies, exatamente em função desta característica, são indicadas para fins específicos, como por exemplo, cedro-rosa para fabricação de artigos de perfumaria (também utilizada como incenso); cedro para produção de caixas de charutos visando a acentuação do sabor; cinamomo-cânfora por sua propriedade repelente [2].

Este odor natural pode limitar a utilização de uma determinada espécie, porém é importante destacar que uma grande variedade de espécies apresenta-se inodora, qualificando-as para diversos fins, até mesmo para utilização na indústria alimentícia.

Em contrapartida, existem espécies que apresentam odor desagradável, como o piquiá e a cupiúba [11]. Outras também apresentam *saponinas* em suas células que, quando trabalhadas a seco, desprendem pós capazes de causar irritações à pele, olhos e nariz, dores de cabeça e até alergias, como o tamboril, ipê-do-cerrado e a cabreúva. A Tabela 5 apresenta outras espécies capazes de causar alguns efeitos negativos aos seres humanos.



Tabela 5: Algumas espécies tidas como prejudiciais à saúde e seus efeitos negativos para os seres humanos causados pelas substâncias depositadas no interior de suas células [2].

NOME COMUM	NOME CIENTÍFICO	EFEITOS NEGATIVOS SOBRE HUMANOS
Caviúna	<i>Machoeirim scleroxylon</i>	Dermatite, asma, tonturas, ânsia
Jacarandá-da-bahia	<i>Dalbergia nigra</i>	Dermatite
Peroba-amarela	<i>Paratecoma peroba</i>	Dermatite
Jacareúba	<i>Calophyllum brasiliense</i>	Tonturas

Outras espécies apresentam também substâncias especiais em suas células como carbonato de cálcio presente na baitoa e sílica nas espécies maçaranduba e itaúba que podem promover defeitos, danificando serras e equipamentos utilizados na usinagem.

### Brilho

O brilho é a luz refletida pelas paredes celulares. Em espécies como canela e itaúba [11] essa propriedade está presente e pode ser interessante visualmente para fabricação de móveis e jóias, proporcionando um acabamento diferenciado e lustroso.

### 3.3.2. Espécies de Madeira

Dentre tantas variedades de espécies de madeira existentes no Brasil, identificá-las nem sempre é fácil. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), por exemplo, possui um acervo de 18.000 amostras de madeiras, pertencentes a 3.000 espécies, 600 gêneros e 100 famílias [11].

Botanicamente, as espécies vegetais se subdividem em Gimnospermas e Angiospermas. Nas Gimnospermas, a classe mais importante é a das Coníferas, (*softwoods*, ou seja, madeiras moles). Normalmente ocupam grandes áreas de florestas em regiões frias, fornecendo madeira para indústrias dos mais diferentes segmentos. No Brasil (especificamente por toda região sul) encontramos uma

conífera típica: o pinho do Paraná. Ainda na classe das coníferas, o gênero *Pinus*, que apresenta dezenas de espécies, também foi introduzido com sucesso no Brasil, tendo com destaques: *Pinus elliottii*, *Pinus taeda*, *Pinus oocarpa*, dentre outras variedades [17].

Nas Angiospermas, os mais organizados vegetais, distinguem-se as Dicotiledôneas (*hardwoods*, ou seja, madeiras duras). Produzem árvores com folhas de diferentes formatos, renovadas periodicamente, e constituem a quase totalidade das espécies das florestas tropicais. No Brasil, diversas dicotiledôneas são destaques no mercado madeireiro, citando-se algumas delas: Aroeira do Sertão, Amendoim, Caviúna, Cedro, Cabriúva, Copaíba, Cerejeira, Ipê, Imbuia, Jacarandá da Bahia, Jequitibá Rosa, Mogno, Pau Marfim, Virola, Pau Brasil, Peroba do Campo, Peroba Rosa, Sucupira. O gênero *Eucalyptus*, também da classe das dicotiledôneas, apresenta centenas de espécies e estão presentes e adaptados perfeitamente nas regiões sul e sudeste do Brasil, com predominância do *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus paniculata* dentre outros [17].

Dentre as diversas espécies de madeira, apenas 3 espécies foram selecionadas para serem analisadas neste trabalho: pupunha, pau-brasil e imbuia. A pupunha, considerada uma pseudo-madeira, ou seja, resultado de aproveitamento do estipe do palmito, foi escolhida por seu material diferenciado, pela visualização incomum de suas fibras e pela sua característica sustentável; o pau-brasil por caracterizar-se como madeira nobre e de grande resistência e a imbuia foi escolhida por ser uma madeira comumente utilizada na fabricação de jóias. Tais espécies foram submetidas, dentre outras caracterizações, a análises microestruturais visando possível aplicabilidade no design de produto, especificamente no design de jóias.

### 3.2.1.

#### Pupunha

De nome científico *Bactris gasipaes*, Kunth; da família *Arecaceae* (antiga *Palmae*), a pupunha é popularmente conhecida como pupunheira ou pupunha-verde-amarela. Foi catalogada originalmente em 1816 por Kunth e acredita-se ter tido origem na região oeste da bacia Amazônica, entre Brasil, Peru e Bolívia [19]. Atualmente a pupunha vem sendo plantada na Costa Rica, Trinidad, Jamaica, Porto Rico, Cuba, Honduras, Colômbia, Peru, Bolívia e Brasil.

De clima tropical, a pupunheira possui grande importância devido as suas vastas possibilidades de utilização, em que todas as partes podem ser aproveitadas, embora os frutos e o palmito sejam economicamente os mais importantes [20].

Morfologicamente, a pupunheira é uma palmeira ereta, normalmente coberta de espinhos, com troncos cilíndricos de 10 a 25 cm de diâmetro, podendo atingir até 20 metros de altura na fase adulta (Figura 8).



Figura 8: Pupunheiras [21].

Apresenta-se em forma de touceira com até 20 perfilhos adultos [21]. O manejo dos perfilhos é uma prática que nem todos utilizam, porém quando não se realiza o manejo ou desfilhamento, a touceira corre o risco de deformar-se, como podemos observar na Figura 9.

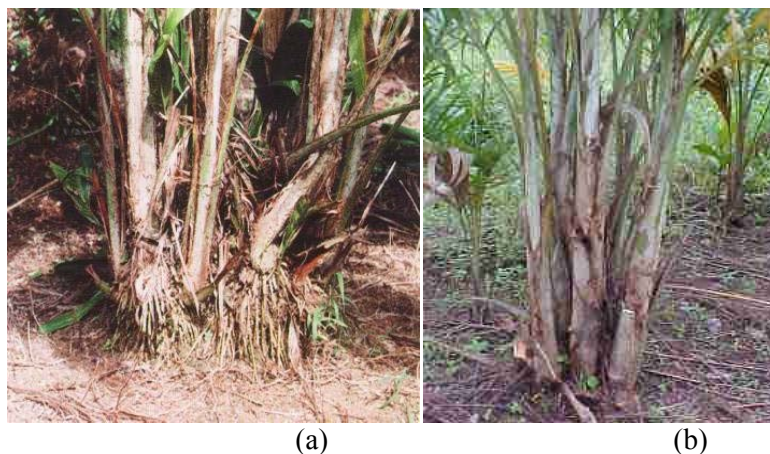


Figura 9: Touceiras: sem manejo (a) e manejada (b) [21].

A pupunheira tem a facilidade de adaptar-se a diversos tipos de clima e solo, porém prefere um clima tropical úmido, com solo profundo de textura areno argilosa, bem drenado. É uma espécie de crescimento acelerado, e para colheita do palmito faz-se necessário que a palmeira esteja com altura entre 1,60 a 1,70m e aproximadamente no 15º mês de plantio, dependendo do manejo escolhido, com a folha flecha fechada ou iniciando abertura, Figura 10 [21].



Figura 10: Folhas flechas [21].

A região periférica é a parte aproveitável do estipe da pupunha utilizada na confecção de seu compensado, obtido a partir de ripas prensadas horizontalmente com adesivo de base vegetal. Tem destaque no design por ser um material lenhoso

e de alta rigidez, alcançando um acabamento final de textura fina e altíssima qualidade, com destaque na fabricação de móveis (Figura 11).

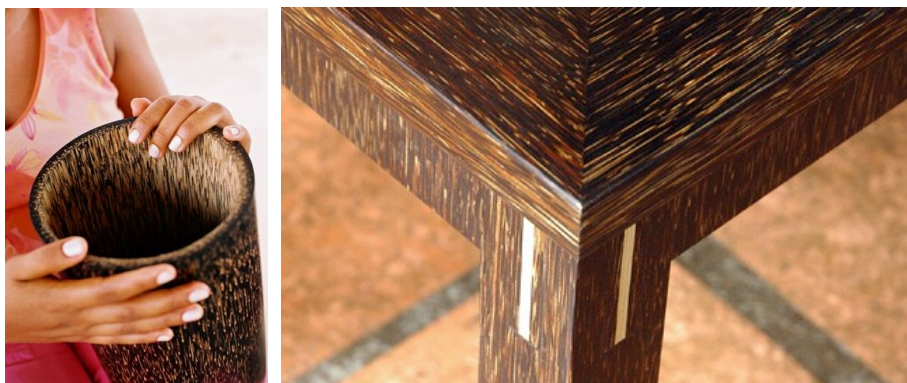


Figura 11: Estipe da *Bactris gasipaes* e detalhe de móvel fabricado em compensado de pupunha [22].

No Brasil, sua importância cresceu consideravelmente por ser uma ótima alternativa para o cultivo sustentável do palmito, presente na região interna do caule (secundário) [19] (Figura 12). Esse palmito tem excelente qualidade e seu cultivo é encontrado nos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Roraima, Rondônia, Pará, Maranhão, norte do Mato Grosso, Bahia, Espírito Santo, São Paulo e Rio de Janeiro. No interior da Amazônia, a pupunha constitui-se em uma valiosa e versátil planta de subsistência [23]. Sua raiz pode ser usada como vermicida e suas folhas para fabricação de fibras [19].



Figura 12: Palmitos da pupunha [21].



Seu fruto é o principal objetivo de cultivo para fins comerciais na região norte do Brasil, o que difere de outras regiões onde a importância é o cultivo do palmito [24]. Carnosos, dispostos em cachos, com cores variando entre o vermelho, amarelo e laranja, os frutos são utilizados não somente para alimentação mas também para produção de farinha e óleo [23] de maior valor nutritivo e energético, rico em caroteno (pró vitamina A) e carboidratos [21], Figura 13.

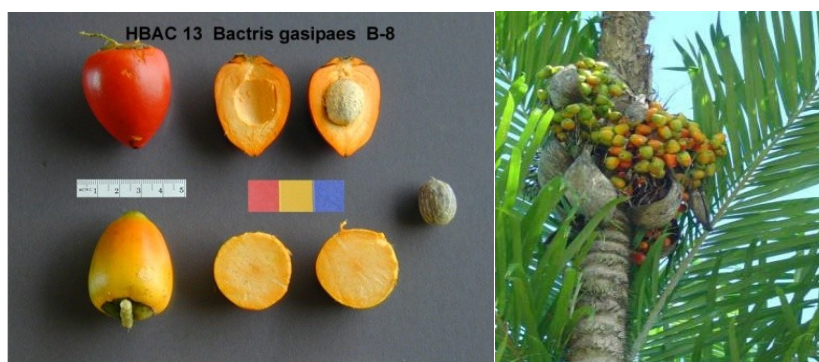


Figura 13: Frutos da Pupunha [21].

A pupunha apresenta em sua composição química, de modo generalizado, 30% de celulose, 23,15% de hemicelulose, 6,35% de lignina e 40,5% de outras substâncias, como mostrado na Figura 14 [25].

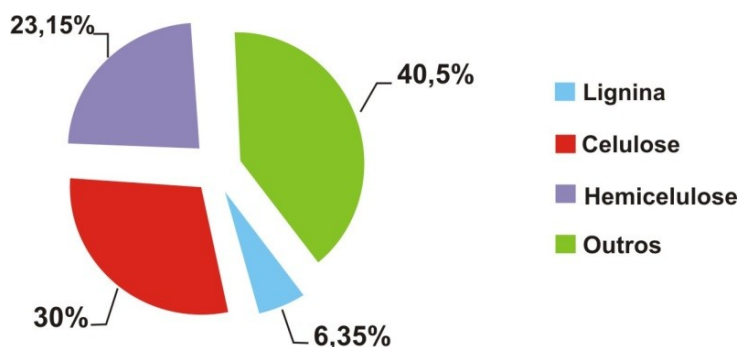


Figura 14: Composição química dos resíduos da pupunheira [25].

Comparativamente, a madeira (da espécie pinus) possui em sua composição 44 a 50% de celulose, 20 a 25% de hemicelulose, 16 a 33% de lignina e de 5 a 10% de extrativos [25].

### 3.2.2.

#### Pau-Brasil

O pau-brasil, de nome científico *Caesalpinia echinata* Lam., onde *echinata* significa acúleo no tronco e ramos [26], pertence à família *Caesalpinaceae*; do gênero *Caesalpinia* em homenagem ao botânico Andrea Caesalpinio. De sinonímia botânica *Guilandina echinata* (Lam.) Spreng., apresenta-se também sob os nomes populares de pau-de-pernambuco, pau-rosado, ibirapitanga, ibirapiranga, ibirapita, ibirapitã, muirapiranga, orabutã, brasileto [27].

A madeira nobre que deu nome ao nosso país [28], hoje é uma árvore rara na flora brasileira. Pau-Brasil em tupi é ibira pitanga que significa árvore ou madeira vermelha.

Em 07 de dezembro de 1978 por meio da lei n.º 6.607, o pau-brasil foi declarado oficialmente como árvore nacional do Brasil (símbolo nacional) e foi instituído o dia 03 de maio como o dia do pau-brasil [26].

O corte do pau-brasil foi provavelmente a primeira atividade econômica dos colonos portugueses no século XVI na recém-descoberta Terra de Santa Cruz, e explorado por um período de quase 400 anos, afirmam alguns historiadores [26]. Durante os vários ciclos do seu comércio seu principal valor vinha da utilização do corante [8], retirado do lenho, chamado de brasilina, que após extraído sofre processo de oxidação e passa à brasileína (de cor vermelho-cristalino - $\text{C}_{16}\text{H}_{12}\text{O}_5$ ) [4] que tinha a finalidade de tingir tecidos e de fabricar tintas de escrever [27].

Atualmente está na lista do IBAMA entre as espécies ameaçadas de extinção, porém tão ameaçada quanto diversas outras que povoam a Mata Atlântica, que apesar de ser um dos ecossistemas de maior diversidade é também um dos mais ameaçados do planeta. Porém, existe um programa que prevê o plantio de 500 mil mudas de pau-brasil em 5 anos (através do CEPEC/CEPLAC), pretendendo elevar este valor para 2,2 milhões de mudas plantadas com parcerias [26]. Geograficamente, a espécie pode ser encontrada na costa atlântica brasileira desde o Rio Grande do Norte até o Rio de Janeiro [26] e é particularmente frequente no sul da Bahia.

É uma árvore de grande beleza e de grande potencial ornamental [26] (Figura 15), típica do interior da floresta primária densa, que prefere terrenos secos [27]; suas flores (Figura 15), amarelas e perfumadas, florescem entre final

de setembro e meados de outubro, e as folhas apresentam comprimento entre 10 - 15 cm [27]. Apresenta tronco espinhoso quando jovem (com presença de acúleos – Figura 16), reto e relativamente fino, de 20 – 40 cm de diâmetro e de casca pardo-cinzenta ou pardo-rosada [29], podendo atingir tamanho mediano de 8 a 12 m de altura (há citações em que alguns exemplares do passado atingiam até 30 m de altura).

As folhas do pau-brasil produzem um chá que pode ser usado contra diabetes; o pó da madeira pode fortalecer as gengivas e, em decocção, as cascas podem combater diarreias e desinterias [30].



Figura 15: Árvore e flores do pau-brasil [27].



Figura 16: Tronco do pau-brasil com presença de acúleos [31].



O pau-brasil é uma madeira dura, compacta, pesada e resistente, de textura fina, com alburno (mais claro) diferenciado do cerne [27] (Figura 17). Porém, apesar destas características, permite um bom trabalho manual, de acabamento suave. Sua madeira apresenta coloração alaranjada assim que cortada, porém após certo tempo em contato com o ar pode adquirir um tom mais escuro, quase roxo [28].



Figura 17: Corte de tronco de pau-brasil com alburno diferenciado do cerne [32].

A madeira do pau-brasil, anteriormente aproveitada para construção civil e naval, atualmente é utilizada apenas para confecção de arcos para instrumentos de corda, principalmente de violino (Figura 18) - mas também violoncelo e contrabaixo - por parecer possuir uma combinação adequada entre peso, flexibilidade e robustez, dispondo de menor quantidade de madeira e tendo excelente acabamento [28]. Sua densidade, propriedade física da madeira relacionada à resistência, revela-se de grande importância neste contexto; onde quanto maior a densidade, maior a resistência do arco. Por meio de ensaios, concluiu-se que, para produção de arcos de qualidade, varetas com densidade aparente (12% de umidade), e com valores entre  $0,95 \text{ gcm}^{-3}$  e  $1,05 \text{ gcm}^{-3}$  foram considerados ideais [33].



Figura 18: Arco de violino fabricado em pau-brasil [34].

Um ensaio referente ao teor de lignina mostrou valores diferentes para o alburno e o cerne em relação à casca de pau-brasil, Tabela 6. A casca de pau-brasil mostrou também o menor valor de lignina dentre as amostras analisadas quando comparada ao eucalipto, angico-preto e pinus [32]. Os valores para a lignina, mostrados na Tabela 6, representam entre 50 a 70% das paredes celulares [32].

Tabela 6: Teor de Lignina Klason presente em diferentes partes da madeira de pau-brasil e em madeiras comerciais de eucalipto, angico-preto e pinus [32].

Madeira		Lignina Klason mg/g MS de madeira	
Pau-brasil	casca	$500 \pm 50$	a
	alburno	$650 \pm 50$	b
	cerne	$700 \pm 0$	bc
Eucalipto	cerne	$766 \pm 22$	c
Angico-preto	cerne	$719 \pm 28$	bc
Pinus	madeira	$709 \pm 68$	bc

### 3.2.3.

#### Imbuia

Da família *Lauraceae*, a imbuia apresenta-se sob nome científico *Ocotea porosa* (Nees & Mart.) Barroso, com sinônimas botânicas: *Phoebe porosa* (Nees & Mart.) Mez, *Oredaphne porosa* Nees & Mart. e *Cinnamomum porosum* (Nees & Mart.) Kosterm. Seus nomes populares, além de imbuia, são: embuia, umbuia, canela-imbuia, imbuia-clara, imbuia-parda, imbuia-preta, imbuia-lisa, imbuia-brasina [27].

É uma planta característica da mata de pinhais do Planalto Meridional e de partes mais elevadas da costa Atlântica, ocorre frequentemente por toda região sul do país principalmente entre o sul do Paraná e norte de Santa Catarina, porém com uma ampla área de dispersão, incluindo São Paulo [27].

A imbuia é uma espécie que, assim como pau-brasil, está na lista oficial do IBAMA de espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção [35]. Sempre desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento econômico e cultural nas regiões de abrangência da Floresta Ombrófila Mista [8]. Possivelmente é a espécie arbórea de maior durabilidade da “floresta com araucária”, podendo ultrapassar 500 anos de vida [36].

Seu tronco apresenta casca espessa cinzento-escura [29] com altura variável entre 7 a 20 m e diâmetro de 50 a 150 cm e de copa pequena. Possui folhas elípticas a laceoladas, fruto globoso de cor negra e pequenas flores amareladas [27]. A Figura 19 mostra a árvore e a folhagem características da imbuia.



Figura 19: Árvore e folhagem da imbuia [27].

Anatomicamente, suas fibras são curtas e estreitas, apresentando aproximadamente  $23\mu\text{m}$  de largura,  $0,99\text{mm}$  de comprimento médio e espessas paredes com  $5\mu\text{m}$  [36].

A espécie imbuia apresenta cores variadas, superfície lisa, textura média, odor característico e agradável, porém seu pó pode ser irritante [29]. Sua resistência é mediana, caracteriza-se como moderadamente pesada (densidade de  $0,50\text{ g/cm}^3$ ), de grande durabilidade, boa trabalhabilidade e valores de retratibilidades: radial (2,7%), longitudinal (0,51%), tangencial (6,3%) e volumétrica (9,8%) [37]. Além disto, possui poder calorífico de  $4.670\text{cal/g}$  e teor de lignina de 27,7%, além de boa resistência a ataques de microrganismos [36].

