



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE ENGENHARIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS DA AMAZÔNIA**

JULIANE DA SILVA SAMPAIO

**CRISTALINIDADE E ESTRUTURA QUÍMICA DE ESPÉCIES MADEIREIRAS
AMAZÔNICAS EM PÁTIO DE TORAS APÓS DEGRADAÇÃO NATURAL**

**SANTARÉM-PA
2023**

JULIANE DA SILVA SAMPAIO

**CRISTALINIDADE E ESTRUTURA QUÍMICA DE ESPÉCIES MADEIREIRAS
AMAZÔNICAS EM PÁTIO DE TORAS APÓS DEGRADAÇÃO NATURAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, junto ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais da Amazônia. Área de concentração: Bioprospecção e Manejo dos Ecossistemas Amazônicos
Orientador: Dr. Manoel Roberval Pimentel Santos

**SANTARÉM-PA
2023**

JULIANE DA SILVA SAMPAIO

**CRISTALINIDADE E ESTRUTURA QUÍMICA DE ESPÉCIES MADEIREIRAS
AMAZÔNICAS EM PÁTIO DE TORAS APÓS DEGRADAÇÃO NATURAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, junto ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais da Amazônia. Área de concentração: Bioprospecção e Manejo dos Ecossistemas Amazônicos
Orientador: Dr. Manoel Roberval Pimentel Santos

CONCEITO: APROVADA

Data de aprovação: 30/03/2023

Documento assinado digitalmente
 MANOEL ROBERVAL PIMENTEL SANTOS
Data: 13/07/2023 10:31:39-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Manoel Roberval Pimentel Santos – Orientador
UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE PARÁ – UFOPA

Documento assinado digitalmente
 ROSE CALDAS DE SOUZA MEIRA
Data: 13/07/2023 10:46:27-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof.ª DRª Rose Caldas de Souza Meira
UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE PARÁ – UFOPA

Prof.ª DRª. Patrícia Soares Bilhalva dos Santos
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS – UFPEL

Documento assinado digitalmente
 PATRÍCIA SOARES BILHALVA DOS SANTOS
Data: 19/07/2023 17:39:35-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Dr.- Raimundo Cosme de Oliveira Júnior
Embrapa Amazônia Oriental

Documento assinado digitalmente
 RAIMUNDO COSME DE OLIVEIRA JUNIOR
Data: 14/07/2023 13:42:48-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

**Dados Internacionais de Catalogação na
Publicação (CIP) Sistema Integrado de
Bibliotecas – SIBI/UFOPA**

S192c Sampaio, Juliane da Silva

Cristalinidade e estrutura química de espécies madeireiras amazônicas em pátio de toras após degradação natural. / Juliane da Silva Sampaio. – Santarém, 2023.

75 p. : il.
Inclui bibliografias.

Orientador: Manoel Roberval Pimentel Santos.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Oeste do Pará,
Instituto de Engenharia e Geociências, Programa de Pós-Graduação
em Recursos Naturais da Amazônia.

1. Indústria madeireira. 2. Caracterização. 3. Amazônia. I. Santos, Manoel Roberval Pimentel, *orient.* II. Título.

CDD: 23 ed. 674.3

Bibliotecária - Documentalista: Cátia Alvarez – CRB/2 843

The future is up to us.
Enola Holmes

Ao meu lindo e amado esposo

Breno Calzavara

Aos meus mãe, pai e irmãos

Valda e Jair

Douglas e Jefferson

As minhas lindas avó e madrinha

Dona Conceição e Verônica Aparecida

Aos meus queridos amigos e mestres

Fernando Andrade

Victor Moutinho

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, por ter enviado Jesus Cristo para nos salvar, por nos conceder os sete dons do Espírito Santo e por ser o motivo de todas as coisas.

Ao meu esposo Breno Calzavara por todo o amor, carinho, dedicação e apoio emocional, por me estimular a sempre buscar meu melhor, por sempre acreditar em mim como pessoa e profissional.

A minha família por todo o apoio que recebo em minha vida pessoal e acadêmica. Em especial aos meus pais Valda e Jair por jamais duvidarem dos meus sonhos e pela grande confiança em mim e nos meus projetos.

A minha avó Dona Conceição e minha madrinha Aparecida por terem sido o meu maior exemplo, por ter meu infinito amor. Vocês sempre estarão guardadas no meu coração, espero encontrar vocês novamente na morada eterna.

Ao meu orientador Manoel Roberval pela porta de entrada no mestrado e por me ajudar quando precisei.

Aos professores Fernando e Victor, pelos anos de apoio, confiança, aprendizado adquirido e demais coisas. Muito obrigada por me estimularem a ir atrás das oportunidades, me ajudarem a não desistir deste trabalho, por serem um grande exemplo para minha vida profissional.

Ao Laboratório de Tecnologia da Madeira (LTM) e a Universidade Federal do Oeste do Pará, onde vivi os melhores momentos de minha vida acadêmica, que me deram o suporte necessário e ajudaram a financiar meu trabalho e proporcionaram fazer tantas amizades especiais. Em especial a Saulo, Jéssica, Felipe, Érica, Bruno, Girlene, Iara, Rafa. e vários outros que com grande apoio e amizade durante todos esses anos, fizeram a minha vida ser um pouco mais feliz.

À Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA), pela concessão de bolsa de estudos através do projeto PEEEX, ao PPGRNA e a todas as demais instituições que contribuíram com a realização do curso.

RESUMO

As perdas em indústrias madeireiras são consideráveis devido à falta de cuidados pós-colheita, transporte e armazenamento. Quando não há devido cuidado no pós abate, parte das toras que chegam ao pátio das indústrias já foi bastante degradadas pela ação de organismos xilófagos. Na região amazônica, estes efeitos são maiores devido a logística de transporte e armazenamento incorreto que sujeitam a madeira a agentes bióticos e abióticos. Desta forma, metodologias ou técnicas de controle de qualidade que gerem subsídios para tomada de decisão são importantes para garantir maior rendimento e segurança nas diversas aplicabilidades que a madeira pode ter dentro da indústria. Neste cenário, a utilização de técnicas de avaliação não convencionais da madeira pode ser uma importante ferramenta em função do reduzido custo e tempo empregado nas análises com vistas a direcionar a melhor forma de uso para este material. O objetivo desse trabalho é avaliar se a cristalinidade e a estrutura química da madeira obtidas por difração de Raio X e Espectrometria no infravermelho próximo por transformada de Fourier - (FTNIR) podem auxiliar na análise de degradação por fungos e insetos em toras de espécies amazônicas armazenadas em pátio de estocagem. O material utilizado foi proveniente do pátio de estocagem de toras de uma empresa florestal, na zona rural de Santarém. Para este estudo foi utilizado material de 05 (cinco) espécies comerciais que estavam estocadas em pátio aberto há seis meses. Foi avaliada a escala de degradação por fungos e insetos, o teor de umidade das toras e as propriedades químicas (teor de extrativos totais, lignina e holocelulose), a cristalinidade e a estrutura química da madeira obtidas por difração de Raio X e Espectrometria no infravermelho próximo com transformada de Fourier - (FTNIR). A posição das toras e nas pilhas associadas ao tempo de estocagem exerceu certa influência nas características químicas quantitativas e qualitativas da madeira. E com isso, observou-se também que as técnicas de Difração de Raio-x e a Espectroscopia de infravermelho próximo com transformada de Fourier - (FTNIR) apresentaram potencial para análise de degradação por fungos e insetos em toras de espécies amazônicas armazenadas em pátio de estocagem.

Palavras-chaves: Indústria madeireira, caracterização, Amazônia.

ABSTRACT

Losses in timber industries are considerable due to lack of post-harvest care, transport, and storage. When post-slaughter care is not properly taken care of, part of the logs arriving at the industrial yard has already been significantly degraded by the action of xylophagous organisms. In the Amazon region, these effects are greater due to incorrect transport and storage logistics that subject the wood to biotic and abiotic agents. In this way, quality control methodologies or techniques that generate subsidies for decision-making are important to guarantee greater yield and safety in the various applicability that wood can have within the industry. In this scenario, the use of non-conventional wood evaluation techniques can be an important tool due to the reduced cost and time used in the analyzes with a view to directing the best way to use this material. The objective of this work is to evaluate if the crystallinity and the chemical structure of the wood obtained by X-ray diffraction and Fourier transform near infrared spectrometry - (FTNIR) can help in the analysis of degradation by fungi and insects in stored logs of Amazonian species in a storage yard. The material used came from the log storage yard of a forestry company, in the rural area of Santarém. For this study, was used material from 05 (five) commercial species that had been stored in an open yard for six months. The scale of degradation by fungi and insects, the moisture content of the logs and the chemical properties (content of total extractives, lignin and holocellulose), the crystallinity and the chemical structure of the wood obtained by X-ray diffraction and infrared spectrometry were evaluated. The position of the logs and in the stacks associated with the storage time exerted some influence on the quantitative and qualitative chemical characteristics of the wood. And with that, it was also observed that the techniques of X-Ray diffraction and Fourier transform near infrared spectrometry - (FTNIR) showed potential for analysis of degradation by fungi and insects in logs of Amazonian species stored in a yard of storage.

Keywords: Timber industry, characterization, Amazon.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Esquema de amostragem utilizado para a escolha das toras utilizadas no estudo.	33
Figura 2: Procedimentos de coleta do material lenhoso para análises em laboratório.	34
Figura 3: Teor de umidade médio das espécies avaliadas dentro do pátio de toras da Rondobel.	41
Figura 4: Espectros de FTNIR das espécies de madeira e por posição na pilha estudadas na região de 7750 a 4000 cm^{-1}	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Regiões espectrais do infravermelho.....	29
Tabela 2: Lista das espécies selecionadas para o estudo.....	33
Tabela 3: Critérios para classificação do nível de degradação das madeiras por insetos.....	35
Tabela 4: Classificação do nível de degradação das madeiras por fungos.	36
Tabela 5: Porcentagem de toras atacadas por fungos (F%) e insetos (I%) na direção casca-cerne em cada espécie avaliada após 06 meses de estoque sem movimentação e as observações qualitativas feitas no pátio de estocagem da empresa.....	39
Tabela 6: Médias por espécie e nas posições base, meio e topo do teor de extrativos totais, lignina e holocelulose médios das espécies avaliadas dentro do pátio de toras da Rondobel.	42
Tabela 7: Valor percentual do Índice de Cristalinidade (IC) das espécies por posição (base, meio e topo) na pilha de estocagem.	44
Tabela 8: Espectros de FTNIR com as bandas de absorção típicas de componentes de madeira.	45
Tabela 9: Médias das absorbâncias obtidas com os espectros de FTNIR das madeiras nas posições base, meio e topo, respectivamente.....	50