A madeira da imbuia é utilizada na construção civil (esquadria, pontes, escadas) e também na marcenaria e no mobiliário de luxo [27] (Figura 20), folhas faqueadas decorativas, acabamentos internos, tábuas e tacos para assoalhos, marcos de portas venezianas, vigas caibros, ripas, entalhe, coronhas de armas de fogo e instrumentos musicais [38].



Figura 20: Móveis fabricados em madeira imbuia: mesa [39] e banco Samurai [40].

### 3.3.

## Caracterização de propriedades da madeira

### 3.3.1

#### Abrasão

O desgaste abrasivo pode ser definido como um dano em uma superfície sólida, envolvendo perda progressiva de massa causada pela presença de partículas sólidas ou devido ao movimento relativo entre uma superfície abrasiva e o material [41]. Tais partículas podem ser produto de um processo, um fragmento desgastado ou até mesmo partículas de fora do sistema, como sujeiras, que podem estar aprisionadas na interface entre as superfícies em movimento, ou serem as protuberâncias que fazem parte da rugosidade de uma das superfícies [42].

Os diversos mecanismos de desgaste que podem ocorrer são: microtrincas, microdeformações e microcisalhamentos, que estão mostrados esquematicamente na Figura 21 [43].

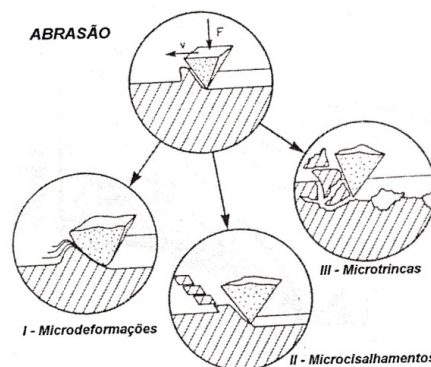


Figura 21: Mecanismos de desgastes abrasivos [43].

O ensaio de abrasão consiste em determinar a resistência do material ao desgaste através de um abrasímetro. Este ensaio pode ser executado conforme as recomendações da norma DIN 53516 e simula o arraste de um determinado objeto sobre uma superfície [43].

A taxa de desgaste,  $W$ , pode ser calculada pela seguinte equação [43]:

$$W = \frac{\Delta}{A \cdot L} \quad (1)$$

onde  $\Delta V$  é o volume desgastado,  $A$  é a área da seção transversal da amostra e  $L$  é a distância de deslizamento. Como

$$\Delta = \frac{\lambda}{\rho} \quad (2)$$

onde  $\Delta$  é a perda de massa causada pelo desgaste e  $\rho$  é a massa específica do material removido tem-se:

$$W = \frac{\Delta m}{A \cdot L \cdot \rho} \quad (3)$$

A partir da Equação 3 é possível calcular a taxa de desgaste específica,  $W_s$ , que é definida como sendo a razão entre a taxa de desgaste e a pressão,  $p$ , exercida sobre a amostra [43]. Assim,

$$W_s = \frac{W}{p} \quad (4)$$

e como

$$p = \frac{F_N}{A} \quad (5)$$

onde  $F_N$  é a força normal exercida sobre a amostra, tem-se de (3), (4) e (5) que:

$$W_s = \frac{\Delta m}{F_N \cdot L \cdot \rho} \quad (6)$$

A densidade aparente de uma espécie de madeira pode ser determinada de acordo com a norma ABNT NBR 7190, sendo definida por:

$$\rho = \frac{m_{12}}{V_{12}} \quad (7)$$

onde  $m_{12}$  e  $V_{12}$  são, respectivamente, a massa e o volume de corpos de prova com 12% de teor de umidade.

Um estudo comparativo da resistência ao desgaste abrasivo em materiais de origem vegetal analisou o desempenho do bambu gigante, subdividido em 2 tipos de corpos de prova (A e B), em relação ao Eucalipto e ao Jatobá, utilizados como elementos de piso. Na Figura 22 podemos observar os resultados do ensaio de abrasão para cada espécie com perda de massa durante 1000 ciclos de abrasão. Constatou-se que, conforme aumenta-se o número de ciclos, o eucalipto e o bambu gigante são mais resistentes que o jatobá em relação ao desgaste abrasivo com perda de massa [44].

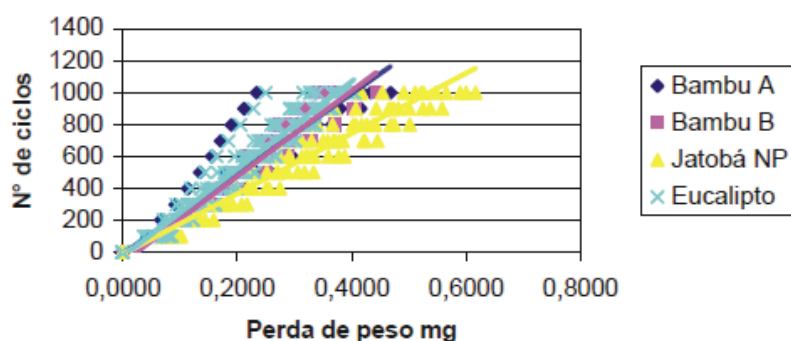


Figura 22: Ensaio de abrasão - perda de massa [44].

Em outro ensaio de resistência à abrasão, utilizando corpos de prova cilíndricos de pupunha e coqueiro, executados conforme a norma DIN 53 516, foram encontrados valores de perda de massa para a pupunha (9,8%) inferiores ao coco (19,8%) [45]. Os valores reportados para a pupunha foram inferiores também em relação a outras madeiras como ipê (12,6%) e sucupira (15,7%) [45].

### 3.3.2

#### Absorção

A quantidade de água contida na madeira influencia em suas propriedades mecânicas [44] e, sob variações de umidade, a madeira tem a capacidade de retrair-se ou de expandir-se de modos diferentes, de acordo com o sentido das fibras [45].

Por ser um material higroscópico, a árvore ao ser abatida perde contato com o solo e tende a perder o teor de umidade que possui. Inicialmente esta perda de umidade ocorre de forma acelerada (por evaporação de água de capilaridade) e em seguida ocorre a evaporação de impregnação (água contida nas paredes dos vasos, fibras e traqueídes) [44]. Porém, é importante destacar que alterações nas

condições ambientais, como a umidade relativa do ar, influenciam também neste processo [46].

A umidade na madeira de uma árvore pode variar entre seus elementos constituintes, podendo apresentar valores entre 40 e 213% no albarno e entre 31 a 249% no cerne [47]. Uma madeira que retém muita umidade diminui sua resistência, favorece o desenvolvimento de fungos, tem maior chance de rachar ao secar, além de diminuir suas qualidades isolantes [48].

Um estudo, avaliando o teor de umidade de 7 espécies de *Eucalyptus* (*Eucalyptus citriodora*, *E. tereticornis*, *E. paniculata*, *E. pilularis*, *E. cloeziana*, *E. urophylla* e *E. grandis*) encontrou valores (Figura 23) que variaram de 62 (*Eucalyptus citriodora*, densidade básica igual a  $0,73 \text{ g/cm}^3$ ) a 102% (*Eucalyptus grandis*, densidade básica igual a  $0,49 \text{ g/cm}^3$ ). Nas espécies com madeiras mais densas, os teores de umidade foram mais baixos, como em *E. citriodora* ( $0,73 \text{ g/cm}^3$ ) com 18,1%; *E. paniculata* ( $0,72 \text{ g/cm}^3$ ) com 15,8% e *E. cloeziana* ( $0,72 \text{ g/cm}^3$ ). As espécies *E. tereticornis* ( $0,66 \text{ g/cm}^3$ ) e *E. pilularis* ( $0,60 \text{ g/cm}^3$ ) foram as espécies que apresentaram valores intermediários de teor de umidade e, por fim, os mais elevados foram em *E. urophylla* ( $0,54 \text{ g/cm}^3$ ) e *E. grandis* ( $0,49 \text{ g/cm}^3$ ). Ao contrário das espécies *E. citriodora* com teor de 18,1% e *E. paniculata* com 15,8%, as demais espécies apresentaram coeficientes de variação acima de 20% e elevada variabilidade no teor de umidade entre árvores de uma mesma espécie [49].

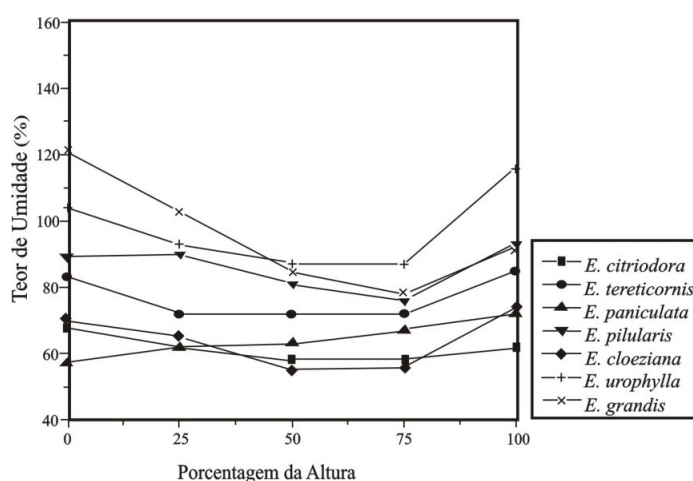


Figura 23: Variação do teor de umidade da madeira, ao longo do tronco, de sete espécies de *Eucalyptus* [49].



### 3.3.3.

#### Análise Termogravimétrica – TGA

A análise termogravimétrica (TGA), ou termogravimetria (TG), que é o termo comumente empregado e particularmente utilizado em polímeros, baseia-se no estudo da variação de massa de uma substância, resultante de uma transformação química (decomposição, degradação) ou física (sublimação, evaporação) ou em função do tempo ou da temperatura. Ou seja, mede a perda ou o ganho de uma substância, enquanto a amostra é submetida a uma programação com temperatura controlada, sob uma atmosfera especificada [50]. Esse método termo-analítico encontra ampla aplicação tanto em controle de qualidade como em pesquisa de produtos industriais, como polímeros, produtos farmacêuticos, argilas, metais e ligas. Pode-se dizer que os componentes básicos da termogravimetria existem a milhares de anos. Em paredes do antigo Egito (2500 A.C), representações da balança e do fogo foram descobertas, assim como as utilizadas durante o século XIV para refinamento de ouro [51].

Na TGA, uma pequena quantidade da amostra, ao ser aquecida, vai perdendo seus componentes; essas perdas de massa, usualmente em percentual (m%), são registradas em um gráfico e representadas pela inclinação da curva até a formação de um patamar, como pode ser observado na Figura 24 [51]. Quanto mais baixa a temperatura de início de perda de massa ( $T_i$ ), menor é a estabilidade de um material às condições do experimento.

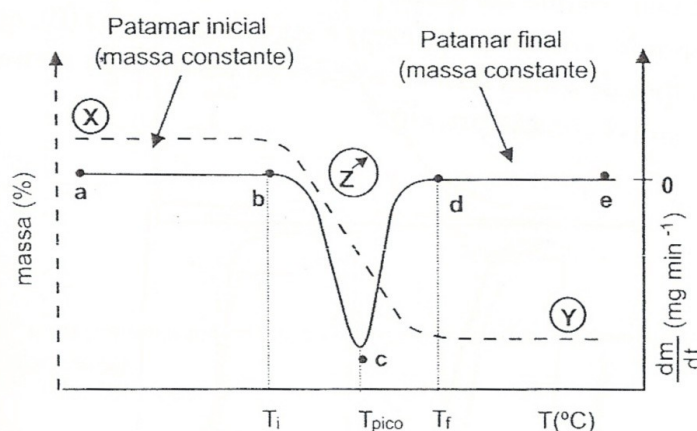


Figura 24: Curvas TG (linha tracejada) e DTG (linha sólida) de uma reação de decomposição térmica que ocorre numa única etapa [52].

Na termogravimetria derivativa (DTG), as curvas são registradas a partir das curvas de TG (Figura 24) e correspondem à primeira derivada da variação de massa em relação ao tempo ( $dm/dt$ ) ou em relação à temperatura ( $dm/dT$ ) [52].

As informações nas curvas DTG são visualmente mais acessíveis, como por exemplo, permitir a determinação rápida da temperatura onde ocorre algum evento (por exemplo, a temperatura de pico) ( $T_{máx}$ ), mas não quer dizer que ela possua mais informações que a curva TG. Resumidamente, esta técnica permite determinar, além da temperatura de degradação a quantidade de umidade; substâncias voláteis; composição química de materiais (como compostos orgânicos e minerais); dentre outras [50].

A fibra de coco, composta principalmente de celulose e lignina, é uma fibra curta e pouco flexível quando comparada a outras fibras lignocelulósicas. Após análise do seu comportamento térmico (TG/DTG, Figura 25), suas curvas indicaram em sua composição valores representativos em torno 50% de polissacarídeo, 10% de água, e 30% de resíduos [50].

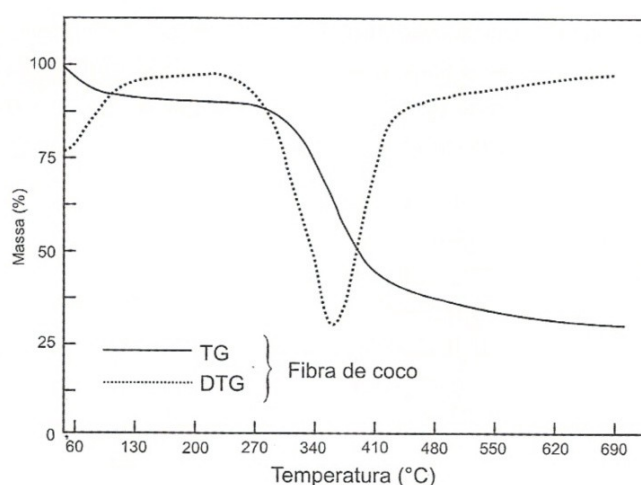


Figura 25: Curvas de TG / DTG para fibra de coco exposta ao ambiente por sete dias e tratada em solução de NaOH por 48 horas [50].

O curauá, da família das bromeliáceas, é uma planta herbácea que produz um fruto semelhante ao abacaxi, cujas folhas fornecem uma fibra lignocelulósica. Após um ensaio de TGA com suas fibras, as curvas obtidas (Figura 26) apresentaram os seguintes resultados: com a temperatura em torno de 60°C, foi observada uma perda de 5% (referente à vaporização da água presente na fibra).

Por volta de 300°C, iniciou-se uma etapa de degradação que foi atribuída à degradação da lignina e finalmente à 360°C à despolimerização da hemicelulose e clivagem das ligações glicosídicas da celulose [50].

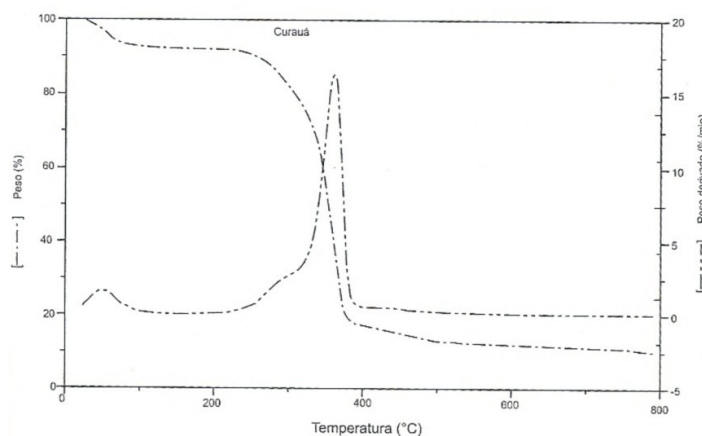


Figura 26: Curvas de TG / DTG da fibra de curauá [50].

### 3.3.4.

#### Difração de Raios-X

Os raios-X são responsáveis por compreendermos os arranjos moleculares e atômicos de compostos orgânicos ou inorgânicos. A difração de raios-X é uma técnica de espalhamento da radiação eletromagnética de comprimentos de ondas curtos e altas energias, gerada pelo bombardeamento de feixes de elétrons que, ao incidir sobre um material, determina seu percentual de cristalinidade [53]. Com esse processo, os elétrons da camada mais próxima do núcleo (camada K) são ejetados, deixando a posição vazia e criando lacunas nessa camada [54].

A difração de raios X ocorre de acordo com a Lei de Bragg e essa condição é expressa através da sua equação

$$(8)$$

onde:  $\lambda$  é o comprimento de onda da radiação incidente;  $n$  é um número inteiro (ordem de difração);  $d$  é a distância interplanar para o conjunto de planos  $hkl$  da

estrutura cristalina;  $\theta$  é o ângulo de incidência dos raios X (medido entre o feixe incidente e os planos cristalinos).

A cristalinidade da celulose é importante para definir propriedades físicas e químicas em materiais lignocelulósicos e neste caso poderá determinar a estabilidade de espécies de madeiras. Um modo simplificado se calcular o índice de cristalinidade da celulose é obtido pela equação [55]:

$$\text{Cristalinidade}(\%) = (I_{002} - I_{am}) / I_{002} \times 100 \quad (9)$$

onde,  $I_{002}$  = intensidade do plano (002) e  $I_{am}$  = intensidade de reflexão do material amorfo. Este método é largamente utilizado para estudo de fibras naturais [55].

Análises de difração de raios-x realizados com materiais lignocelulósicos normalmente apresentam difratogramas semelhantes. Ensaios com fibra de ubuçu e pupunha revelaram índices de cristalinidade de 60,6% e 70%, respectivamente (Figura 27) [56, 45].

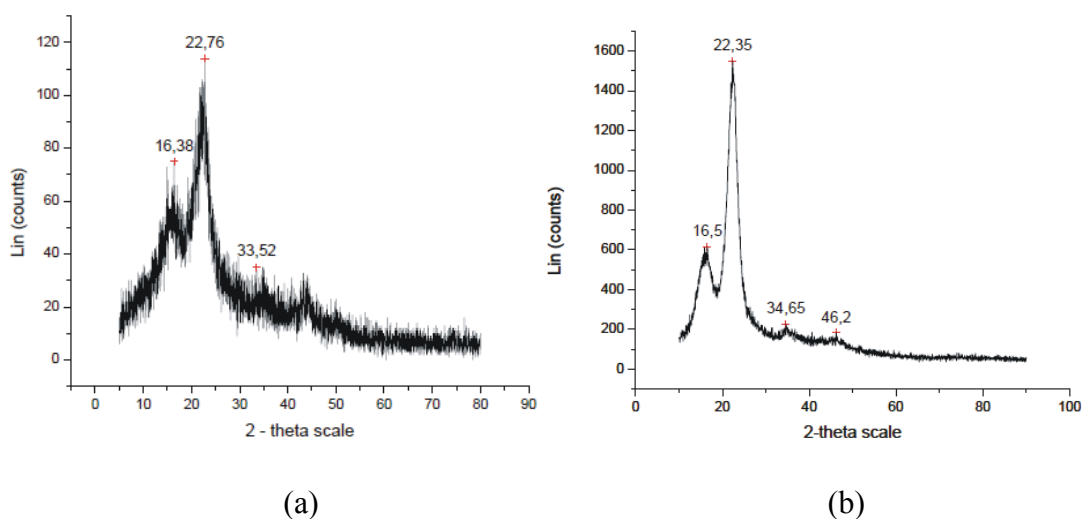


Figura 27: Difratogramas: (a) fibra de ubuçu [56] e (b) pupunha [45].

### 3.3.5

#### Deterioração

##### 3.3.5.1

#### Biodeterioração

A madeira destaca-se como um dos materiais biológicos mais resistentes à decomposição, devido principalmente à presença de lignina (um fungicida natural) capaz de protegê-la contra microrganismos [57]. Apesar disto, a deterioração natural de materiais lignocelulósicos é um processo que depende de diversos fatores como: condições climáticas, características intrínsecas dos materiais, afinidades dos microrganismos aos substratos presentes em suas composições, dentre outros [58] que, normalmente, não conseguimos evitar.

A degradação da madeira é causada por numerosos microrganismos que podem proliferar e liberar enzimas e/ou ácidos capazes de atacar a fração carboidrato através de um processo de hidrólise e que, em menor parte, oxidam a lignina [13].

Os microrganismos que degradam a madeira são conhecidos por xilófagos (do grego xylon, madeira e fagus, comer), dos quais destacam-se as bactérias, os insetos e os fungos. Estes agentes biológicos encontram nesse material, substâncias nutritivas como carboidratos, açúcares, amidos e resinas capazes de lhes fornecer energia. Além disto, agentes químicos e físicos também podem atuar em conjunto a esses agentes, promovendo uma aceleração do processo [17].

A intensidade da degradação varia de acordo com a espécie, embora o cerne da madeira seja a área de significativa resistência, atribuída a materiais frequentemente fenólicos, tóxicos a fungos.

Os fungos, principais responsáveis por causar maiores danos à madeira, normalmente atacam as espécies que apresentam teor de umidade adequado ao seu crescimento [17]. Dentre alguns fungos xilófagos destacam-se alguns basidiomicetos de podridão branca, capazes de degradar a espécie *Eucalyptus sp.*, através de enzimas oxidativas durante a fase vegetativa, como *Schizophyllum commune*, *Pycnoporus cinnabarinus* e o *Pleurotus ostreatus* um cogumelo comestível e eficiente biodecompositor de celulose [59]. A Figura 28 mostra fungos na madeira de *Pinus sp* estocada por cerca de três semanas no campo [13].



Figura 28: Madeira de *Pinus sp* estocada por cerca de três semanas com a presença de fungos [13].

As bactérias, em geral, podem favorecer a colonização por fungos, porém seu ataque não possui efeitos imediatos. Os cupins (que se alimentam fundamentalmente de celulose) e os besouros são os insetos capazes de causar maiores danos às madeiras serradas [17].

Os microrganismos aderem-se às superfícies principalmente em meios aquosos, porém dependem também do tipo de material e suas propriedades (tensão superficial, composição). Esta adesão das células microbianas à superfície é um pré-requisito para formação de um biofilme e em alguns casos, as características físico-químicas dos microrganismos associadas às características do meio circundante, como pH, temperatura e nutrientes, contribuem para este processo [60].

O biofilme é um tipo de massa ou agregado celular aderida a uma superfície que apresenta partículas de proteínas, carboidratos, lipídeos, vitaminas entre outras substâncias formando um verdadeiro ecossistema microbiano em uma complexa matriz de exopolissacarídeos (EPS), debaixo da qual, microrganismos crescem e tornam-se mais resistentes [61].

Um estudo relatou uma espécie de podridão do estipe da pupunheira, após verificação, em uma plantação, de amarelamento e morte das folhas e escurecimento dos tecidos internos (Figura 29), com posterior, podridão generalizada do estipe. De acordo com as características morfológicas identificaram o fungo patogênico à pupunha como pertencentes à espécie *Phytophthora palmivora* [62].



Figura 29: Corte transversal de palmito de pupunha com escurecimento dos tecidos internos [62].

Para avaliação da resistência natural a cupins e fungos xilófagos causadores de apodrecimento, um ensaio utilizando organismos xilófagos foi realizado em corpos-de-prova de pau-brasil, eucalipto e angico-preto. Como resultado, observaram que tanto o cerne de pau-brasil quanto o de angico-preto sofreram desgaste superficial, sugerindo resistência ao ataque de cupim. Além disso, a porcentagem de cupins mortos também foi maior nessas 2 espécies, sugerindo a presença de extrativos, possivelmente tóxicos a esses insetos. Ainda, no mesmo estudo, corpos-de-prova de pau-brasil, pinus, eucalipto e angico-preto também foram analisados para ataques de fungos apodrecedores (causadores de podridão branca e parda). Como resultados, destacaram-se a deterioração de podridão parda em maiores porcentagens no cerne de eucalipto. O cerne do pau-brasil apresentou desgaste superficial para todas as podridões, com resultados de perdas de massa próximos do angico-preto. O pinus, apesar de ser descrito como madeira altamente suscetível a ataque de fungos apodrecedores, apresentou perda de massa incipiente por ação do fungo da podridão parda, o qual provocou acentuada deterioração da madeira de eucalipto [32].

### 3.3.5.2.

#### Suor

O suor é a perda de líquido corporal e possui importantes funções fisiológicas, tais como manter a elasticidade e a hidratação da pele e, principalmente, permitir o resfriamento evaporativo do corpo (dissipando o calor gerado pelo metabolismo); garantindo a estabilidade da temperatura corporal interna em torno de 36°C [63]. Produzido e secretado pela pele através das glândulas sudoríparas (Figura 30), o suor é um líquido isotônico de pH entre 4 e 6,8, constituído de diversas substâncias, principalmente de cloreto de sódio em solução [64]. Sua composição pode, em alguns casos, alterar certas características dos materiais como brilho, textura e cor, podendo até mesmo provocar corrosão porém, bem menos agressiva que a corrosão microbiana.

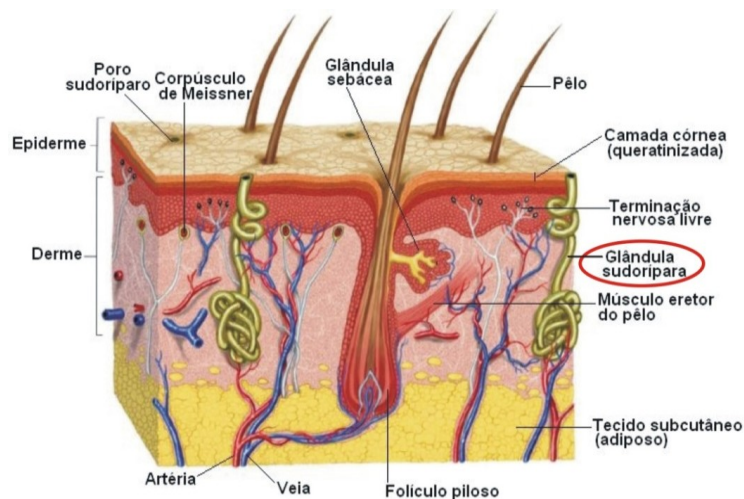


Figura 30: Estrutura da pele, com destaque para glândula sudorípara [65].

Muitas espécies de madeira, principalmente sob ação de calor e umidade, podem produzir pequenas quantidades de substâncias voláteis corrosivas, particularmente os ácidos acético e fórmico. O ácido acético pode ser resultado de um lento processo de hidrólise de grupos acetil presentes na hemicelulose, porém, esta liberação depende da constituição química da madeira, sendo maior em madeiras caracterizadas como duras. Em ensaio, analisando a produção de ácido livre produzido por algumas espécies de madeira, foi constatado um aumento progressivo de produção de ácido em Carvalho, Pinheiro do Paraná, Abeto e Bétula. Observou-se que mais de 90% do ácido era volátil e esse foi identificado cromatograficamente e quimicamente como ácido acético [66].



### 3.4

#### Jóias

As jóias sempre foram objetos de desejo material e da vaidade humana; falar da sua história é o mesmo que falar da história da civilização. O homem, desde os primórdios, escolhia objetos que lhes concedessem posição de guerreiro perante seu grupo ou proteção espiritual (como conchas, unhas ou dentes de animais). Já foram encontrados objetos precedentes ao período paleolítico; descobertas, em uma cidade fundada pelos sumérios no vale do Eufrates, jóias em ouro datadas de 3.500 a.C. [67].

Desde a antiguidade, a simplicidade da confecção de uma jóia era combinada com a decoração. Conforme o desenvolvimento avançava, suas técnicas ganhavam aprimoramento, porém, mesmo com ferramentas simples, os ourives foram capazes de produzir belíssimos exemplares de adornos, que não só resistiram ao tempo mas que, até os dias atuais, servem de inspiração para designers e joalheiros de todo o mundo.

Os povos etruscos eram perfeitos nas técnicas de granulação em ouro para modelar figuras humanas e compor suas peças, datadas no séc. VII A.C (Figura 31 a). Os romanos eram luxuosos, porém mais naturalistas e figurativos (Figura 31 b) em contraste com as jóias da Idade Média (Figura 31 c), que expressavam os ideais do cristianismo [67].



(a)



(b)



(c)

Figura 31: Jóia dos etruscos (a); adornos romanos (b); exemplar da Idade Média (c) [67].

O estilo Barroco (1600 a 1750), nascido em Roma, foi o resultado de um conjunto de fatores religiosos, políticos e culturais e tornou a jóia um símbolo de status social devido à quantidade de gemas (Figura 32 a). O Neoclássico (fins do século XVIII e praticamente todo o século XIX), foi um período onde os ourives seguiram inspiração greco-romana (Figura 32 b). As jóias eram exuberantes, criadas para a corte do Imperador Napoleão I, generosamente adornadas com diamantes, rubis, safiras, esmeraldas e pérolas e foram adotadas como padrão por toda a Europa [68].



Figura 32: Jóias de estilos: Barroco (a) e Neoclássico (b) [68].

No início do século XX um novo estilo, inspirado na Belle Èpoque do século XVIII, levou joalheiros como Cartier e Boucheron, a adotarem jóias delicadas. Em 1900, René Lalique realizou uma exposição de suas criações e transformou Paris na capital da joalheria. A Figura 33 (a) mostra um pregador em forma de libélula, de René Lalique [67]. A partir de 1925, a Art Decó transformou-se no segundo grande acontecimento das artes industriais. Eram produzidas “jóias industrializadas”, que utilizavam novos materiais sintetizados pela indústria como galatite, baquelite, níquel, alumínio, com o intuito de imitar as jóias preciosas (Figura 33 b), de design associado ao Cubismo e a arquitetura

Bauhaus,. Com o fim da 2ª Guerra Mundial, surgiu uma clientela que comprava jóias como investimento econômico [68].



(a)



(b)

Figura 33: Libélula de René Lalique (a) [67]; peças em estilo Art Decó (b) [68].

Atualmente novos materiais (como titânio, nióbio, plásticos, papéis) e novas ideias passaram a ser utilizadas pelos designers, buscando expressões e aplicações para a sustentabilidade. Podemos, por exemplo, reutilizar madeiras (Figura 34) descartadas de outros segmentos e, dessa forma, evitar o desmatamento e apoiar a reciclagem.



(a)



(b)

Figura 34: Jóias confeccionadas com madeira: anéis de pau-brasil (a) [69] e colar de prata, madeira e diamantes (b) [70].

## 4 Materiais e Métodos

### 4.1. Materiais

Para realização deste trabalho, foram escolhidas as espécies de pupunha pau-brasil e imbuia. As amostras de pupunha foram obtidas de uma plantação procedente do Estado da Bahia (próximo a Ilhéus) e cedidas pela Empresa Fibra Design Sustentável. As amostras de imbuia e pau-brasil são derivadas de reaproveitamento de móveis antigos, doadas pela oficina de madeira do Departamento de Desenho Industrial da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

#### 4.1.1. Fabricação dos corpos de prova

Para todas as espécies escolhidas, foram usinados corpos de prova na forma de tarugos cilíndricos (Figura 35) e na forma de um pó fino (Figura 36), sem preocupação com a granulometria. Os corpos de prova cilíndricos foram usinados e serrados com medidas de 12 e 20 mm de diâmetro e de comprimento, respectivamente, para todas as espécies.

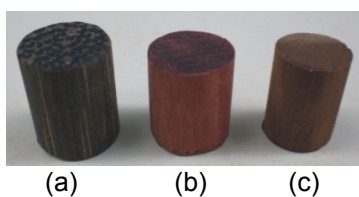


Figura 35: Corpos de prova cilíndricos de cada espécie de madeira: pupunha (a), pau-brasil (b) e imbuia (c).

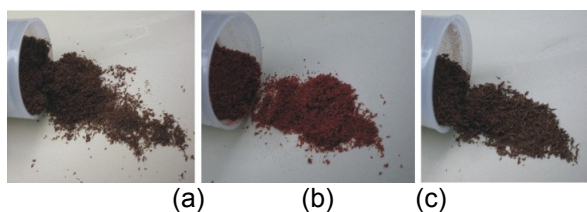


Figura 36: Amostras em pó das espécies pupunha (a), pau-brasil (b) e imbuia (c).

## 4.2.

### Métodos

A Figura 37 mostra o fluxograma geral de todos os ensaios realizados e da condição de superfície das amostras utilizadas nesses ensaios.

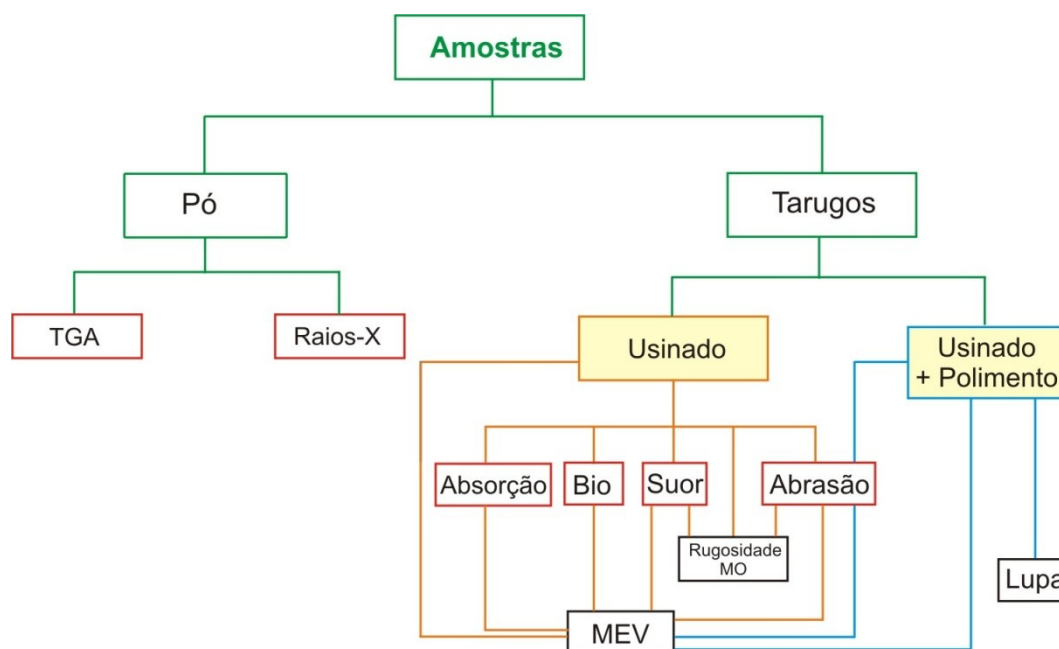


Figura 37: Fluxograma geral.

### 4.2.1.

#### Ensaio de Abrasão

Este teste foi realizado no Laboratório de Compósitos (PUC-Rio) em um abrasímetro da marca Hampden. As amostras foram acopladas ao equipamento, que consiste de um cilindro rotativo, recoberto com uma lixa de carbeto de silício nº60, e de um porta-amostra, que gira sobre seu próprio eixo. Assim, a amostra é girada enquanto avança sobre o cilindro. A Figura 38 mostra o abrasímetro e detalhes dos movimentos do porta-amostra e do cilindro. A ação combinada desses movimentos produz um percurso de 40 metros para a amostra e a força axial exercida pelo porta-amostra sobre a amostra garante um contato permanente dessa com o cilindro giratório. Essa força foi mantida constante e igual a 9,81 N, ou seja, 1kgf.

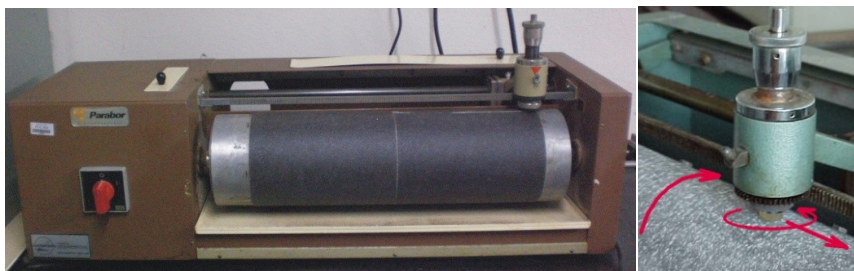


Figura 38: Abrasímetro e detalhe do dispositivo de ensaio à abrasão, mostrando o movimento de rotação do porta-amostra e do cilindro giratório.

Este ensaio foi executado conforme as recomendações da norma DIN 53516. Cada corpo de prova foi medido (diâmetro e comprimento) e pesado antes e após o desgaste em uma balança de precisão da marca Gehaka, modelo AG200 ( $\pm 0,0001$  g).

Foram selecionados 6 corpos de prova cilíndricos de cada espécie de madeira para simular o arraste e determinar a resistência do material à abrasão. Dentre estas 6 amostras, 5 amostras de cada espécie foram apenas usinadas e 1 amostra de cada espécie foi lixada e polida (com a finalidade de retirar quaisquer marcas referentes à usinagem).

O lixamento e o polimento foram realizados nas máquinas de polimento DP-10 da marca Struers (Figura 39), com lixas nas seguintes granulações: 320, 400, 600 e 1.200. Na sequência, foram utilizadas pastas de diamante de  $6\mu\text{m}$ ,  $3\mu\text{m}$  e  $1\mu\text{m}$ .



(a)

(b)

Figura 39: Máquinas de polimento com lixa (a) e com pasta de diamante (b).

#### **4.2.2. Caracterização de superfície**

Para avaliar o tipo de mecanismo de desgaste abrasivo predominante em cada espécie, as superfícies das amostras submetidas ao ensaio de abrasão foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) - marca Jeol JSM-6510LV - em uma lupa de baixo aumento. Para a análise no MEV, as amostras necessitaram ser previamente metalizadas, ou seja, recobertas com uma camada condutora de ouro. Essas análises foram realizadas com elétrons secundários e aceleração de feixe de elétrons entre 10-15 kV.

A lupa (marca Zeiss), permite uma análise macroscópica de toda a superfície da amostra, dando uma caracterização qualitativa macroscópica das superfícies. Para esta análise é necessário que o material seja previamente lixado e polido (como descrito no item 4.2.1).

#### **4.2.3. Análise de rugosidade**

Com o objetivo de quantificar o desgaste ocorrido nas superfícies de cada espécie, 3 amostras (uma apenas usinada, uma após ensaio de abrasão e uma após ensaio com suor) de cada espécie foram analisadas em um microscópio óptico Imager M2m – Zeiss, que permite controlar os movimentos x-y-z do deslocamento da amostra, de modo que é possível obter representações da topografia da superfície em 3D.

As amostras foram levadas ao Laboratório de Microscopia Digital (PUC – Rio) para medição das rugosidades aritmética (RA) e quadrática (RQ), usando objetivas de 5x. A rugosidade é calculada pelo software do equipamento, tendo como parâmetro a rugosidade *RMS* (raiz quadrada média da rugosidade), que é definida como o desvio padrão das alturas dos pixels da imagem [71].



#### 4.2.4

##### Ensaio de Absorção

Três amostras de cada espécie, escolhidas aleatoriamente, foram submetidas a ensaio acelerado de absorção de água por imersão em 800 mL de água destilada (Figura 40), e mantidas em um ambiente com temperatura controlada ( $T = 23 \pm 2^\circ\text{C}$ ).

O ensaio foi realizado no Laboratório de Microcaracterização de Materiais (PUC-Rio), seguindo a metodologia proposta na norma ASTM D570 para absorção de água em polímeros.

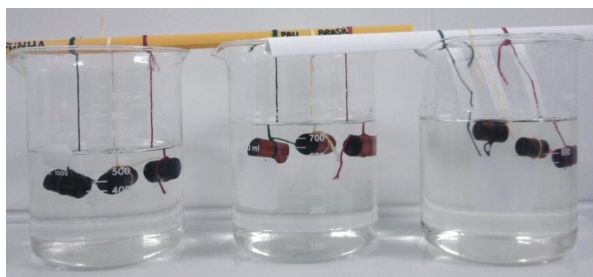


Figura 40: Corpos de prova de cada espécie submersos em água destilada.

O procedimento do ensaio consistiu nas seguintes etapas:

- i) inicialmente todos os corpos de prova foram medidos e pesados;
- ii) os corpos de prova foram imersos em água;
- iii) após um tempo pré-estabelecido e antes de cada pesagem, cada amostra foi manuseada da mesma forma sobre um papel absorvente para eliminação de excesso de água sobre as superfícies das mesmas;
- iv) após a remoção do excesso de água as amostras foram pesadas;
- v) as amostras foram recolocadas no recipiente para absorção.