SUMÁRIO

1 CRISTALINIDADE E ESTRUTURA QUÍMICA DE ESPÉCIES MADEIREIRAS AMAZÔNICAS EM PÁTIO DE TORAS APÓS DEGRADAÇÃO NATURAL	14
2 INTRODUÇÃO.....	15
3 REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 Amazônia e potencial madeireiro	17
3.2 Características gerais das espécies escolhidas	19
3.2.1 <i>Dipteryx odorata</i> – (Cumaru)	19
3.2.2 <i>Apuleia leiocarpa</i> (J. Vogel) J. F. Macbr - (Garapa)	20
3.2.3 <i>Micropholis venulosa</i> (Guajará).....	20
3.2.4 <i>Lecythis lúrida</i> – (Jarana)	21
3.2.5 <i>Vochysia maxima</i> – (Quaruba).....	21
3.3 Componentes químicos da madeira.....	22
3.4 Resistência natural da madeira.....	23
3.5 Técnicas utilizadas na caracterização dos materiais.....	26
3.5.1 Difração de raios X.....	26
3.5.2 Espectroscopia na região do infravermelho próximo com transformada de Fourier - FTNIR	28
4 OBJETIVOS.....	31
4.1 Geral.....	31
4.2 Específicos	31
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	32
5.1 Amostragem, coleta e desdobro do material	32
5.2 Nível de degradação por insetos.....	34
5.3 Nível de degradação promovida por fungos.....	35
5.4 Análises químicas	36
5.5 Estimativa da Cristalinidade via Difração de Raios X.....	36

5.6	Análises de Espectrometria no Infravermelho próximo com transformada de Fourier -(FTNIR).....	37
5.7	Análises estatísticas	37
6	RESULTADOS.....	38
6.1	Avaliação qualitativa do ataque de fungos e insetos na madeira das espécies avaliadas	38
6.2	Teor de umidade	40
6.3	Análises químicas	41
6.4	Estimativa da cristalinidade via difração de raio-x.....	43
6.5	Análises de espectrometria no infravermelho próximo por transformada de Fourier(FTNIR).....	44
7	DISCUSSÃO.....	51
7.1	Avaliação qualitativa do ataque de fungos e insetos na madeira das espécies avaliadas	51
7.2	Teor de umidade	52
7.3	Análises químicas	53
7.4	Estimativa da cristalinidade via difração de raio-x.....	56
7.5	Análises de espectrometria no infravermelho por transformada de Fourier-(FTNIR).....	57
8	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	59
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60

1 CRISTALINIDADE E ESTRUTURA QUÍMICA DE ESPÉCIES MADEIREIRAS AMAZÔNICAS EM PÁTIO DE TORAS APÓS DEGRADAÇÃO NATURAL¹

ABSTRACT: Losses in timber industries are considerable due to lack of post-harvest care, transport, and storage. When post-slaughter care is not properly taken care of, part of the logs arriving at the industrial yard has already been significantly degraded by the action of xylophagous organisms. In the Amazon region, these effects are greater due to incorrect transport and storage logistics that subject the wood to biotic and abiotic agents. In this way, quality control methodologies or techniques that generate subsidies for decision-making are important to guarantee greater yield and safety in the various applicability that wood can have within the industry. In this scenario, the use of non-conventional wood evaluation techniques can be an important tool due to the reduced cost and time used in the analyzes with a view to directing the best way to use this material. The objective of this work is to evaluate if the crystallinity and the chemical structure of the wood obtained by X-ray diffraction and Fourier transform near infrared spectrometry - (FTNIR) can help in the analysis of degradation by fungi and insects in stored logs of Amazonian species in a storage yard. The material used came from the log storage yard of a forestry company, in the rural area of Santarém. For this study, was used material from 05 (five) commercial species that had been stored in an open yard for six months. The scale of degradation by fungi and insects, the moisture content of the logs and the chemical properties (content of total extractives, lignin and holocellulose), the crystallinity and the chemical structure of the wood obtained by X-ray diffraction and infrared spectrometry were evaluated. The position of the logs and in the stacks associated with the storage time exerted some influence on the quantitative and qualitative chemical characteristics of the wood. And with that, it was also observed that the techniques of X-Ray diffraction and Fourier transform near infrared spectrometry - (FTNIR) showed potential for analysis of degradation by fungi and insects in logs of Amazonian species stored in a yard of storage.

Keywords: Timber industry, characterization, Amazon.