Para pesagem foi utilizada uma balança de precisão da marca Gehaka, modelo AG200, com precisão de  $\pm 0,0001\text{g}$ .



As medidas do ganho de peso em função do tempo de imersão foram realizadas, em uma primeira etapa, após 24h, 36h, 48h, 60h, 72h, 84h, 96h e 120h de imersão. Após 120h, a frequência de pesagem foi diária pelo período de 1 semana. Em seguida a pesagem teve frequência de 2 vezes semanais durante 4 semanas; e após um período de quase 2 meses, a pesagem foi realizada de 10 em 10 dias, até a finalização do experimento, que totalizou um período de 3 meses. Ao final deste período, as amostras foram levadas a estufa para secagem para posteriormente serem metalizadas e analisadas no MEV e MO.

#### 4.2.5.

#### **Análise Termogravimétrica – TGA**

As amostras em pó, com aproximadamente 8,0mg, de cada espécie foram analisadas no Laboratório de Compósitos da Escola de Química/UFRJ, utilizando o equipamento Perkin-Elmer TGA, modelo Pyris1 TGA (Figura 41) com variação de temperatura entre 27°C e 800°C, sob atmosfera de nitrogênio, com vazão de 20 ml/min, e com uma taxa de aquecimento de 10 °C/min.



Figura 41: Perkin-Elmer, modelo Pyris1 (EQ/UFRJ).

#### 4.2.6.

#### **Difração de Raios-X**

A determinação do índice de cristalinidade e a caracterização estrutural das espécies analisadas foi realizada por difração de raios X, em amostras em pó das espécies de madeiras.

O ensaio foi realizado no Laboratório de Difração de Raios X (PUC-Rio), utilizando um difratômetro Siemens D5000, com varredura de  $2\theta$  entre  $5^\circ$  -  $70^\circ$ , com passo de  $0,02^\circ$ , tensão de 40kV, corrente de 35 mA e tubo de cobre ( $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ ).

#### 4.2.7.

#### Ensaio de Biodeterioração

Para o dimensionamento de contribuição dos microrganismos no processo de deterioração das diferentes espécies de madeira avaliadas neste trabalho, realizou-se a quantificação dos fungos filamentosos presentes nos biofilmes formados. Para tal, foi necessária a confecção de meios de cultura específicos para o crescimento deste grupo microbiano.

Os meios de culturas possuem, em sua formulação, nutrientes necessários para que os microrganismos possam multiplicar-se, permitindo seu estudo. Entre os principais componentes de um meio de cultura estão fontes de carbono e energia como os açúcares, fontes de nitrogênio, fósforo e sais minerais [72].

Os meios de cultura e solução preparados foram:

i) *Caldo Sabouraud*: meio de cultura caracterizado como fluido de processo, com a finalidade de cultivar leveduras, bolores e microrganismos acidúricos. A quantidade preparada foi de 400mL com os seguintes reagentes: Peptona universal (5,0g/L), Sacarose (20,0g/L) e Extrato de carne (3,0g/L).

Esses reagentes foram solubilizados em água destilada e foi adicionado uma razoável quantidade de ácido clorídrico (HCl) para ajustar o pH para meio ácido (aproximadamente 6,5). Em seguida o meio foi levado à autoclave para esterilizar por 15 minutos à atmosfera de 0,5 atm à  $111^\circ\text{C}$  (ebulição da água).

ii) *Gelose Sabouraud*: meio de cultura para contagem de colônias. Possui a mesma composição do caldo *Sabouraud* porém adicionado de Agar-agar.

Primeiramente o agar-agar foi fundido separadamente e em seguida foi adicionado aos outros componentes, já solubilizados, e o pH foi ajustado separadamente. Este meio de cultura foi colocado em frasco Schott e levado à autoclave por 15 minutos a  $111^\circ\text{C}$  para esterilização e posteriormente estocado à temperatura de  $5^\circ\text{C}$ .

A *solução salina* apresenta a finalidade de preservar o biofilme e de preparar diluições para quantificação dos fungos, onde é utilizada para dimensionar a quantidade de colônias. A quantidade preparada foi de 200mL, com água destilada e 1,8g de NaCl.

#### 4.2.7.1.

##### Métodos

Para montagem experimental e início do processo de formação de biofilme sobre as superfícies das madeiras, os corpos de prova foram colocados individualmente em um frasco Schott aberto com 20mL do *caldo Sabouraud*. Cada amostra foi identificada e exposta, à temperatura ambiente no Laboratório de Biorrosão (PUC-Rio), para contaminação e crescimento de fungos existentes no ar, por um período aproximado de 15 a 20 dias. As amostras foram inseridas nos frascos com a área de maior interesse voltada para baixo, para maior contato com o meio de cultura. Os frascos foram deixados abertos para contaminação e crescimento de fungos existentes no ar.

Após este período, para a captação dos biofilmes nas superfícies, os frascos Schott foram colocados na câmara de fluxo laminar onde cada corpo de prova foi pinçado e transferido do frasco Schott para um becker. Iniciou-se a raspagem do biofilme adicionando 9,0mL de solução salina para obtenção de uma suspensão celular. A técnica escolhida foi a de spread-plate (técnica em superfície para contagem de unidades formadoras de colônias - UFCs) onde aproximadamente 15 a 20 mL da gelose *Sabouraud* foi vertida em placa de petri e deixada até endurecer, para ser submetida ao método das diluições sucessivas (técnica utilizada para quantificação da UFCs) [72]. A Figura 42 ilustra o método das diluições sucessivas a partir da suspensão celular para plaqueamento (processo para microrganismos aeróbicos) utilizando 5 placas para cada espécie de madeira.

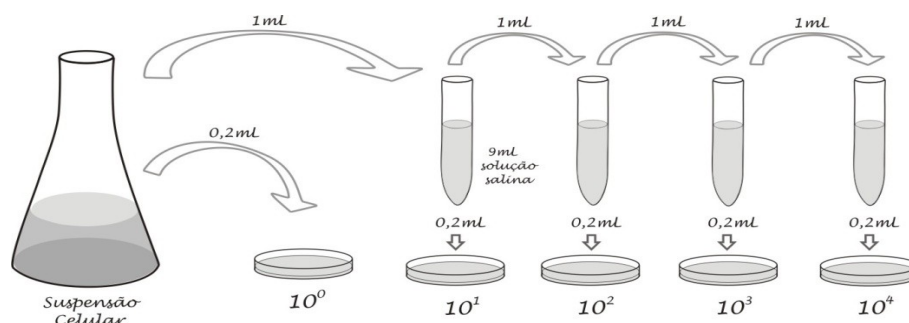


Figura 42: Método das diluições sucessivas e plaqueamento.

Após o plaqueamento e incubação em estufa bacteriológica por 5 dias sob temperatura de  $30^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , as células ou pequenos agrupamentos cresceram isoladamente, dando origem às UFCs. Os corpos de prova de cada espécie, após a extração do biofilme, foram ainda mantidos submersos por mais 2 meses em 20mL de caldo sabouraud, com pH ajustado em 5,5. Durante este período, foi borrifada uma pequena quantidade do caldo para evitar evaporação e permitir a continuidade do ensaio, que teve como propósito avaliar posteriormente as amostras ao MEV e ao MO com intuito de verificar algum tipo de modificação microestrutural causada por ação de fungos.

#### 4.2.8.

##### Ensaio de interação com suor artificial

Três amostras de cada espécie, inicialmente pesadas e medidas, foram submetidas ao ensaio acelerado por imersão em 200 mL de suor artificial. Esse foi preparado seguindo a norma ISO 3160-2 e a solução usada foi composta por 20g/L NaCl, 17,5g/L  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , 5g/L ácido acético, 15g/L ácido lático, com pH ajustado para 4,7 por NaOH.

Esta solução foi preparada no Laboratório de Biocorrosão (PUC-Rio). As amostras foram acondicionadas em frasco Schott e mantidas em ambiente com temperatura controlada ( $T = 23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ) no Laboratório de Microcaracterização de Materiais (PUC-Rio), totalizando um período de 3 meses. Após este período as amostras foram levadas a estufa para secagem para posteriores análises em MEV e MO (para avaliação da rugosidade).

## 5 Resultados e Discussões

### 5.1.

#### Ensaio de Abrasão

As amostras de pupunha tiveram um desgaste médio, avaliados pela perda de massa, de 2,73%, as de pau-brasil de 3,69% e as de imbuia de 16,62%. A taxa média de desgaste obtida foi de  $0,63\text{cm}^3/\text{Nm} \pm 0,22$  para pupunha,  $0,59\text{cm}^3/\text{Nm} \pm 0,10$  para o pau-brasil e  $0,64\text{cm}^3/\text{Nm} \pm 0,05$  para imbuia. Os resultados para todas as amostras estão mostrados nas Figuras 43 a 45. Os dados experimentais para todas as amostras ensaiadas estão listados no Apêndice.

As espécies analisadas de pupunha e pau-brasil apresentam valores inferiores quando comparados a valores obtidos em ensaios semelhantes para espécies como jatobá (23,7%), sucupira (15,7%) e ipê (12,6%) [73]. O valor baixo da pupunha pode dever-se ao fato de que os corpos de prova foram usinados no sentido de topo da fibra (escolhido por apresentar visualmente maior interesse para trabalhos futuros).

Outro ensaio de resistência à abrasão, executado sob as mesmas condições, conforme a norma DIN 53 516, com corpos de prova cilíndricos e submetidos ao mesmo abrasímetro encontrou valores maiores para a pupunha (9,8%), fibra de coco (19,8%) e bambu (20,3%) [45].

Normalmente, a densidade está relacionada ao desgaste como um fator determinante, onde madeiras de maior densidade sofrem menor desgaste. Além da densidade, existem outros fatores que reduzem o desgaste da madeira, como a quantidade presente de seus principais constituintes (hemicelulose, celulose e lignina) e até mesmo sua organização molecular [73].

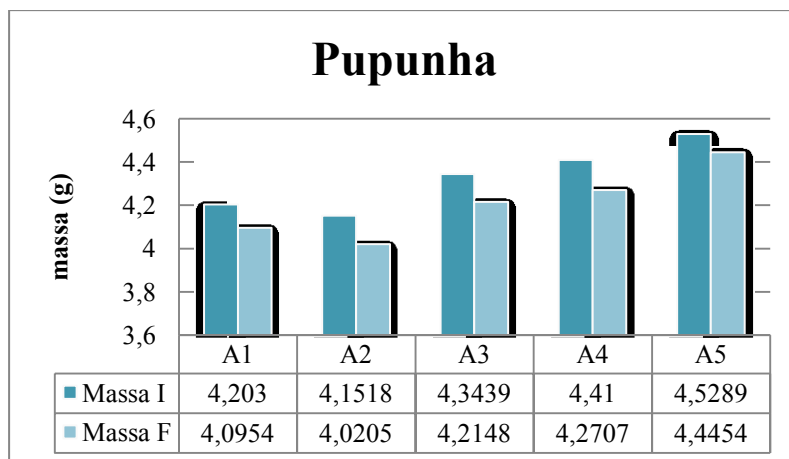


Figura 43: Valores referentes ao ensaio de abrasão da pupunha.

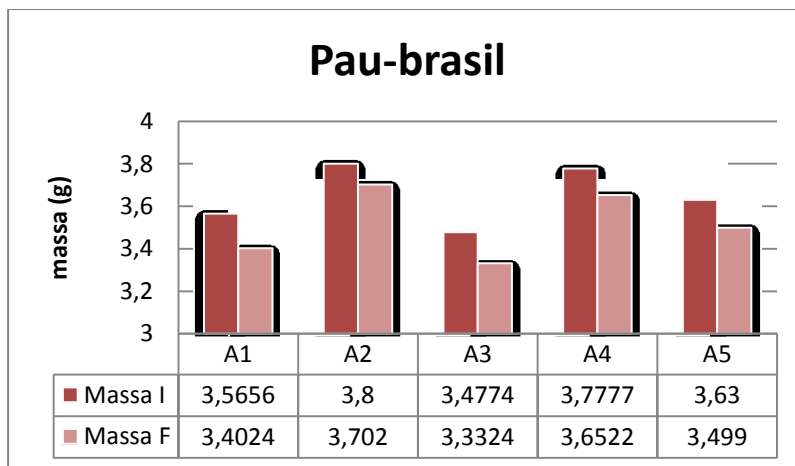


Figura 44: Valores referentes ao ensaio de abrasão do pau-brasil.

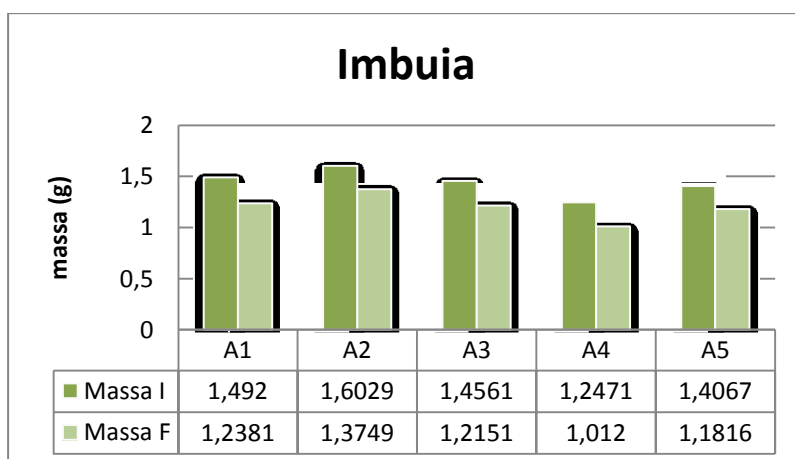


Figura 45: Valores referentes ao ensaio de abrasão da imbuia.

## 5.2.

### Caracterização de superfície

Como resultado das análises provenientes da lupa, pode-se observar (Figuras 46 a 48) as microestruturas bem definidas de cada uma das espécies escolhidas, com aumentos de 1,6x e 5x. Observa-se que nessa análise não há a presença de trincas, indicando que o método de preparação usado (usinagem, lixamento e polimento) não causa defeitos macroscópicos.

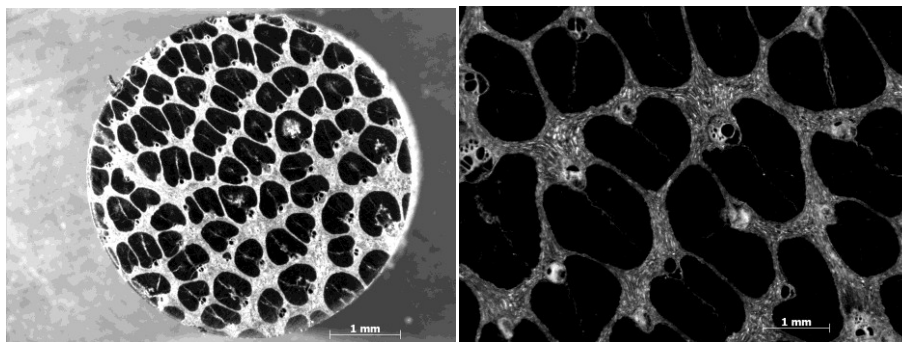


Figura 46: Pupunha após polimento.

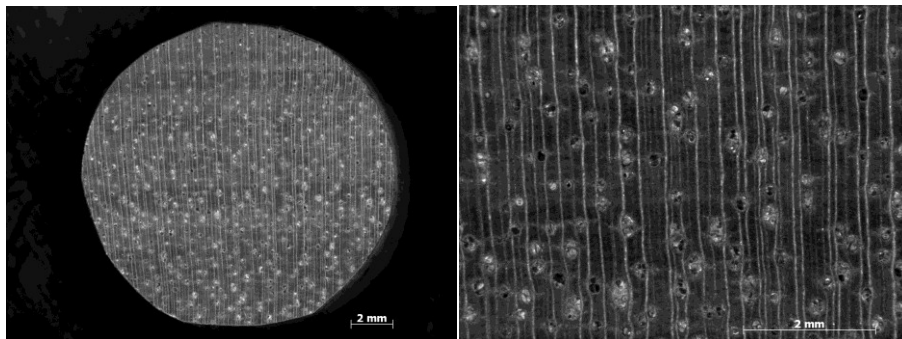


Figura 47: Pau-Brasil após polimento.

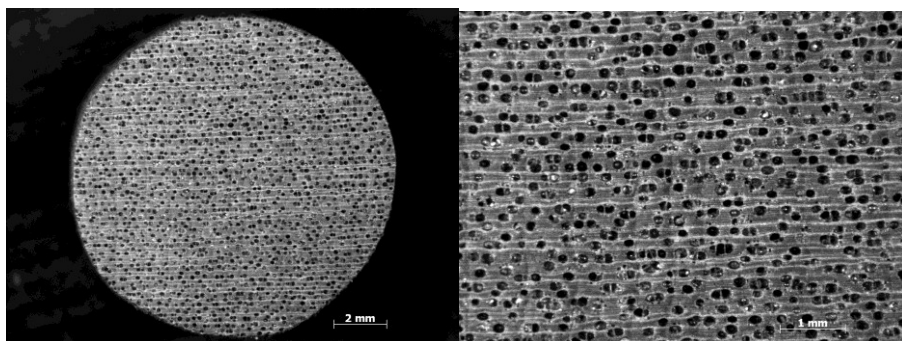


Figura 48: Imbuia após polimento.

Os corpos de prova, foram a seguir analisados no MEV. Nas Figuras 49 a 51 observam-se diversos detalhes microestruturais com aumentos de 50x e 200x. Na pupunha visualizamos as fibras com presença de dutos responsáveis pelo transporte de seiva e matriz composta por lignina. No pau-brasil destacam-se linhas bem definidas com presença de dutos quase geométricos assim como na imbuia, porém com uma grande quantidade de cavidades (e em maior dimensão) mostrando exatamente sua característica porosa. É importante destacar a presença de algumas trincas (na pupunha e no pau-brasil), provavelmente adquiridas devido ao vácuo (etapa necessária do processo).

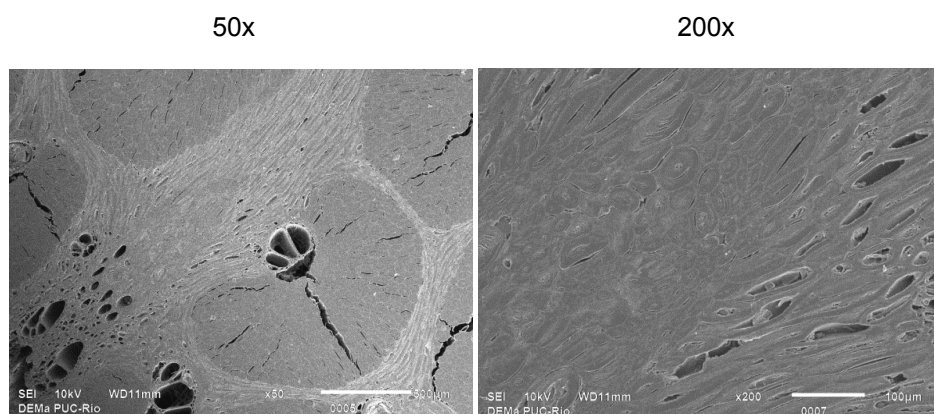


Figura 49: Pupunha após polimento, 50x e 200x.

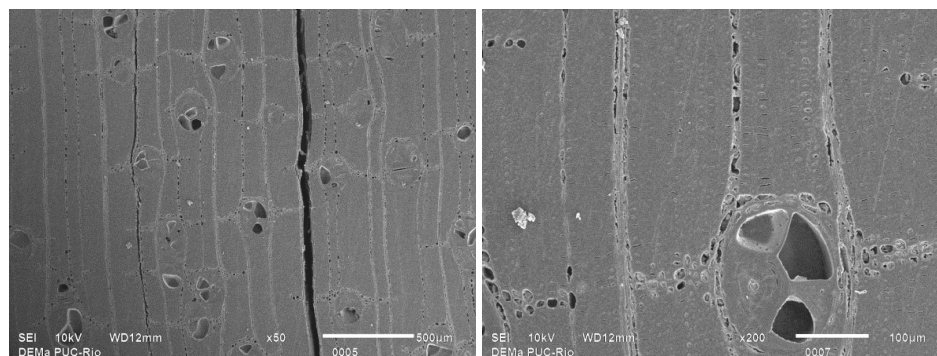


Figura 50: Pau-Brasil após polimento. 50x e 200x.