¹ O artigo apresentado foi redigido conforme as diretrizes de submissão da revista **CERNE**. As normas indicadas para a redação de artigos pela revista estão disponíveis no link: <https://cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/about/submissions>.

2 INTRODUÇÃO

As perdas em indústrias madeireiras na Amazônia chegam a até 60 % devido à falta de cuidados pós-abate, transporte e armazenamento (Abreu et al., 2002). Ainda de acordo com esses autores quando as toras chegam ao pátio das indústrias, parte delas já foi bastante degradada pela ação de organismos xilófagos. Esta perda é refletida diretamente na produtividade final das empresas, pois acarreta a rejeição de grande parte do material por não atender as características ideais de qualidade para transformação das toras.

Os principais agentes de degradação da madeira podem ser classificados atendendo à sua origem que pode ser biótica e abiótica. Os fungos e os insetos que são de origem biótica são os principais organismos causadores de perdas na indústria madeireira (Ritter e Morrell, 1990). De acordo com Silva (2018) as indústrias de processamento de madeiras sofrem perdas econômicas consideráveis com a biodeterioração, a exemplo dos furos de brocas que diminuem o rendimento das toras ou das mudanças de coloração causadas por fungos manchadores na madeira para exportação.

Segundo Ampessan et al. (2015) o tempo de estocagem da madeira em pátios é determinado pela demanda de matéria-prima e logística. E quando se trata da região amazônica, a realidade acaba sendo diferente das demais regiões do Brasil, onde a questão de logística para a extração, transporte e processamento das toras é um dos principais entraves para a sua utilização, tendo em vista que o transporte das toras em algumas regiões é majoritariamente fluvial e o escoamento por meio terrestre vai de encontro com a precariedade das estradas. Com isso as toras de várias espécies de interesse comercial acabam ficando estocadas por muito mais tempo em pátios localizados dentro das florestas ou até em áreas que não possuem o devido planejamento para receber esse material, o que acarreta na maioria das vezes em danos econômicos causados por agentes bióticos e abióticos.

Alguns autores já realizaram trabalhos que avaliaram a qualidade da madeira referente à degradação de organismos xilófagos de diferentes espécies em pátios de estocagem (Abreu et al., 2002; Hanada et al., 2003). Porém, verifica-se que a variedade de trabalhos com espécies amazônicas relacionados a esse tema é baixíssima, sendo a maioria dos trabalhos realizada em madeiras de espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* em condições controladas. Autores como Viana et al. (2010) salientam que as indústrias de base florestal vêm encontrando dificuldades no controle da qualidade de seus produtos, uma vez que a determinação das propriedades da madeira, na maioria dos casos, é realizada por meio de uma série de ensaios, envolvendo métodos tradicionais que são onerosos e destrutivos e que geram alta subjetividade dos resultados, necessitando de inovação em mais pesquisas.

Desta forma, metodologias ou técnicas de controle de qualidade que gerem subsídios para tomada de decisão são importantes para garantir maior rendimento e segurança nas diversas aplicabilidades que a madeira pode ter dentro da indústria. Neste cenário, a utilização de técnicas de avaliação não convencionais da madeira pode ser uma importante ferramenta em função do reduzido custo e tempo empregado nas análises com vistas a direcionar a melhor forma de uso para este material.

A exemplo disso temos a Difração de Raio-x que permite analisar a distribuição espacial das estruturas moleculares que compõem uma amostra e que é amplamente utilizada para se obter uma estimativa da porcentagem das regiões cristalinas em relação às regiões amorfas da celulose, o polímero mais abundante na natureza e um dos compostos mais degradados por agentes xilófagos (Awadel-Karim et al., 1999; Andrade et al., 2003; Lengowski, 2012). Essa técnica é bastante utilizada para verificar o comportamento da celulose de diferentes espécies na indústria de tratamento e preservação, carvão vegetal e papel e celulose (Geoge e Sabapathi, 2015; Lima et al., 2015; Pereira, 2012; Silva, 2020).

Outra técnica utilizada é a espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier– FTNIR que tem uma larga faixa de aplicações que vai desde a análise de moléculas pequenas até sistemas complexos como células e tecidos (Berthomieu e Hienerwadel, 2009). Alguns autores já apontaram a eficiência dessa técnica em análises para caracterização de espécies florestais e avaliar comportamento da celulose após tratamentos químicos (Lengowski, 2012; Queiroz, 2018).

Entretanto nota-se a ausência de estudos relacionados ao uso dessas técnicas para avaliar parâmetros referentes a degradação por fungos e insetos da madeira estocada em pátios da Amazônia. A maioria dos trabalhos presentes na literatura sobre as espécies comercializadas nessa região estão pautados em análises qualitativas com metodologias antigas. Então o conhecimento sobre a resistência da madeira estocada em pátios ao ataque de organismos xilófagos através de técnicas de predição como o DRX e FTNIR é importante, visto que podem se tornar uma nova alternativa para a análise de degradação por fungos e insetos de toras de diferentes espécies amazônicas.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Amazônia e potencial madeireiro

A Amazônia Brasileira abriga uma grande diversidade de recursos florestais sendo a extração de madeira uma das principais atividades econômicas desenvolvida nessa região. Segundo Ranking (1985), essa atividade é conduzida na Amazônia há mais de 300 anos. Entretanto, durante a maior parte deste período, esteve restrita ao estuário ao longo da calha dos principais rios da região, baseada na exploração de espécies de alto valor para o mercado europeu. Foi a partir da década de 1960 que, impulsionada pela abertura das principais estradas oficiais da região, a atividade madeireira se expandiu de modo a acessar os extensos estoques de madeiras valiosas existentes na terra firme da Amazônia (VALDIONES et al., 2022).

A atividade madeireira aumentou consideravelmente nos últimos anos na região amazônica, sendo atualmente de grande importância socioeconômica. No que diz respeito ao estado do Pará a renda obtida pela venda de madeiras no ano de 2015 foi de aproximadamente 369 milhões de reais (SEMAS, 2015). Já ano de 2018 o Estado do Pará arrecadou US\$ 54.452.265 com exportação em madeira serrada (SNIF, 2019). Ainda segundo dados do IMAFLORA, o Pará produziu cerca de 3 milhões de metros cúbicos de madeira a partir da exploração regulada de florestas naturais, como o manejo florestal e o desmatamento autorizado. Até setembro de 2020, o número alcançado foi de 2,2 milhões de metros cúbicos (IMAFLOA, 2022).

O volume de madeira em tora produzido sob concessões florestais em terras públicas federais e estaduais foi relativamente pequeno em comparação ao seu potencial de produção, compondo 10% do total produzido no Pará. Outros 13% da produção de madeira em tora foi produzida em associações comunitárias, seja em terras públicas - como reservas extrativistas - ou em assentamentos rurais e territórios quilombolas. Com isso podemos considerar a exploração madeireira uma das atividades mais dinâmicas da Amazônia (LENTINI, 2020).

Apesar da diversidade de espécies de grande valor econômico, um dos grandes obstáculos encontrados ainda é a pressão do mercado interno e externo por espécies específicas. De 2009 até 2015, mais da metade da demanda total de madeira no estado do Pará correspondia a apenas 3 gêneros botânicos: *Manilkara* (31,28 %), *Hymenaea* (10,66%) e *Dinizia* (10,47%) (DA LUZ et al., 2016). Na região do baixo amazonas, os dados para o mesmo período demonstraram que dos 5,5 milhões de metros cúbicos comercializados, 27% correspondiam a madeiras do grupo comercialmente conhecido por Massaranduba, enquanto Ipê, Jatobá e Angelim Vermelho representaram cada uma 6% do valor comercializado (FREITAS et al., 2015).

Em função do baixo conhecimento técnico e científico acerca das demais espécies, estas acabam tendo uma destinação de pouca relevância e com baixo valor

agregado. Com isso, Oliveira et al. (2005) citam que a potencial utilização da madeira está estritamente correlacionada ao conhecimento obtido através da determinação de suas propriedades tecnológicas, as quais influenciam diretamente na qualidade desse material.

Para promover o uso de novas espécies florestais, é necessário que se faça a caracterização tecnológica que possibilita maior rendimento e segurança nas aplicações na indústria. Essa caracterização deve ser feita de maneira criteriosa, com rapidez e eficiência com o uso de metodologias robustas e de vigor científico comprovado, a fim de se inserir novas espécies madeireiras com propriedades tão satisfatórias quanto as que já tem suas características conhecidas e que já são comercializadas (GALLIO et al., 2016).

3.2 Características gerais das espécies escolhidas

3.2.1 *Dipteryx odorata* – (Cumaru)

Dentre os vários tipos de espécies de madeira encontradas na região amazônica, podemos citar o Cumaru (*Dipteryx odorata*), que é uma madeira nobre, cujas características são diferenciadas das espécies comuns, apresentando alta resistência estrutural e alta densidade com valores entre 95,0 e 1,00 g.cm³ (PINTO et al., 2008).

Dipteryx odorata, também é popularmente conhecido como cumaru, cumaru-ferro, cumbaru, cumburu, paru, cumaru-verdadeiro, cumaru-amarelo, cumaru-do-amazonas e curumazeiro, é uma árvore da família das leguminosas, subfamília papilionoídea. No Brasil, ocorre principalmente no Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará e Rondônia. Quanto a madeira, possui cerne e alburno distintos pela cor, cerne castanho-claro-amarelado; brilho moderado; cheiro e gosto imperceptíveis; densidade alta; dura ao corte; grã revessa; textura fina a média, aspecto fibroso atenuado; superfície pouco lustrosa (IPT, 2021).

A madeira de Cumaru é amplamente utilizada em vários setores da indústria, podendo ser utilizada em construções, embarcações, assoalhos, móveis dentre outros (LIMA, 2012).