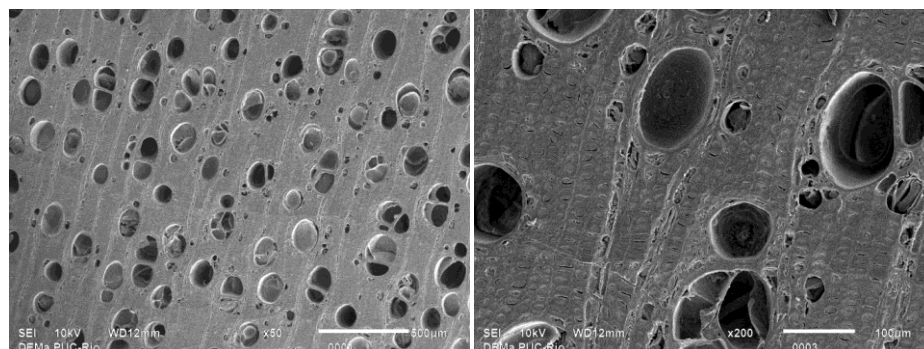


Figura 51: Imbuia após polimento, 50x e 200x.



As superfícies dos corpos de prova que foram polidos também foram submetidos ao processo de abrasão e analisados no MEV, estão mostradas nas figuras 52 a 54, com aumentos de 50x e 200x. Pode-se observar que as microestruturas celulares, antes visualizadas, foram desgastadas. A pupunha apresenta marcas da lixa, microtrincas e microdeformações. No pau-brasil, além das marcas de lixa, visualizam-se microdeformações e microcisalhamentos, como pode-se observar na imbuia, porém em maior destaque.

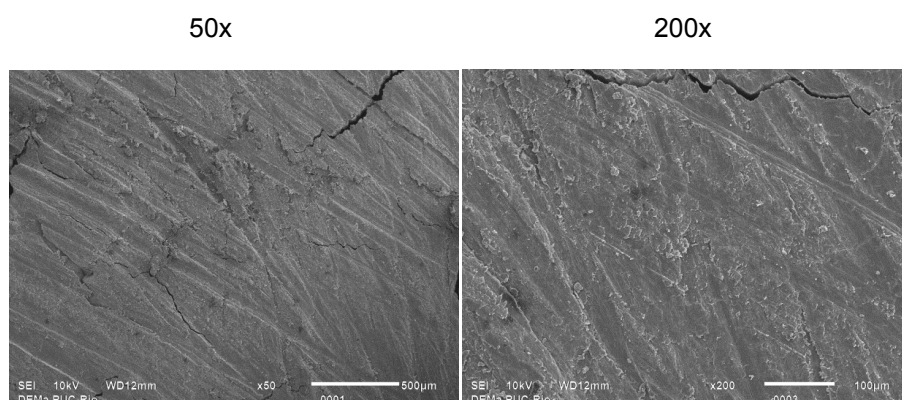


Figura 52: Pupunha após polimento e abrasão 50x e 200x.

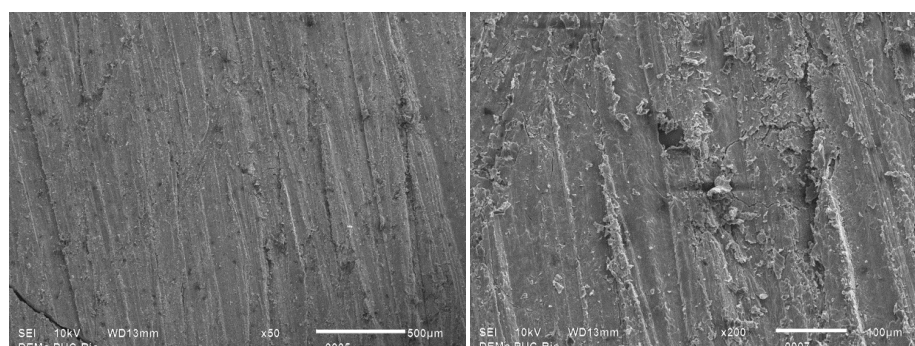


Figura 53: Pau-Brasil após polimento e abrasão 50x e 200x.

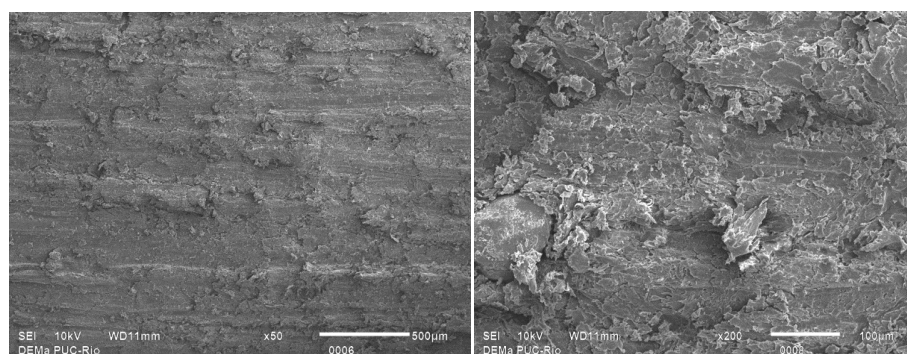


Figura 54: Imbuia após polimento e abrasão 50x e 200x.

Na sequência, observa-se (Figuras 55 a 57) as espécies submetidas ao MEV antes do processo de abrasão, ou seja, amostras apenas usinadas. É possível observar que as superfícies, assim como após abrasão, suas microestruturas foram desgastadas e as marcas de serra são visíveis. Quando comparadas ao processo de polimento, fica evidente que este método é relevante para entendimento de características microestruturais e/ou quaisquer outras características referentes às espécies, como por exemplo, a quantidade de dutos presentes.

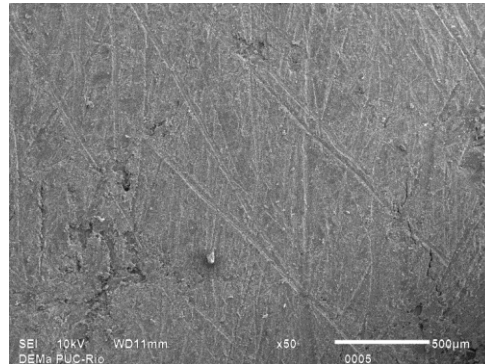


Figura 55: Pupunha sem processo de abrasão (50x).

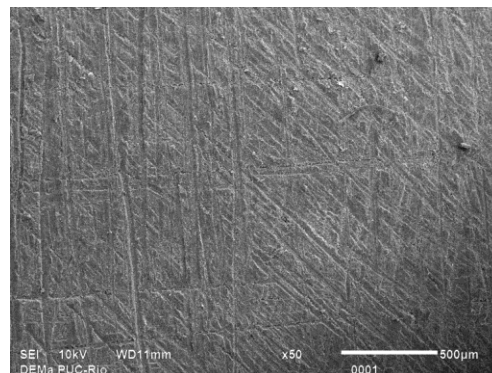


Figura 56: Pau-Brasil sem processo de abrasão (50x).

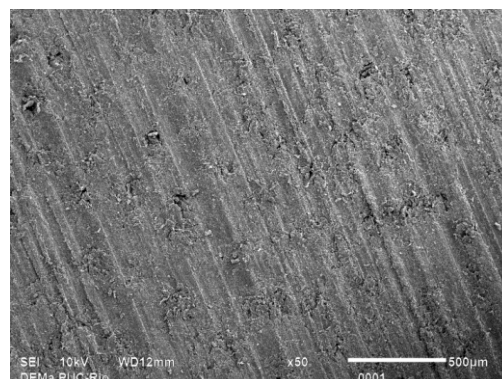


Figura 57: Imbuia sem processo de abrasão (50x).

As Figuras 58 a 60 mostram os corpos de prova submetidos ao aumento no MEV após o processo de abrasão. Comparando com as Figuras 55 a 56 (apenas usinadas), as microestruturas celulares também foram desgastadas e pode-se observar que a abrasão parece evidenciar as marcas de serra ou promover marcas novas causadas pela lixa, para todas as espécies; microdeformações são visíveis. Na espécie imbuia, além de todas estas características, também é possível destacar microcisalhamentos na superfície.

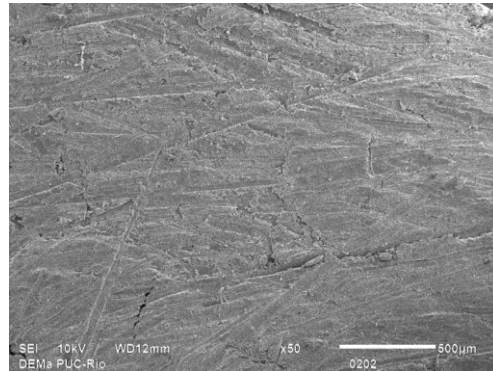


Figura 58: Pupunha após o processo de abrasão (50x).

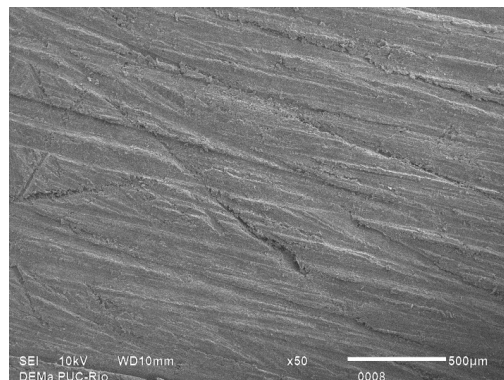


Figura 59: Pau-Brasil após o processo de abrasão (50x).

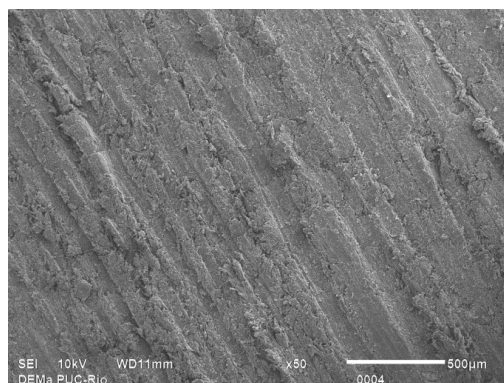


Figura 60: Imbuia após o processo de abrasão (50x).

### 5.3. Análise de rugosidade

Nas Figuras 61 a 63 vemos representações superficiais com presença de sulcos; seria preciso uma média estatística de diversas regiões para poder compará-las. Em relação aos valores de rugosidades aritmética (RA) e quadrática (RG), a imbuia apresentou maior rugosidade dente as 3 espécies analisadas após abrasão, (como demonstrados na tabela 7) provavelmente por causa da sua porosidade.

(a) (b)

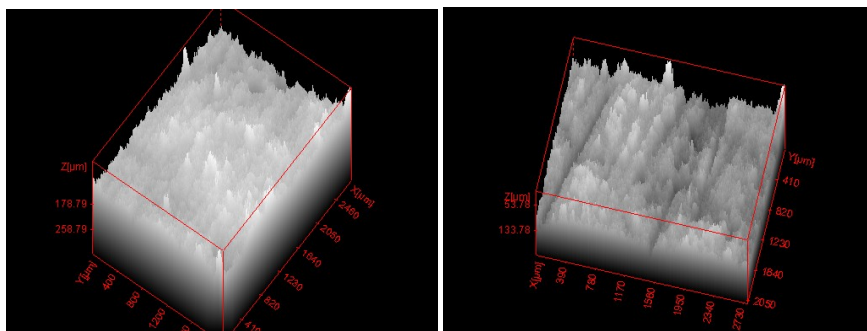


Figura 61: Pupunha sem abrasão (a) e após abrasão (b).

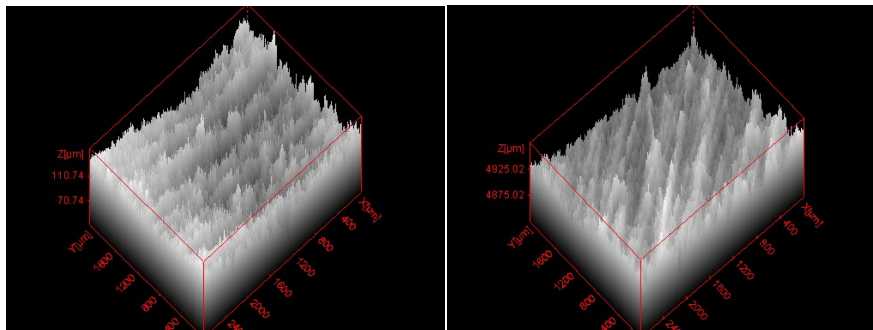


Figura 62: Pau-Brasil sem abrasão (a) e após abrasão (b).

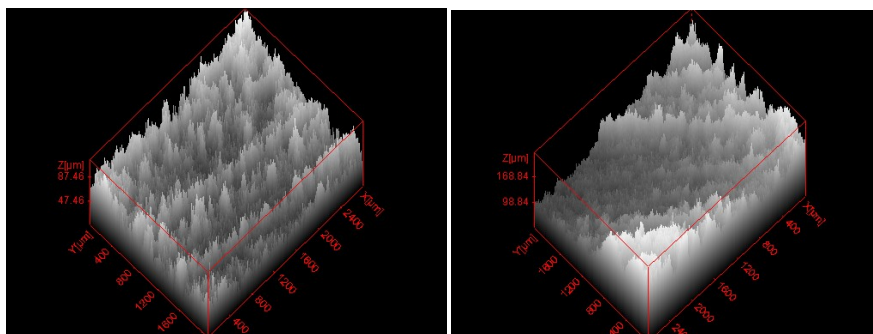


Figura 63: Imbuia sem abrasão (a) e após abrasão (b).

Tabela 7: Valores referentes às rugosidades analisadas no MO.

<b>Espécies</b>	<b>Valores para amostras apenas usinadas</b>	<b>Valores para amostras após abrasão</b>
Pupunha	RA= 20,4 $\mu$ m RQ= 27,1 $\mu$ m	RA= 20,3 $\mu$ m RQ= 25,7 $\mu$ m
Pau-Brasil	RA= 21,2 $\mu$ m RQ= 26,4 $\mu$ m	RA= 19,8 $\mu$ m RQ= 24,8 $\mu$ m
Imbuia	RA= 18,8 $\mu$ m RQ= 23,4 $\mu$ m	RA= 28,4 $\mu$ m RQ= 35,9 $\mu$ m

#### 5.4.

#### Ensaio de Absorção

Os teores de umidade presente nas 3 espécies de madeira foram bem distintos. O teor de umidade da pupunha foi de 13,25%  $\pm$  2,14, do pau-brasil foi 23,76%  $\pm$  2,11 e da imbuia 93,9%  $\pm$  30,07. O baixo valor de absorção de água encontrado para pupunha pode estar relacionado com a menor quantidade de dutos responsáveis pela distribuição e armazenamento. Este valor pode ser comparado a outro ensaio de absorção onde a pupunha apresentou 12,54% de teor de umidade [45]. Ao contrário temos os valores encontrados para a imbuia que é a espécie mais porosa (dentre as analisadas), menos densa que a água e com maior número de dutos responsáveis pelo transporte de líquidos, características facilmente visíveis nas Figuras 49 a 51 das análises de MEV com as amostras polidas.

Após o ensaio, as amostras foram analisadas no MEV (Figuras 64 a 66) para observar quaisquer alterações causadas pela absorção de água. A pupunha apresentou grande quantidade de microtrincas; o pau-brasil, além das marcas de serra, observou-se pequenas microdeformações e/ou microcisalhamentos (como observado anteriormente na Figura 53) porém não apresentou nenhuma trinca. A imbuia foi a espécie com maiores alterações visuais como aumento aparente da rugosidade (não observado anteriormente).

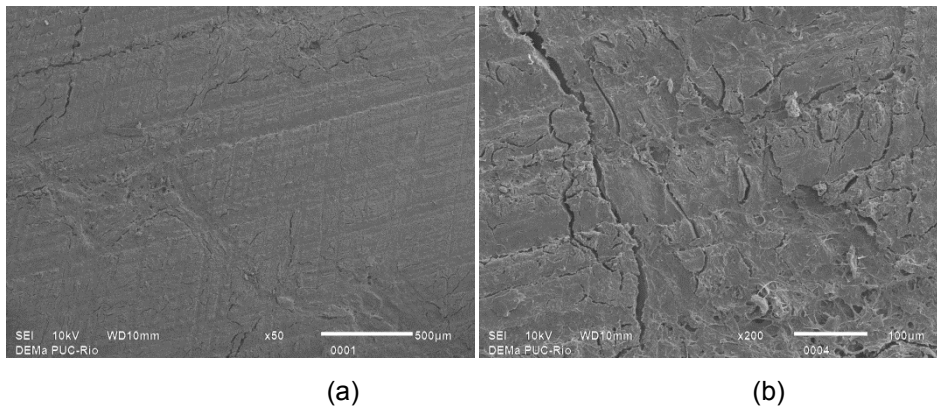


Figura 64: Pupunha após absorção 50x (a) e 200x (b).

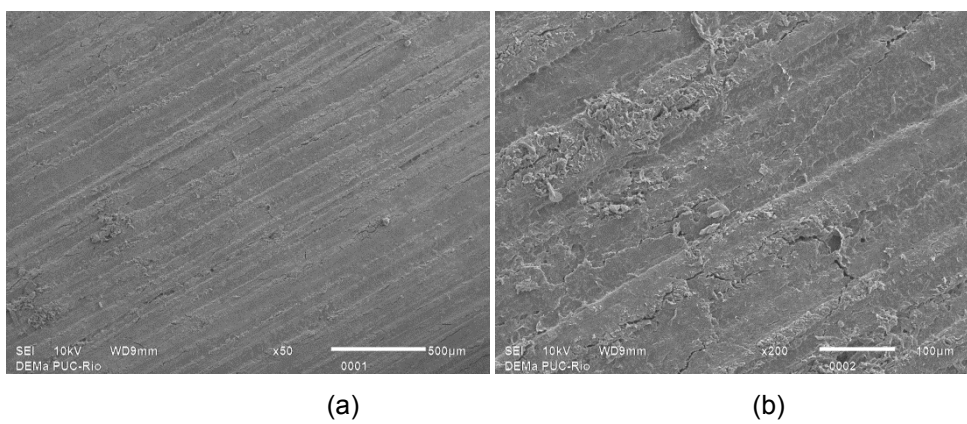


Figura 65: Pau-brasil após absorção 50x (a) e 200x (b).

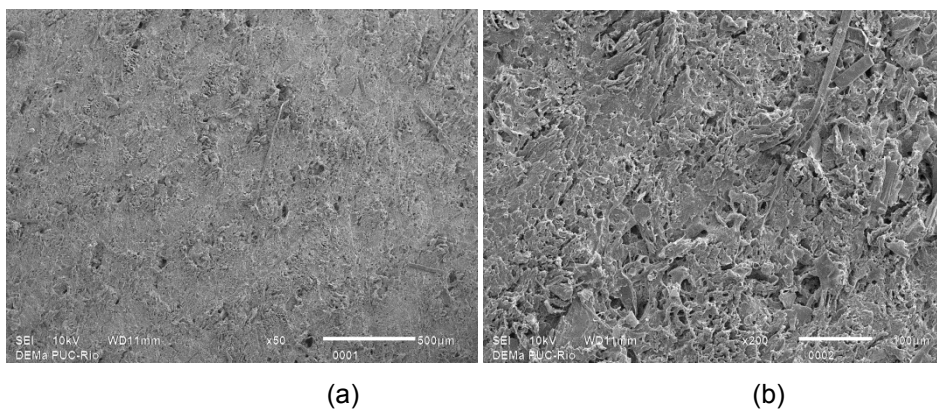


Figura 66: Imbuia após absorção 50x (a) e 200x (b).

## 5.5

### TGA

As Figuras 67 a 69 apresentam os resultados do comportamento de cada espécie em relação à perda de massa (%) x temperatura (°C).