3.2.2 *Apuleia leiocarpa* (J. Vogel) J. F. Macbr - (Garapa)

Apuleia leiocarpa é tradicionalmente conhecida como Garapa, Gapiá ou Amarelinho. Essa espécie pertence à família das Fabáceas e ocorre no Acre, Amapá, Amazonas, Bahia, Espírito Santo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Paraná, Rio Grande do Sul, Rondônia, São Paulo. A madeira de *A. leiocarpa* possui cerne e alburno distintos pela cor, cerne variando de bege-amarelado a castanho-amarelado; superfície lustrosa e lisa ao tato; cheiro e gosto imperceptíveis; densidade média; dura ao corte; grã revessa; textura média (NAHUZ et al., 2013).

Segundo informações do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, a madeira da Garapa é moderadamente pesada (densidade 0.83 g/cm³), dura, fácil de trabalhar, de longa durabilidade, podendo, entretanto, ser atacada por cupins. Por ser pesada, de durabilidade natural moderada, de resistência mecânica entre média e alta, é indicada para construção de estruturas externas, dormentes, postes estacas, mourões, carrocerias; em construção civil, como vigas, caibras, ripas, tábuas e tacos para assoalhos; marcos de portas e janelas etc.; barris de cerveja, cabos de ferramentas; construções navais, como estruturas etc (IPT, 2021).

3.2.3 *Micropholis venulosa* (Guajará)

O guajará, que pertence à família *Sapotaceae*, é o nome mais comumente utilizado. Muitas outras denominações são dadas à espécie, como abiu, abiu-branco, abiu-rosadinho, abiu-ucuubarana, abiurana, goiabão, guajará-amarelo, guajará-vermelho e moabe. É uma espécie endêmica do Brasil, sendo encontrada naturalmente nos estados do Amapá, Maranhão, Pará (ALVES-ARAÚJO et al., 2020), Acre (SILVA et

al., 2015) e Roraima (EMBRAPA, 2017) em floresta de terra firme (DUCKE, 1925) e de savana (ROOSMALEN; GARCIA, 2000).

O cerne é marrom-avermelhado indistinto do alburno (Abiu-branco, 2012) e a densidade da madeira é de 0,65 g/cm³ a 0,81 g/cm³ (SILVA, 2002; ZERBINI, 2008; OLIVEIRA et al., 2017b). Essa espécie é muito utilizada em construção pesada, construção leve, embarcações, armação de móveis, torneados e chapas.

3.2.4 *Lecythis lúrida* – (Jarana)

Lecythis lurida (Miers.) S. A. Mori pertence à família das *Lecythidaceae*. Popularmente conhecida como Jarana, Jarana-branca, Jarana-buroja, Inhaíba, Inhaíba, Inhaíba-gigante, Castanha-jarana, Inhaíba-de-rego, Inhaíba vermelha, Jarana-da-folha-grande, Inhaíba-dafolha-miúda ou Sapucaia-vermelha (MORI, 1995; ITTO LESSER USED SPECIES, 2018). É uma espécie muito frequente em florestas de terra firme na Amazônia, cujas características são pouco conhecidas.

A madeira de *Lecythis lurida* (Miers.) S. A. Mori possui cerne/alburno distintos pela cor. O cerne tem aspecto amarronzado, sem alteração de cor por foto-oxidação. Os limites dos anéis de crescimento são indistintos ou pouco distintos. A madeira não possui brilho nas superfícies longitudinais e apresenta cheiro imperceptível. Dura ao corte transversal manual. Grã direita. Textura média. Figura presente causada por canais traumáticos (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2018).

3.2.5 *Vochysia maxima* – (Quaruba)

Vochysia maxima pertence à família *Vochysiaceae*, também é conhecida como guaruba, guaruba-cedro, quaruba-cedro, quaruba-goiaba, quaruba-verdadeira, quaruba-vermelha. Essa espécie ocorre na Amazônia, Mata Atlântica, Acre, Amapá, Amazonas, Bahia, Espírito Santo, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rio de Janeiro, Rondônia, São Paulo. Possui cerne e alburno pouco distintos pela cor, cerne rosado e

alburno cinza-claro a cinza-rosado; brilho moderado ou ausente; cheiro e gosto imperceptíveis; densidade baixa; macia ao corte; grã revessa; textura média a grossa. Essa espécie é muito utilizada em construção pesada, construção leve, embarcações, armação de móveis, torneados e chapas (IPT, 2022).

3.3 Componentes químicos da madeira

A madeira é um material heterogêneo, anisotrópico e higroscópico que apresenta composição química complexa, sendo constituída de celulose, hemiceluloses, lignina, extrativos, além de pequena fração de inorgânicos. Embora os componentes químicos sejam semelhantes entre as diversas espécies de madeira, sua proporção e sua estrutura sofrem variações (ARRIEL, 2017).

O composto orgânico mais importante da natureza e o principal componente das fibras naturais é a celulose. A celulose é um polímero de cadeia linear constituído, basicamente, de unidades de anidroglicopiranosose. As moléculas de celulose se agregam como microfibrilas, que contém regiões predominantemente cristalinas (ordenadas) além de regiões amorfas (desordenadas). As proporções dessas regiões dependem do tipo de fibra (SAMPAIO, 2013).

Como consequência de sua estrutura fibrosa, a celulose possui alta resistência à tração e é insolúvel à maioria dos solventes. Essas moléculas têm uma forte tendência para formar ligações de hidrogênio Inter e intramoleculares, por conta, principalmente, das hidroxilas presentes no composto. As ligações de hidrogênio e as forças de van der Waals entre os diversos planos são responsáveis por agregar as microfibrilas e as fibrilas, permitindo que se forme uma estrutura compacta e ordenada que constitui a estrutura cristalina da celulose. Contudo, as ligações de hidrogênio não ocorrem somente com as hidroxilas da cadeia celulósica, mas também com as advindas da água. A celulose possui, portanto, grande afinidade com a água, apesar de ser insolúvel a ela (SAMPAIO, 2013).

Além da celulose, está presente na madeira a hemicelulose, formada por muitas combinações de pentoses de açúcar (xilose e arabinose). A hemicelulose difere em alguns aspectos da celulose, principalmente em conformação, grau de polimerização e peso molecular, mas são de alguma forma, similares. O terceiro maior constituinte da madeira é a lignina, molécula polifenólica tridimensional, pertencente ao grupo dos fenilpropanos, de estrutura complexa e alto peso molecular (FENGEL; WEGNER, 1989), o que confere à madeira a resistência característica a esforços mecânicos.

Os demais chamados de compostos secundários estão presentes em menores quantidades. Esses compostos secundários são conhecidos como extrativos e não fazem parte da constituição química da parede celular e incluem um elevado número de compostos, como resinas, açúcares, taninos, ácidos graxos, dentre outros, que podem ser extraídos em água ou solventes orgânicos (SILVÉRIO et al., 2006).

3.4 Resistência natural da madeira

A madeira produzida no Brasil atende a uma ampla gama de finalidades, incluindo aplicações na indústria de papel e celulose, móveis, produção de painéis derivados de madeira e construção civil (REIS, 2017). Neste sentido, a madeira se destaca como material de ampla diversidade de utilizações dentro da indústria. No entanto, todos os tipos de madeira estão expostos ao ataque de organismos xilófagos independentemente da sua espécie e essa degradação pode produzir-se quando a madeira se encontra em forma de tora, mourão, lenha etc.; armazenada para transporte ou manufaturada; logo que convertida em tábuas, travessas ou outras formas, quando é empilhado para armazenamento ou secagem e ainda durante o tempo que esse material é usado como um produto acabado (HUNT; GARRATT, 1962).

A propriedade que faz a madeira resistir ao ataque de agentes deterioradores sem tratamento preservativo denomina-se resistência natural (PAES, 2007) e a resistência da madeira à deterioração é a capacidade inerente à espécie de resistir à

ação de agentes deterioradores, incluindo os agentes biológicos, físicos e químicos (PAES, 2002). Essa característica geralmente pode variar entre espécies, dentro de uma mesma árvore ou até mesmo entre indivíduos da mesma espécie (BOTELHO et al., 2005).

Alguns fatores referentes ao lenho como por exemplo, a teor de celulose, lignina e extrativos, a idade, a taxa de crescimento, densidade, a posição da madeira ao longo do tronco e no sentido radial estão diretamente ligados a durabilidade e a resistência natural da madeira ao ataque de organismos xilófagos (MORESCHI, 2013).

Segundo Mendes e Alves (1988), a resistência natural da madeira é um dos principais fatores que determina sua utilização, especialmente, em países tropicais, como o Brasil, onde a resistência natural ao ataque de organismos xilófagos e insetos é um dos principais problemas ligados a utilização desse material para suas diversas finalidades, em virtude de ocasionarem maiores danos econômicos, o que se torna um requisito importante para a utilização correta da madeira, principalmente no setor industrial (RICHARDSON, 2009).

Os agentes biodeterioradores da madeira podem ser bióticos ou abióticos, sendo os primeiros os mais relevantes, por serem mais efetivos no processo de degradação. Nesse grupo encontram-se insetos, fungos, bactérias, algas e xilófagos marinhos. Já para os fatores abióticos, pode-se citar a ação das chuvas, dos ventos e da radiação solar (TREVISAN, 2006).

Os fungos e os insetos são exemplos de xilófagos mais comuns, pela facilidade do surgimento desses agentes na madeira quando as condições são favoráveis (MOTTA et al., 2014). Os fungos podem decompor totalmente a madeira ou apenas causar manchas, são classificados como apodrecedores, emboladores e marchadores (MAGALHÃES, 2005). É do conhecimento que, dentre os cupins e besouros que habitam a madeira, existem aqueles que atacam a madeira com altos teores de umidade e aqueles que preferem a madeira seca. Dentre as famílias de besouros que atacam

árvores recém-abatidas podem-se destacar *Scolytidae* e *Platypodidae* e algumas espécies de *Cerambycidae* e *Curculionidae* (ABREU et al., 2002). Já as térmitas são, entre os insetos, consideradas os principais responsáveis em causar danos à madeira no mundo e, conforme seus hábitos de vida são classificados como subterrâneos, de madeira seca e de madeira úmida (ROCHA, 2001).