A análise termogravimétrica da pupunha mostrou 3 estágios distintos em sua decomposição térmica, Figura 67. Inicialmente, até a temperatura aproximada de 100°C, ocorreu perda de massa de cerca de 7,6%, relativa a perda de umidade. Esse comportamento normalmente ocorre com materiais lignocelulósicos [74], como por exemplo com a fibra de curauá [75]. Entre 100° e 270°C a pupunha apresentou estabilidade térmica. Em torno de 270°C inicia-se a segunda etapa de degradação, a qual é referente à degradação da hemicelulose [76, 77]. A 312°C houve a taxa máxima de perda de massa nesta região. A terceira etapa de degradação é associada à decomposição térmica da celulose [76, 77]. A temperatura onde ocorre a máxima taxa de perda de massa foi de 366°C, conforme listado na Tabela 8. A massa residual acima de 700°C foi de 22,7%. Estes valores estão de acordo com dados da literatura para outros materiais lignocelulósicos [74] e próximos a outro ensaio de TGA realizado com a pupunha [45].

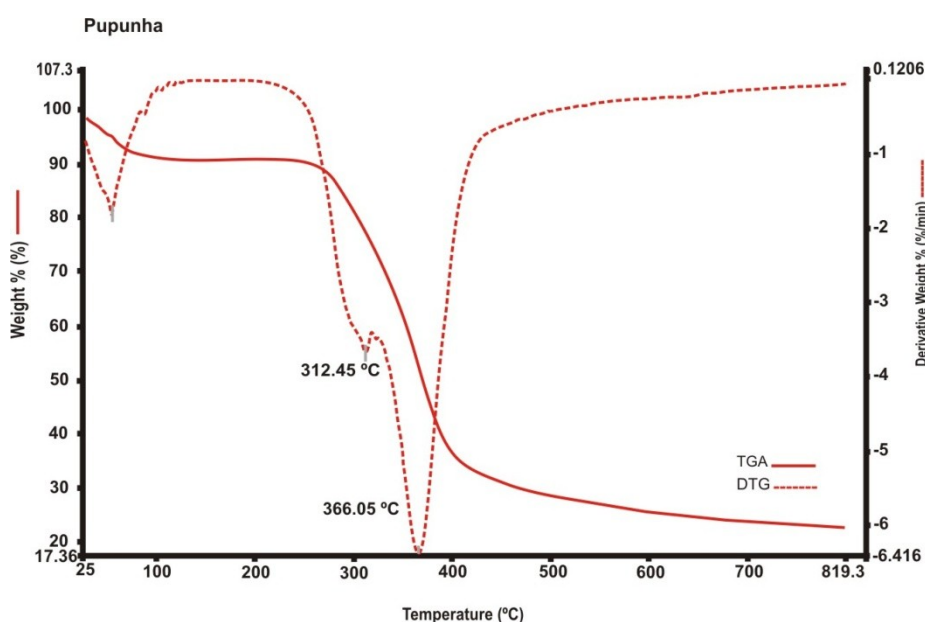


Figura 67: Termograma obtido da pupunha.



Resultados semelhantes foram obtidos para o pau-brasil (Figura 68) e para Imbuia (Figura 69). A Tabela 8 mostra os resultados obtidos para as 3 espécies analisadas. Pode-se observar que a porcentagem de perda de massa relativa ao processo de degradação não variou muito entre as 3 espécies. Porém o pau-brasil apresentou uma perda inicial de massa inferior às outras 2 espécies, com apenas 5% de massa referente à umidade. A temperatura de início da degradação térmica listada na tabela foi definida como sendo a temperatura na qual ocorre uma perda de massa de 1% após a perda inicial de umidade.

Tabela 8: Resultados gerais das análises de TGA das 3 espécies.

Espécie	Perda inicial de umidade	Temperatura de início da degradação	Temperatura de pico para hemicelulose	Temperatura de pico para celulose	Massa Residual
Pupunha	7,6%	271°C	312°C	366°C	<b>22,75%</b>
Pau-Brasil	5%	210°C	313°C	380°C	<b>18,93%</b>
Imbuia	7%	180°C	303°C	374°C	<b>23,53%</b>

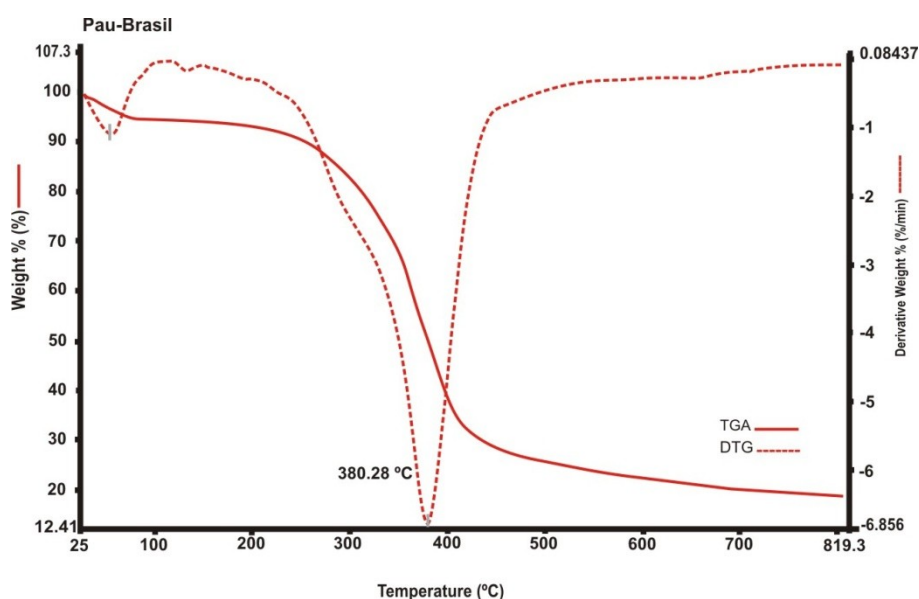


Figura 68: Termograma obtido da espécie Pau-Brasil.



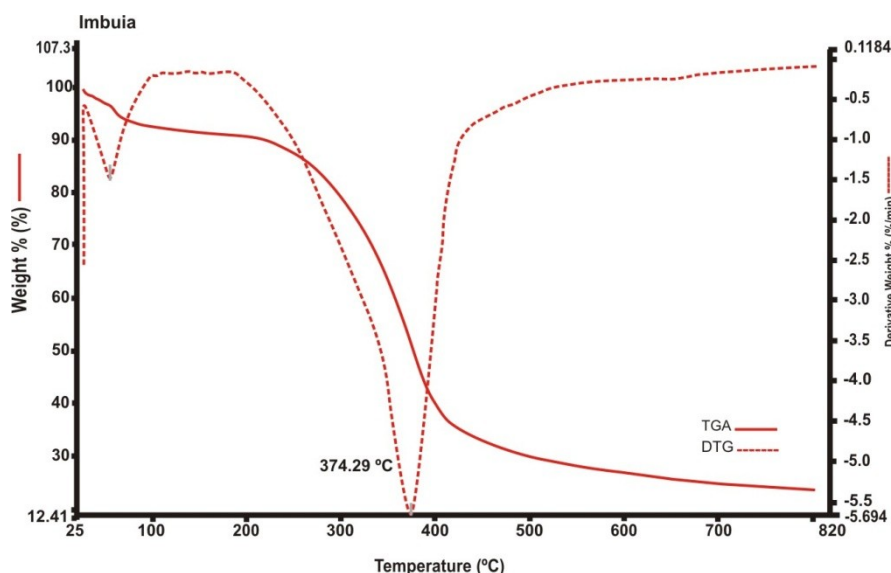


Figura 69: Termograma obtido da espécie Imbuia.

## 5.6.

### Difração de Raios-X

Os resultados das análises de difração de raios-X das espécies analisadas podem ser observados nos difractogramas das Figuras 70 a 72. Os índices de cristalinidade revelaram que a pupunha apresenta 51,17%, o pau-brasil 67,79% e a imbuia 51,02%. Estes valores estão de acordo com os valores encontrados na Tabela 8, que mostra que quanto menor a quantidade de água mais cristalino é o material. E os valores aproximam-se de outros encontrados em diversos materiais lignocelulósicos como fibra de ubuçu (60,6%) [56], madeira de *Pinus silvestre* (65,1%) [56], fibras de sisal (62%) [55], caroá (65%) [78], juta (64 - 71%), rami (69 - 83%) [45], porém está um pouco abaixo de 70% de cristalinidade encontrada em outro ensaio de difração de raios-x da pupunha [45].

Em relação à pupunha, o pico principal observado em 22,34° que se destaca na Figura 70, corresponde à difração do plano (002) da celulose nativa; o pico anterior, em torno de 15,2° corresponde aos planos (101) e (10 $\bar{1}$ ) e o pico em torno de 35° corresponde ao plano (040) também característico da celulose nativa [55]. Semelhantemente à pupunha são os resultados encontrados para o pau-brasil e para a imbuia, como podem ser observados nas Figuras 71 e 72, respectivamente.

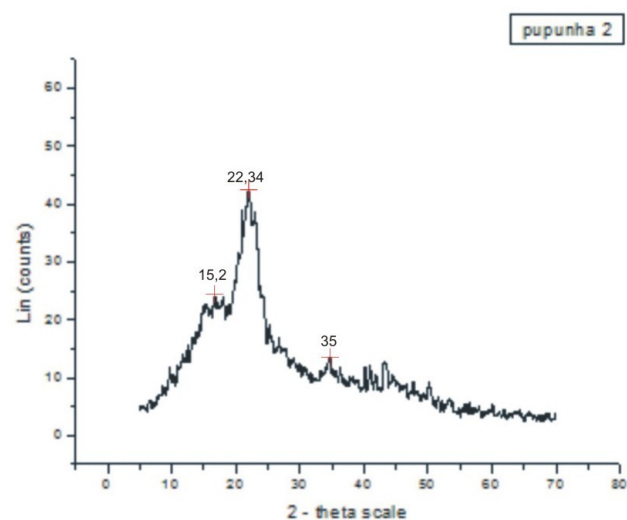


Figura 70: Difractograma da pupunha.

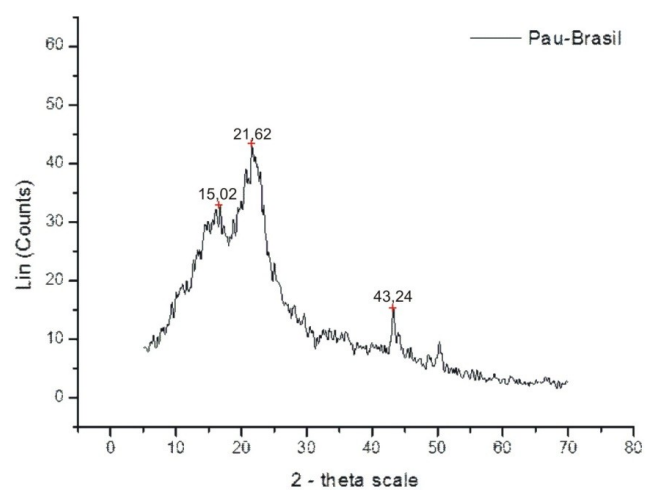


Figura 71: Difractograma do pau-brasil.

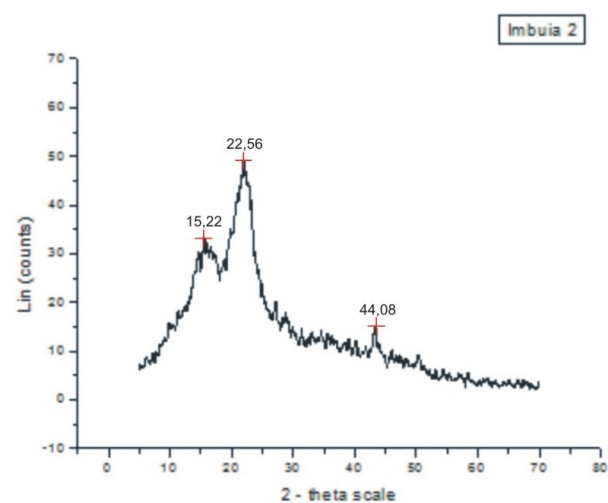


Figura 72: Difractograma da imbuia.

## 5.7.

### Ensaio de Deterioração

#### 5.7.1

#### Biodeterioração

##### 5.7.1.1

#### Análises Microbiológicas

##### Pupunha

Após o ensaio, obteve-se o resultado de 40.000 UFC/mL na placa  $10^2$  da pupunha. Além disso, foi notada visualmente a presença de grande quantidade de bactérias.

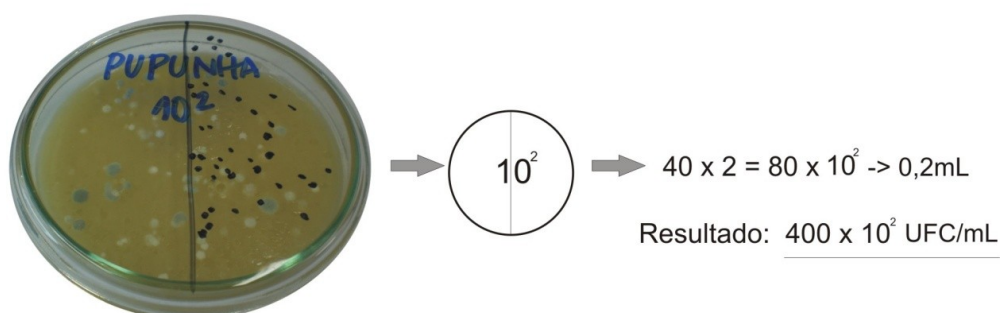


Figura 73: Placa de diluição  $10^2$  da pupunha utilizada para contagem de colônias.

##### Pau-Brasil

No Pau-Brasil as diluições  $10^0$ ,  $10^1$  e  $10^2$  permitiram a contagem de colônias espalhadas por todo meio de cultura, mas devido ao número superior à 30 colônias (que é caracterizado como adequado) [58] foi escolhida a placa com diluição  $10^1$  (Figura 74) onde foram encontradas 53 colônias em  $\frac{1}{2}$  da placa e com resultado final de 5.300 UFC/mL. É importante ressaltar que o biofilme formado

em sua superfície não ficou aderido mas apresentou-se como uma fina película e não foi preciso raspar para eliminá-lo. Além disto, não foi notada presença de crescimento bacteriano nas placas.

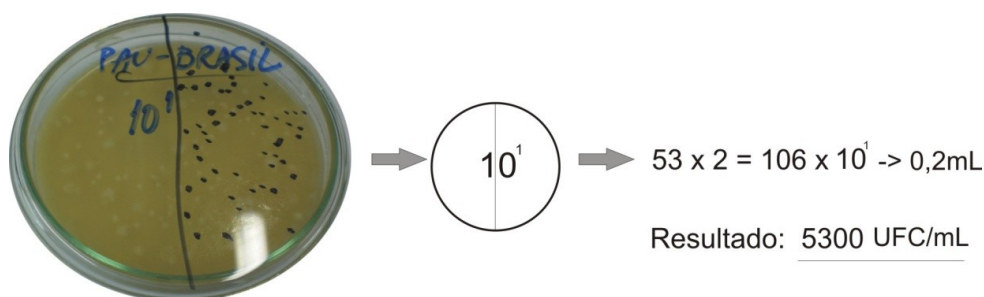


Figura 74: Placa de diluição  $10^{-1}$  do pau-brasil utilizada para contagem de colônias.

### Imbuia

A placa com diluição  $10^{-4}$  (Figura 75) foi a única que permitiu a contagem de 53 colônias com resultado de 2.650.000 UFC/mL.

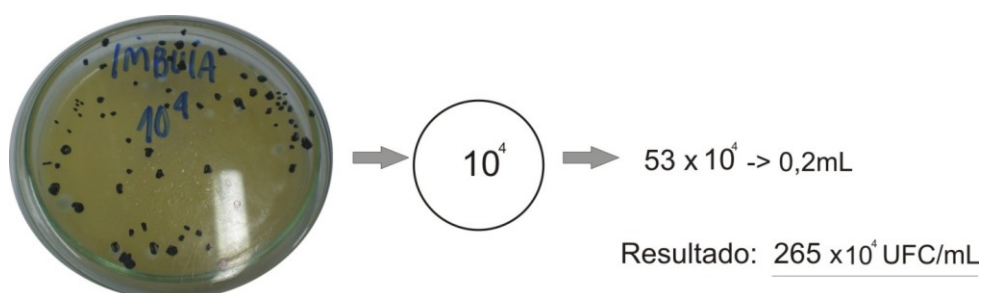


Figura 75: Placa de diluição  $10^{-4}$  da imbuia utilizada para contagem de colônias.

A Tabela 9 apresenta os resultados das análises microbiológicas e podemos observar algumas diferenças entre as espécies. A imbuia foi a espécie de maior contaminação, com uma quantidade significativa de desenvolvimento de microrganismos, provavelmente por ser a mais porosa dentre as 3 analisadas, e consequentemente mais suscetível a formação de biofilme. O pau-brasil apresentou menor contaminação microbiológica, não apresentou crescimento bacteriano e caracterizou-se pela formação de um biofilme facilmente removível. Isto deve-se ao fato desta madeira ser considerada de alta durabilidade natural e ter alta resistência à ataques por fungos xilófagos [32]. Foi notada presença de

crescimento bacteriano em algumas placas das espécies pupunha e imbuia e isso pode dever-se ao fato de não ter sido colocado nenhum produto capaz de conter tal crescimento.

Tabela 9: Resultados das análises microbiológicas.

Espécie	Concentração (UFC/mL)
PUPUNHA	$4,0 \times 10^4$
PAU-BRASIL	$5,3 \times 10^3$
IMBUIA	$2,6 \times 10^6$

### 5.7.1.2

#### Análises por Microscopia Eletrônica

As imagens microestruturais obtidas através de MEV de cada espécie estão apresentadas na Figura 76. Em todas as imagens, são visíveis os efeitos provocados pela serra durante o processo de preparo dos corpos de prova (como descrito anteriormente); estes efeitos causam irregularidades e aumento da rugosidade superficial que normalmente está associada ao aumento de adesão microbiana devido à presença de sulcos, facilitando pontos de colonização [60].

Após o ensaio de biodeterioração, foi observada uma mudança discreta na topografia da superfície da pupunha onde as irregularidades ficaram menos aparentes. Na microestrutura do pau-brasil poucas são as alterações visíveis, embora irregularidades ainda possam ser vistas. Como essa é a espécie de maior resistência natural, grandes variações não eram esperadas. Na espécie imbuia uma mudança maior foi observada, com a diminuição das marcas de corte e certa descamação por toda superfície, gerando uma textura singular, como microcissalhamentos [43]. Estas mudanças estruturais podem indicar o efeito da biodeterioração sobre essa espécie.

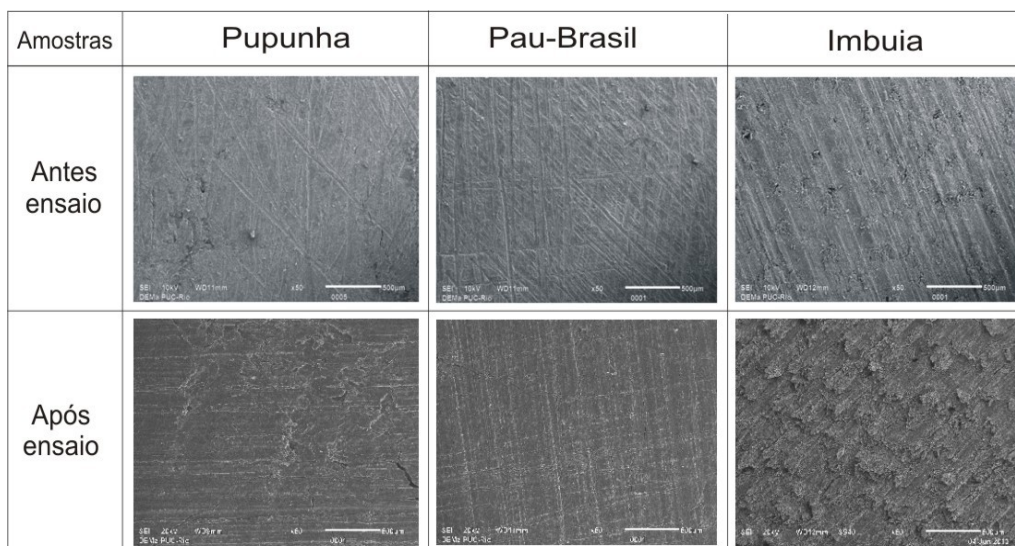


Figura 76: Análises por MEV de cada espécie (50x), antes e após ensaio de biodeterioração.

### 5.7.2 Interação com suor artificial

Ao final do ensaio, foi notada uma modificação em relação ao odor característico da solução preparada. No caso da pupunha e do pau-brasil, as mudanças foram discretas, ocorrendo apenas intensificação do cheiro. Porém, na solução onde ficou submersa a imbuia, predominou um forte odor característico da própria madeira, anulando o cheiro forte da solução em questão. Em relação ao pH, apenas a pupunha apresentou ligeiro aumento de 0,12.

Em relação às visualizações no MEV podemos observar algumas alterações através da Figura 77; apresentando marcas de serra em todas as amostras. A microestrutura da pupunha foi evidenciada (anteriormente apenas observada após polimento, como na figura 49), indicando haver alguma mudança em seus constituintes; o pau-brasil manteve-se praticamente do mesmo modo; a imbuia apresentou certa descamação em sua superfície como observado após ensaio de abrasão (Figura 54 – b).

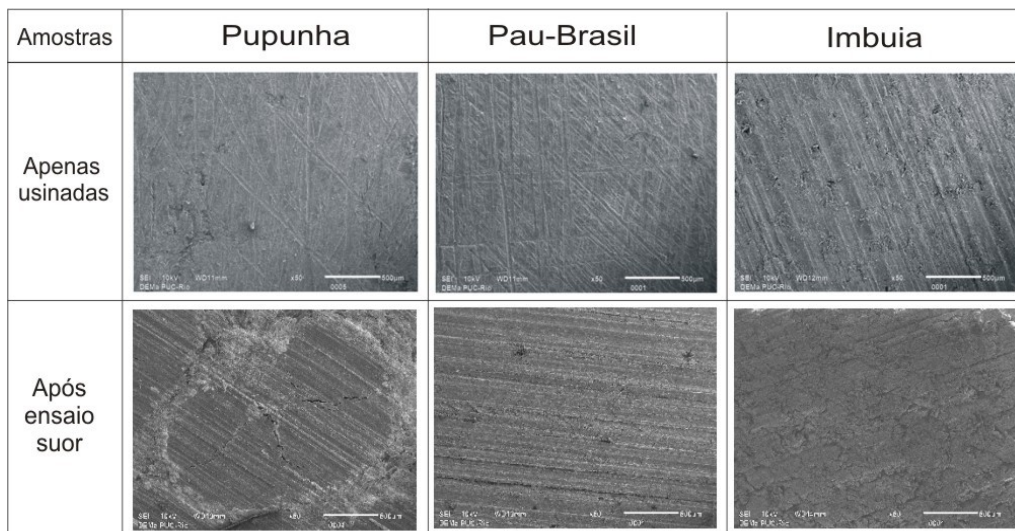


Figura 77: Análise por MEV de cada espécie (50x), antes e após ensaio com suor.

Quanto aos valores de RA e RQ, todas as espécies apresentaram valores reduzidos de rugosidade após ensaio com o suor artificial, em relação às amostras apenas usinadas, como demonstrados na tabela 10. Estas modificações podem ter ocorrido pelo fato destes corpos de prova terem ficado submersos em solução e o inchaço do material minimizado as marcas de serra, observadas anteriormente, como visto nas figuras 78 a 80.

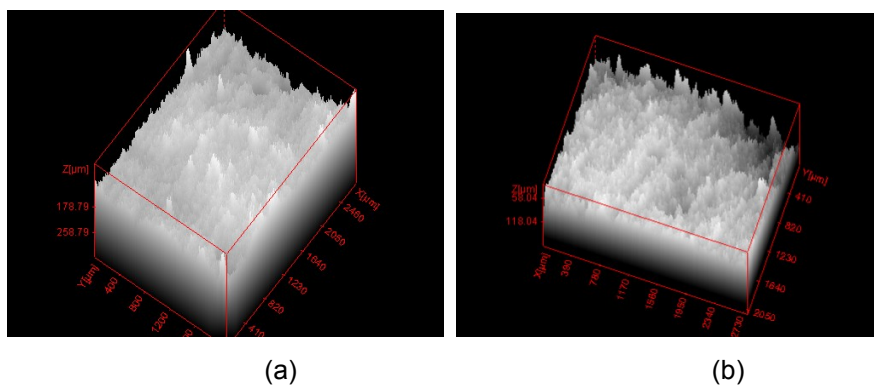


Figura 78: Pupunha antes (a) e após ensaio com suor artificial (b).



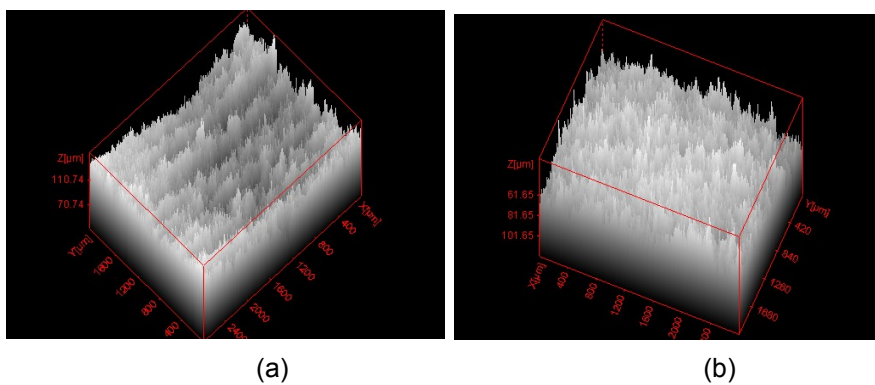


Figura 79: Pau-Brasil antes (a) e após ensaio com suor artificial (b).

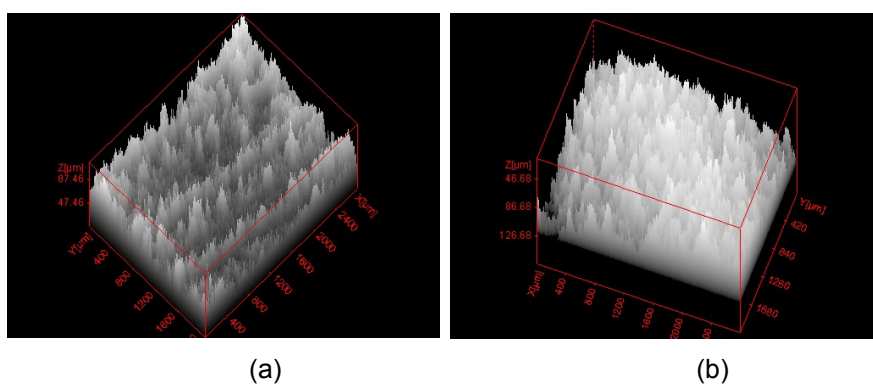


Figura 80: Imbuia antes (a) e após ensaio com suor artificial (b).

Tabela 10: Valores referentes às rugosidades analisadas no MO após ensaio de interação com suor artificial.

Espécies	Valores para amostras apenas usadas	Valores médios amostras após ensaio com suor
Pupunha	RA= 20,4 $\mu$ m RQ= 27,1 $\mu$ m	RA= 15,6 $\mu$ m RQ= 20,0 $\mu$ m
Pau-Brasil	RA= 21,2 $\mu$ m RQ= 26,4 $\mu$ m	RA= 11,4 $\mu$ m RQ= 14,3 $\mu$ m
Imbuia	RA= 18,8 $\mu$ m RQ= 23,4 $\mu$ m	RA= 17,5 $\mu$ m RQ= 21,9 $\mu$ m



## 5.8. Design de Jóias

Dentre as espécies analisadas, a pupunha foi escolhida para utilização na produção de jóias, baseada no seu desempenho nas avaliações microestruturais as quais ela foi submetida. É uma ‘madeira’ sustentável, perene, de grande viabilidade econômica e alta produtividade; grande resistência à abrasão, durabilidade, baixa absorção de água e boa resistência a ataques de fungos. Além disso, é esteticamente diferente, bonita e visualmente interessante.

O design escolhido para coleção de jóias, que tem como nome **ZOOM**, foi baseado principalmente na reprodução macroscópica da microscopia digital da pupunha, apresentando como destaque fibras, fibrilas, ductos de condução de seiva e água e trincas (Figura 81). Também foram levados em consideração os aspectos macroscópicos relacionados às formas e cores do fruto da pupunheira para aplicação de gemas amarelas nas peças (Figura 82). Baseado nesse conceito, a Figura 83 mostra uma ilustração da coleção, composta por colar, brincos e anel, em ouro amarelo, pupunha e topázio amarelo.

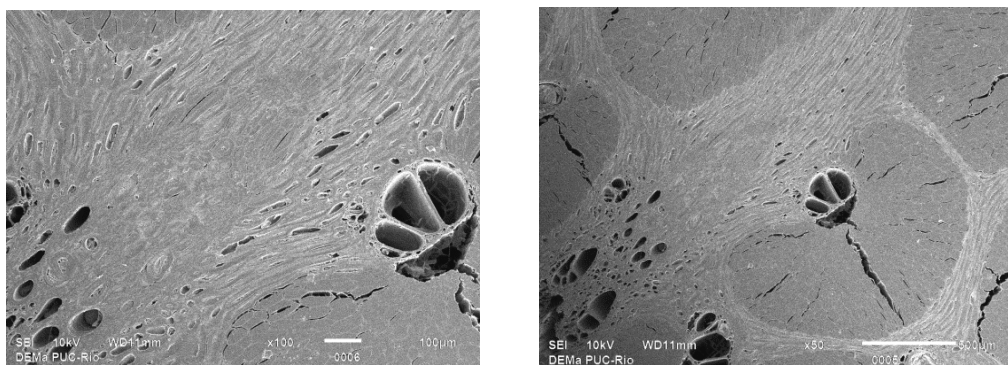


Figura 81: Imagens da microestrutura da pupunha após polimento e visualização no MEV como inspiração para a coleção.

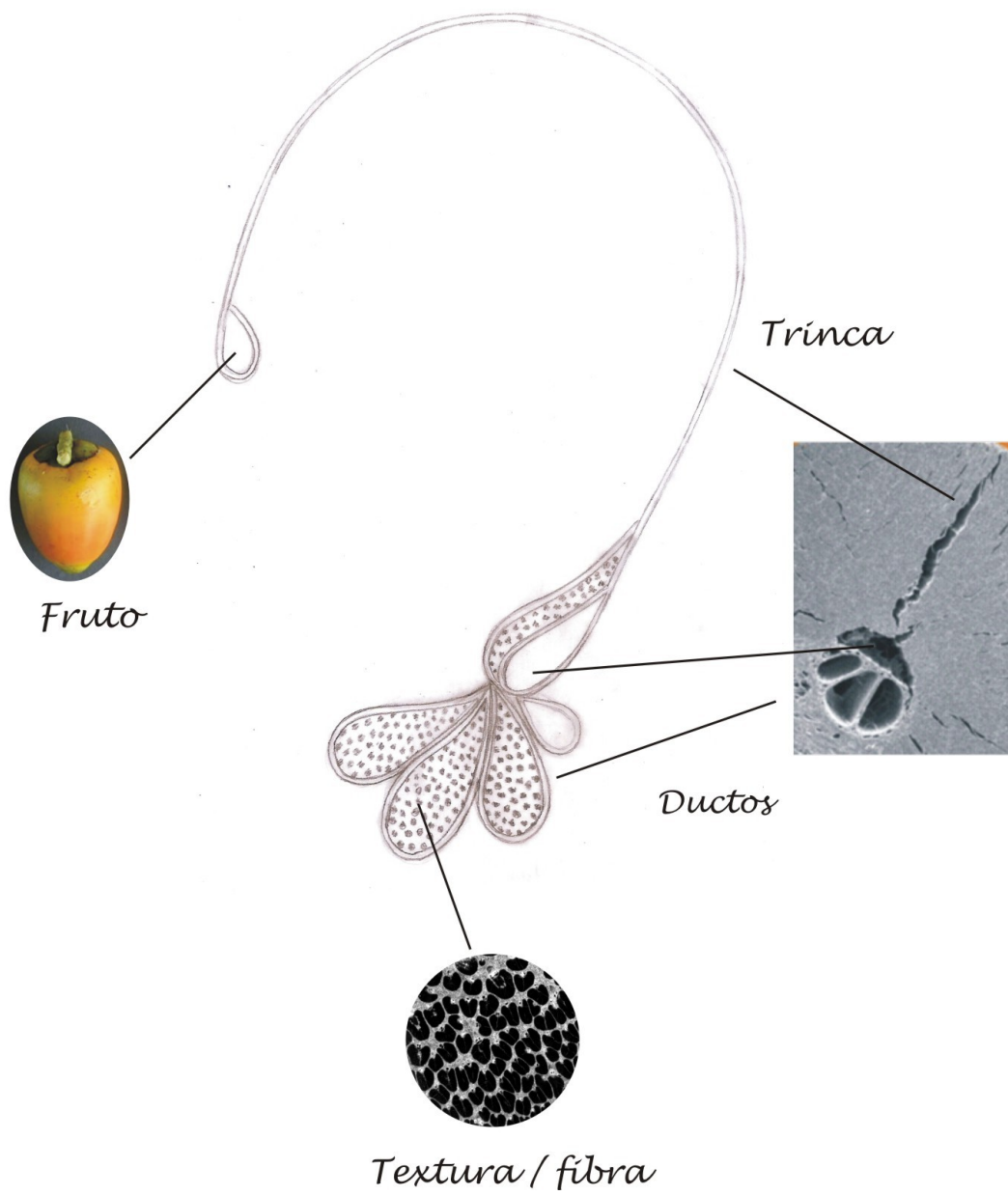


Figura 82: Imagens nas quais foram baseadas as idéias para produção das peças.



Figura 83: Desenho da Coleção **ZOOM** – Colar, brincos e anel.



Figura 84: Brincos, anel e colar produzidos – Coleção **ZOOM**. Jóias em ouro amarelo, pupunha e topázio amarelo.



Figura 85: Modelo utilizando as jóias e simulação do uso do brinco – Coleção **ZOOM**.



Figura 86: Tag desenvolvida para coleção **ZOOM** com breve explicação do projeto.

É importante destacar que diversos materiais orgânicos, assim como as outras dessas espécies aqui analisadas, poderiam ser utilizados, desde que previamente e convenientemente preparados antes de serem expostos e comercializados. Assim, a Figura 84 mostra um exemplo utilizando a **imbuia** no mesmo conceito **ZOOM** de design de jóias. Jóias poderiam ser confeccionadas em ouro branco, imbuia e brilhantes.

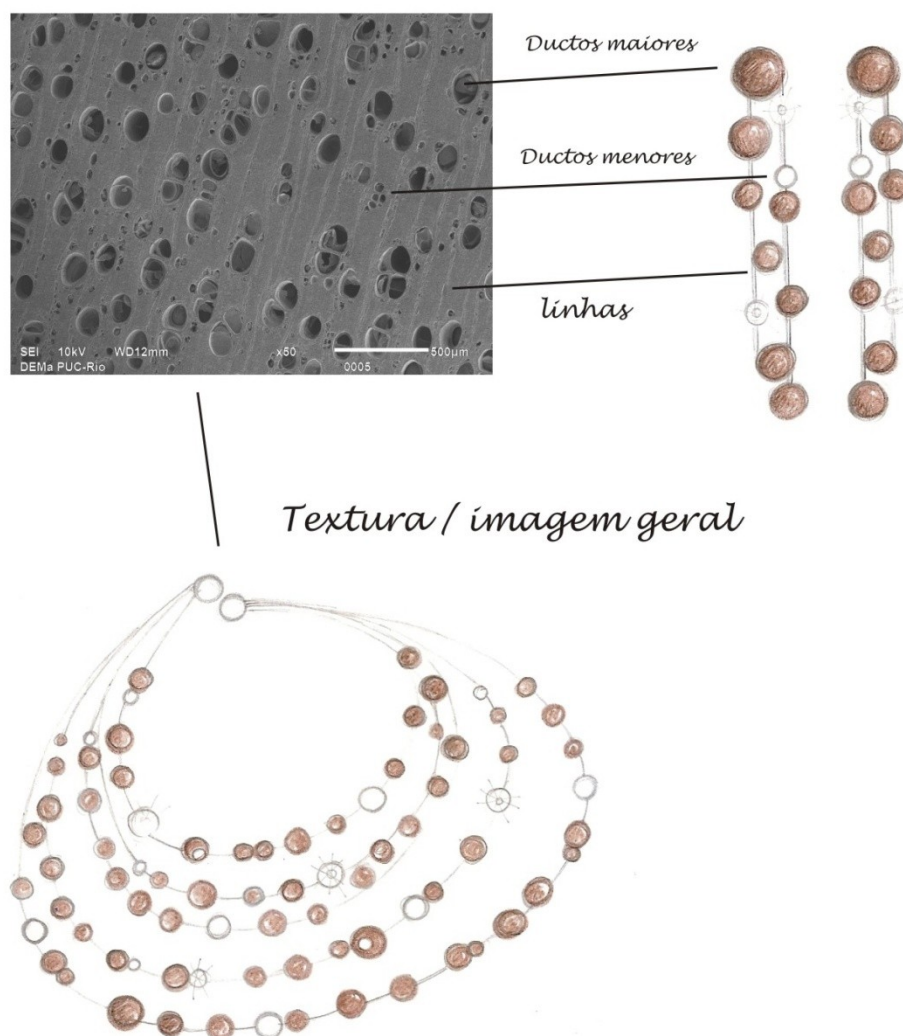


Figura 87: Esboço de colar e brincos para uma suposta coleção **ZOOM** com a espécie Imbuia a partir de imagens microestruturais.

## 6 Conclusões

A partir dos resultados obtidos, podemos concluir que todos os ensaios microestruturais, mecânicos, térmicos e de deterioração realizados nas espécies de madeiras escolhidas, foram de grande importância para entender o comportamento desses materiais naturais e suas interações com ambientes nos quais possam ser empregados.

Com relação ao ensaio de abrasão, a pupunha obteve menor perda de massa, seguida pelos resultados do pau-brasil que apresentou, entretanto, melhor desempenho visual após abrasão quando analisado no MEV.

Quanto à absorção de água, a pupunha apresentou menor teor de umidade absorvida, ao contrário dos valores elevados encontrados para a imbuia, que sofreu visualmente maiores alterações microestruturais. O pau-brasil praticamente não pareceu sofrer quaisquer alterações visuais.

A rugosidade da imbuia aumentou em mais de 10,0 $\mu$ m após ensaio de abrasão; enquanto para o pau-brasil e a pupunha não houve variação. Os valores de rugosidade de todas as amostras diminuíram após ensaio de interação com suor.

A análise termogravimétrica mostrou que a pupunha resiste a temperaturas mais elevadas que as outras espécies analisadas.

Na difração de raios-X as análises apresentam praticamente o mesmo comportamento, entretanto o pau-brasil apresentou maior índice de cristalinidade, em comparação à pupunha e à imbuia. Esse resultado pode ser devido a um maior teor de celulose e/ou melhor arranjo a estrutura da celulose, indicando que essa madeira deve ter menor vulnerabilidade estrutural; o que concorda com os resultados de interação com o suor e de biodeterioração.

Quanto aos ensaios de deterioração (biodeterioração e interação com suor) o pau-brasil apresentou melhor desempenho, com menores valores referentes a ataques de fungos, formação de biofilme e/ou qualquer variação causada por substâncias agressivas.

Todas essas análises foram fundamentais para compreensão das variações macro e/ou microestruturais que podem ocorrer em materiais naturais e que são fundamentais para o desenvolvimento do design de produtos, tais como as jóias desenvolvidas nesse trabalho.

## **6.1.**

### **Sugestões para trabalhos futuros**

Visando dar continuidade a este trabalho, outros ensaios para caracterização das madeiras, tais como ensaio de dureza, mudança de coloração após os ensaios de biodeterioração, efeito da radiação UV e mudança de pH, seriam interessantes para complementação das análises estruturais, em pequenas ou grandes escalas, que são importantes para o desenvolvimento de produtos.

## 7

**Referências bibliográficas**

1. JACOBI, P. **Educação Ambiental, Cidadania e Sustentabilidade**. Faculdade de Educação e Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental da USP – São Paulo. Cadernos de Pesquisa, n. 118, p. 189-205, março/ 2003.
2. MORESCHI, J. C. **Propriedades Tecnológicas da Madeira**. Manual Didático. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal / UFPR. Paraná, 168p. 2005.
3. REVISTA DA MADEIRA. **Características Tecnológicas e Aplicações da Madeira**. Edição N°71 – Maio de 2003.
4. BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. Editora Nobel, São Paulo. 154 p. 1991.
5. TEMER, B. **Desenvolvimento e caracterização de chapa de fibras de palmeira de Pupunha (Bactris Gasipaes)**. Tese (mestrado) Departamento de Engenharia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 93f. 2010.
6. NEVES E. J. M., SANTOS A. F. dos, RODIGHIERI H. R., JÚNIOR C. C., BELLETTINI S., TESSMANN D. J. Embrapa - **Cultivo da Pupunheira para Palmito nas Regiões Sudeste e Sul do Brasil** - Circular Técnica 143 - Colombo, PR. 2007.
7. AGUIAR, F. F. A. **Fenologia do Pau-Brasil (Caesalpinia echinata Lam.)**. Revista Ecossistema, v.26, n.1, p. 107-112, 2001.



8. KALLIL FILHO A. N.; LOPES, A. J.; MARZOLLO, L. D.; BORTOLETO, A. S.; HIRANO, E.; STURION, J. A. **Pré-melhoramento de Populações de Imbuia**. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, n 57, p61-67, jul/dez 2008.
  
9. PERLIN, J. **Forest journey : the role of wood in the development of civilization**. 445 pp.1997.
  
10. GRESHAM, G. E. **Mercado de Madeira de Florestas Plantadas**. Anais do Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria. São Paulo – 1995.
  
11. DIVISÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS. **Madeiras: material para o design**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo S. A. – IPT. Divisão de Produtos Florestais – DPF. Secretaria da Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Econômico – Programa São Paulo Design. SP, 1997.
  
12. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis- IBAMA. **Desmatamento**. Informativo Técnico Nº 1. BRASÍLIA – DF 2003.
  
13. KLOCK, U.; MUNIZ, G.I.B.; HERNANDEZ, J.A.; ANDRADE, A.S.; **Química da Madeira**. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. 3ª edição. Curitiba. 2005.
  
14. [www.madeiraestrutural.wordpress.com](http://www.madeiraestrutural.wordpress.com), acessado em 30 de maio de 2012.
  
15. TEIXEIRA, C.R.; CASANOVA, C.A. M.; FILHO, D.F.; FERNANDES J.A.; BALZARETTI, N.M.; **Influência da Anisotropia da Madeira no Desgaste das Ferramentas Diamantadas**. Trabalho apresentado no 6º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas. RS – 2011.

16. GLÓRIA, B.A.; GUERREIRO, S.M.C. **Anatomia Vegetal**. 2ª edição revisada e atualizada. Ed. UFV, Viçosa, 2006.
17. COSTA, A. **Coletânea de Anatomia da Madeira**. Pinus Letter, edição n.7, julho 2008.
18. VELOSO, D. P.; NASCIMENTO, E. A.; MORAIS, S. A. L. **Isolamento e Análise Estrutural de Ligninas**. Química Nova, 16 (5), 1993.
19. CLEMENT, C. R. **Pupunha (Bactris Gasipaes Kunth, Palmae). Série Frutas Nativas**, FUNDEP, São Paulo, p.8. 48: 2000.
20. CLEMENT, C. R.; BOVI, M. L. A. **Novos mercados de palmito – minimamente processado e “pronto-para-uso”**. In: SEMINÁRIO DO AGRONEGÓCIO PALMITO DE PUPUNHA NA AMAZÔNIA, 1, 1999, Porto Velho. **Anais**. Porto Velho: Embrapa, p. 15-18, 1999.
21. SILVA, M. G. C. P. C.; **Cultivo da Pupunheira**. Ceplac/Cepec - Itabuna CP
22. [www.cliquearquitetura.com.br](http://www.cliquearquitetura.com.br), acessado em julho de 2012.
23. FERREIRA, S. A. do N.; SANTOS, L. A.; **Viabilidade de Sementes de Pupunha (Bactris gasipaes KUNTH)**. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, CP 478 69-83, Manaus, AM
24. FONSECA, E. B. A.; MOREIRA, M. A.; DE CARVALHO, J. G. **Cultura da pupunheira (Bactris gasipaes Kunth.)**. Universidade Federal de Lavras, Boletim Técnico n.29. 45p. 2002.
25. YOUNGQUIST, J. A. Wood-based composites and panel products. In: **Wood handbook: wood as an engineering material**. Madison: USDA Forest Service, Department of Agriculture, Forest Products Laboratory, 1999, Chap. 10, 463 p.

26. AGUIAR, F. F. A.; PINTO, M. M., TAVARES, A.R.; KANASHIRO, S. **Maturação de frutos de *Caesalpinia echinata* Lam. Pau-Brasil.** Revista Árvore, v.31, n.1, p.1-6, MG – 2007. Sociedade de Investigações Florestais - Recebido em 22.04.2005 e aceito para publicação em 13.09.2006.
  
27. LORENZI, H. **Árvores brasileiras. Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** Nova Odessa. Instituto Plantarum de estudos da flora LTDA. SP-Brasil, v1. 5ª edição. 382p. 2008
  
28. GLÓRIA, B.A.; GUERREIRO, S.M.C. **Anatomia Vegetal.** 2ª edição revisada e atualizada. Ed. UFV, Viçosa, 2006.
  
29. RIZZINI, C.T. **Árvores de Madeiras Úteis do Brasil – Manual de Dendrologia Brasileira.** Ed. Edgard Blücher, 2ª edição. São Paulo. 1978.
  
30. LAINETTI R.; BRITO N.R.S. **A saúde pelas plantas e ervas do mundo inteiro.** Rio de Janeiro: Ediouro; 1980.
  
31. Fotografia do autor tirada no campus da PUC-Rio, janeiro de 2013.
  
32. SILVA, C. A. **Análise da Composição da Madeira de *Caesalpinia echinata* Lam. (Pau-Brasil): Subsídios para o entendimento de sua estrutura e resistência a organismos xilófagos.** 2007. 120p. Tese (Doutorado em Biologia Celular e Estrutural). Instituto de Biologia. Universidade Estadual de Campinas, SP.
  
33. LONGHI, E. L. **Pau-brasil e outras espécies nativas empregadas na confecção de arcos para instrumentos de corda: um estudo comparativo.** 2005. 75f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade de São Paulo, Instituto de Botânica, São Paulo, 2005.
  
34. [www.google.com.br](http://www.google.com.br), acessado em junho de 2012.

35. CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ; Brasília, DF. 1994. 639 p.
36. MARCHESAN, P et al. **Caracterização Física, Química e Anatômica da Madeira de *Ocotea porosa* (Nees & C. Mart.) Barroso**. Embrapa – Comunicado Técnico, 161, Colombo – PR. 2006.
37. MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. São Paulo: IPT, 1989. 418 p.
38. JANKOWSKY, I. P.; CHIMELO, J. P.; CAVALCANTE, A. A.; GALINA, I. C. M.; NAGAMURA, J. C. S. **Madeiras brasileiras**. Caxias do Sul: Spectrum, 1990. 171 p.
39. [www.loungemobilier.com.br](http://www.loungemobilier.com.br), acessado em junho de 2012.
40. [www.casadevalentina.com.br](http://www.casadevalentina.com.br), acessado em julho de 2012.
41. ASTM G77-91: **Standard Test Method for Ranking Resistance of Materials to Sliding Wear Using Block-on Ring Wear Test**.
42. PASCOALI, S; ALARCON, O. **Introdução ao Desgaste Abrasivo**. Departamento de Engenharia Mecânica – UFSC. Agosto/ 2004.
43. FRIEDRICH, K., (Editor), **Friction and Wear of Polymer Composites (Composite Materials Series 1)**, ISBN 0444425241, 1986.
44. SILVA, F. D.; BITTENCOURT, R. M.; **Estudo do Desgaste à Abrasão Do Eucalipto, Madeira Laminada e Bambu Gigante Laminado Utilizados como Elemento de Piso**. Universidade Estadual Paulista – UNESP - Faculdade de Engenharia Civil. VIII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. Uberlândia – Julho de 2002.

45. BACELLAR, R. S. **Caracterização microestrutural e mecânica de resíduos da agroindústria. 2010.** Tese (Mestrado em Engenharia de Materiais e em Processos Químicos e Metalúrgicos.). Departamento de Engenharia de Materiais. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
46. LOGSDON, N. B. (1998). **Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira.** São Carlos, 1998. 174p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.
47. FOREST PRODUCTS LABORATORY . FPL. **Wood handbook:** Wood as an engineering material. Washington: U.S.D.A., 1987. 466p. (Agriculture Handbook, 72). 1987).
48. PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de construção.** Editora Globo. 2a edição. Porto Alegre. 435p. 1976.
49. OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER J. C.; FILHO, M. T. **Variação do Teor de Umidade e da Densidade Básica na Madeira de Sete Espécies de Eucalipto.** Revista Árvore, Viçosa, v.29, n.1, p.115-127, 2005.
50. MOTHÉ, C. G.; AZEVEDO, A. D. **Análise Térmica de Materiais - São Paulo:** Editora Artliber – 2009.
51. WENDHAUSEN, P. A. P.; **Apostila de Análises Térmicas – Curso de Graduação em Engenharia de Materiais – Departamento de Engenharia Mecânica – UFSC.** Elaborado por Guilherme V. Rodrigues e Otávio Marchetto.
52. CANEVAROLO, S. V. **Técnicas de Caracterização de Polímeros – São Paulo:** Editora Artliber, 1ª edição, 2004.
53. CALLISTER, W. J. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução.** Rio de Janeiro. Ed.: LTC. 2008.
54. NETO, R.B. **Técnica de Caracterização de Polímeros.** IQ/UFRGS, RS.

55. RONG, M. Z.; ZHANG, M. Q.; LIU, Y.; YANG, G. C.; ZENG, H.M. **The effect of fiber treatment on the mechanical properties of unidirectional sisal-reinforced epoxy composites.** Composites Science and Technology, v.61, n.10, p. 1437-1447, 2001.
  
56. OLIVEIRA, A. K. F.; **Estudo da viabilidade técnica de utilização do compósito poliuretano de resina de mamona e fibra de ubuçu na fabricação de pisos e revestimentos. 251f. 2011.** Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais e em Processos Químicos e Metalúrgicos). Departamento de Engenharia de Materiais. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
  
57. APRILE, F. M.; DELITTI, W. B. C.; BIANCHINI JR., L. **Aspectos cinéticos da degradação de laminados de madeira em ambientes aquático e terrestre.** Revista Brasileira de Biologia, v.59, n.3, p.485-492, 1999.
  
58. SWIFT, M. J.; HEAL, D. W.; ANDERSON, J. M. **Studies in ecology-decomposition in terrestrial and aquatic ecosystems.** Oxford: Blackwell, 1979. p.54-94.
  
59. ABREU, L. D.; MARINO, R. H.; MESQUITA, J.B.; RIBEIRO, G.T. **Degradação da Madeira de *Eucalyptus* sp. por Basidiomicetos de Podridão Branca.** Departamento de Engenharia Agrônômica. Universidade Federal de Sergipe. *Arq. Inst. Biol.*, São Paulo, v.74, n.4, p.321-328, out./dez, 2007.
  
60. ARAÚJO, E.A.; ANDRADE, N.J.; CARVALHO, A. F. de C.; RAMOS A. M.; SILVA, C. A. de S.; SILVA, L. H. M. – ***Aspectos Coloidais da Adesão de Microrganismos*** - Universidade Federal de Viçosa, MG, Brasil - ***Química Nova***, Vol. 33, No. 9, 1940-1948, 2010 - Recebido em 17/11/09; aceito em 21/4/10; publicado em 1/9/10.
  
61. BLOCK, S. S. **Disinfection, Sterilization and Preservation.** Lippincott Williams & Wilkins – 5<sup>th</sup> Editions – 2001.

62. SANTOS, A.F. DOS; LUZ, E.D.M.N.; FINATO, P.D.; TESSMANN, D.J.; VIDA, J.B. **Primeiro relato da podridão da estipe da pupunheira, causada por *Phytophthora palmivora*, no estado do Paraná.** Fitopatologia Brasileira 29:680-682. 2004.
63. GUYTON, A. C.; **Tratado de Fisiologia Médica.** Rio de Janeiro. 11ª Edição. 2006.
64. [www.cosmeticaemfoco.com.br](http://www.cosmeticaemfoco.com.br), acessado em outubro de 2012.
65. [www.portalsaofrancisco.com.br](http://www.portalsaofrancisco.com.br), acessado em novembro de 2012.
66. FARMER. Corrosion of metals in association with wood. **Conservation Journal**, vol. 27. July 1992.
67. [www.joalheiros.net](http://www.joalheiros.net), acessado em abril de 2011.
68. [www.pedradasorte.blogspot.com.br](http://www.pedradasorte.blogspot.com.br), acessado em dezembro de 2012.
69. [www.vejasp.abril.com.br](http://www.vejasp.abril.com.br), acessado em junho de 2011.
70. [www.vivara.com.br](http://www.vivara.com.br), acessado em março de 2011.
71. MENEZES, R. P. **Medidas em Escala Nanométrica de Propriedades Mecânicas e Ópticas em Superfícies**, Tese de Doutorado, CBPF, RJ, 1998.
72. APHA. American Publish Halth Association/AWWA. American Water Works Association/WEF. Water Environment Federation. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** APHA, Washington. 21<sup>st</sup> edition. 2005.
73. OLIVEIRA, A. K. F. **Caracterização físico-mecânicas de laminado colado de bambu.** Tese (Mestrado). Universidade Federal de Campina Grande. 100p. 2005.
74. CORRADINI, E.; ROSA, M. F.; MACEDO, B. P.; PALADIN P. D.; MATTOSO, L. H. C. **Composição Química, Propriedades Mecânicas e Térmicas da Fibra de Frutos de Cultivares de Coco Verde.** Revista Brasileira de Fruticultura - SP, v. 31, n. 3, p. 837-846, 2009.

75. SANTOS, P. A.; SPINACÉ, M. A. S.; FERMOSELLI, K. K. G.; De PAOLI, M. A. **Efeito da Forma de Processamento e do Tratamento da Fibra de Curauá nas Propriedades de Compósitos com Poliamida-6.** *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 19, nº 1, p. 31-39, 2009.
76. ALVAREZ, V.; VÁZQUEZ, A. Thermal degradation of cellulose derivatives/starch blends and sisal fibre biocomposites. **Polymer Degradation and Stability**, Essex, v.84, n.1, p.13-21, 2004.
77. YAO, F.; WU, Q.L.; LEI, Y.; GUO, W. H.; XU, Y. J. Thermal decomposition kinetics of natural fibers: Activation energy with dynamic thermogravimetric analysis. **Polymer Degradation and Stability**, Essex, v.93, n.1, p.90-98, 2008.
78. D'ALMEIDA, J.R.M.; D'ALMEIDA, A.L.F.S.; CARVALHO, L.H. **Mechanical, morphological and structural characteristics of caroá (*Neoglaziovia variegata*) fibers.** *Polymers & Polymer Composites*, V.16, p.577-583, 2007.



## Glossário

### A

Abacaxi - *Ananas comosus*

Abeto - *Abies alba* Miller

Amendoim - *Arachis hypogaea* L

Angelim amargoso - *Vatairea macrocarpa*

Angico-preto - *Piptadenia* sp

Aroeira do Sertão - *Astronium urundeuva*

### B

Baitoa - *Phyllostemon brasiliensis*

Bambu gigante - *Dendrocalamus giganteus*

Bétula – Bétula sp.

Braúna-preta - *Melanoxylon braúna*

### C

Cabreúva - *Myrocarpus frondosus*

Cabriúva - *Myroxylon balsamum*

Canela - *Cinnamomum zeylanicum*

Canela-sassafrás - *Ocotea odorifera*

Carvalho - *Euplassa* sp

Caviúna – *Machaerium scleroxylon*

Cedro - *Cedrela* sp

Cedro - *Cedrela odorata*

Cedro-rosa - *Cedrela fissilis*

Cerejeira - *Torresea acreana*

Cerejeira - *Prunus serotina*

Cinamomo-cânfora - *Cinnamomum camphora*

Copaíba - *Copaifera langsdorffii*

Cupiúba - *Goupia glabra*

Curauá - *Ananas erectifolius*

## E

Espécies de Eucaliptos – *Eucalyptus* sp., *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus paniculata*

*E. tereticornis*, *E. pilularis*, *E. cloeziana*, *E. urophylla*

## I

Imbuia - *Ocotea porosa*

Ipê - *Tabebuia chrysotricha*

Ipê - *Tabebuia serratifolia*

Ipê do cerrado - *Tabebuia* sp

Itaúba - *Mezilaurus itauba*

## J

Jacarandá-da-bahia – *Dalbergia nigra*

Jacareúba – *Calophyllum brasiliense*

Jatobá - *Hymenaea* sp

Jequitibá Rosa - *Cariniana legalis*

## L

Louro - *Laurus nobilis*

## M

Maçaranduba - *Manilkara elata*

Mogno - *Swietenia macrophylla*

**P**

Pau-amarelo - *Euxylophora paraensis*

Pau-brasil - *Caesalpinia echinata*

Pau campeche – *Haematoxylum campechianum*

Pau-jacaré - *Piptadenia communis*

Pau marfim - *Balfourodendron riedelianum*

Pau-roxo - *Peltogyne subsessilis*

Peroba- amarela – *Aspidosperma polyneuron*

Peroba do campo - *Paratecoma Peroba*

Peroba - rosa - *Aspidosperma polyneuron*

Pinho do Paraná - *Araucaria angustifolia*

Pinus - *Pinus elliottii*

Pinus - *Pinus taeda*

Pinus - *Pinus oocarpa*

*Pinus - Pinus sp*

Piquiá - *Caryocar villosum*

Pupunha - *Bactris gasipaes*

**S**

Sucupira - *Bowdichia nitida*

**T**

Taiúva - *Chlorophora tinctoria*

Tamboril, timburi - *Enterolobium contortisiliquum*

**V**

Virola - *Virola surinamensis*

## Apêndice

Valores referentes aos resultados do ensaio de abrasão:

### Pupunha

Amostra	Massa Inicial (g)	$\Phi$ (cm)	h (cm)	Massa Final (g)	$\Delta$ Massa % (g)	V (cm <sup>3</sup> )	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\omega s$ (cm <sup>3</sup> /N.m)
1	4,20	1,57	1,86	4,09	2,38	3,56	1,18	0,48
2	4,15	1,55	1,86	4,02	3,13	3,45	1,20	0,64
3	4,34	1,55	1,88	4,21	2,99	3,48	1,25	0,56
4	4,41	1,55	1,94	4,27	3,17	3,59	1,23	1,00
5	4,53	1,52	2,00	4,44	1,98	3,64	1,24	0,45

### Pau-Brasil

Amostra	Massa Inicial (g)	$\Phi$ (cm)	h (cm)	Massa Final (g)	$\Delta$ Massa % (g)	V (cm <sup>3</sup> )	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\omega s$ (cm <sup>3</sup> /N.m)
1	3,56	1,49	1,87	3,40	4,49	3,29	1,08	0,70
2	3,80	1,53	1,86	3,70	2,63	3,33	1,14	0,46
3	3,48	1,46	1,89	3,33	4,31	3,15	1,10	0,67
4	3,78	1,51	1,90	3,65	3,44	3,34	1,13	0,60
5	3,63	1,59	1,88	3,50	3,58	3,66	0,99	0,52

### Imbuia

Amostra	Massa Inicial (g)	$\Phi$ (cm)	h (cm)	Massa Final (g)	$\Delta$ Massa % (g)	V (cm <sup>3</sup> )	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\omega s$ (cm <sup>3</sup> /N.m)
1	1,49	1,28	1,91	1,24	16,78	2,46	0,61	0,62
2	1,60	1,23	2,03	1,37	14,37	2,42	0,66	0,62
3	1,46	1,25	1,83	1,21	16,43	2,18	0,72	0,73
4	1,25	1,20	1,77	1,01	19,20	2,00	0,63	0,62
5	1,41	1,20	1,94	1,18	16,31	2,19	0,64	0,60