Os fungos são um dos principais organismos causadores de perdas na indústria madeireira. O fato desses organismos proporcionarem a degradação biológica da madeira é explicado por estes reconhecerem os polímeros naturais da parede celular como fonte de nutrição, obtendo alguns deles, sistemas enzimáticos específicos capazes de metabolizá-los e como causa dessa degradação ocorre o desgaste do material, o que conseqüentemente limita sua utilização (KUMODE, 2008).

Santini (1988) explica que para melhor avaliar a resistência natural da madeira a organismos xilófagos, são necessários testes laboratoriais e de campo. Os ensaios de campo permitem reproduzir com fidelidade situações de uso da madeira com ou sem tratamento químico. Madeiras nessas situações estão expostas a períodos irregulares de lixiviação, secagem, exposição à luz solar, além dos agentes químicos presentes no solo e diversos organismos xilófagos que podem atuar em conjunto.

Segundo Sales-Campos et al. (2000) as perdas em termos de volume de tora em algumas indústrias madeireiras chegam a 60%, principalmente por causa da falta de cuidados com a matéria-prima nos pós abate, transporte e armazenamento. Como as árvores são geralmente derrubadas e as toras permanecem no piso da floresta, aguardando para serem transportadas, tornam-se suscetíveis ao ataque de fungos e insetos. Quando as toras chegam ao pátio das indústrias, parte delas já está bastante deteriorada em virtude do ataque desses organismos.

Nota-se que a maioria dos trabalhos que são realizados no Brasil se baseiam em ensaios com um número reduzido de Espécies Florestais de áreas plantadas e a maioria desses testes é realizado em situações controladas em laboratório (LUCHTEMBERG,

2013; PAES et al., 2007; SANTOS, 2015), com poucos relatos em literatura com ensaios de deterioração em campo com espécies Amazônicas a exemplo de Marcondes et al. (2013) que avaliou a resistência natural da madeira de Marupá (*Simarouba amara*) e Jequitibá (*Cariniana micrantha*) em ensaios de deterioração de campo.

A maioria dos estudos encontrados em literatura se baseiam em avaliar parâmetros qualitativos da resistência natural ao ataque de organismos xilófagos e em sua maioria essa avaliação é feita de forma subjetiva. Com isso é necessário que se realizem mais estudos com espécies amazônicas utilizando-se técnicas que façam avaliações de forma rápida, sistematizada e sem a necessidade de grandes quantidades de material lenhoso.

3.5 Técnicas utilizadas na caracterização dos materiais

3.5.1 Difração de raios X

As microfibrilas que compõem as fibras, resultantes do arranjo das moléculas de celulose, são constituídas de regiões cristalinas, altamente ordenadas, e regiões amorfas, desordenadas (SAMIR et al., 2005; EICHHORN et al., 2001). As regiões cristalinas são resultadas da ação combinada da biopolimerização e cristalização da celulose comandada por processos enzimáticos. Já as regiões amorfas são resultado da má formação da estrutura devido à alteração no processo de cristalização (HABIBI et al., 2007). A organização de moléculas de celulose dentro de diferentes padrões de organização em regiões cristalinas e não cristalinas envolve forças intermoleculares, tais como ligações de hidrogênio, de Van Der Waals e interações entre momentos bipolares (FARDIM; DURÁN, 2007).

A proporção entre as regiões cristalina e amorfa determina o índice de cristalinidade (IC) da celulose (D'ALMEIDA, 1981). A técnica padrão utilizada para mensuração do IC é a difração de raios-X (ZUGENMAIER, 2008), que consiste na incidência de um feixe de elétrons que ao ser difratado contém informações sobre a

estrutura da amostra (SMITH, 1981). O padrão de interferência obtido para a madeira por meio da técnica de difração de raios X pode ser usado para se determinar a porcentagem da parte cristalina da madeira comparando os sinais cristalinos, mais acentuados, e os amorfos, mais alargados (HOWELL et al., 2009).

As regiões amorfas e cristalinas são influenciadas pelas ligações de hidrogênio que ocorrem em sua estrutura, tanto intermoleculares quanto intramoleculares. Estas ligações são diferentes e as diferenças entre elas influenciam o grau de polimerização da celulose, que gera várias formas cristalinas: dos tipos I, II, III e VI. Dentre estas formas, as mais encontradas são as celulosas dos tipos I e II, mas todas podem ser detectadas por meio de padrões em difratogramas de raios X (DUMITRIU, 2005; MOON et al., 2011; ZUGENMAIER, 2008). A celulose I ou celulose nativa é a forma natural da celulose, e apresenta uma estrutura complexa, com duas formas cristalinas diferentes e simultâneas, a celulose I_{α} e I_{β} , que podem ser encontradas em diferentes proporções na madeira, conforme a origem da celulose. A celulose que contém grandes quantidades da fase I_{α} é produzida por organismos, tais como bactérias e algas, e a celulose produzida por madeiras e algodão é composta basicamente pela fase I_{β} (MOON et al., 2011; MORGADO, 2009).

A técnica de difração de raios X é utilizada para a caracterização da microestrutura de materiais cristalinos, pois quando um feixe de raios X é difratado por uma amostra, obtêm-se informações a respeito da estrutura que compõe o material, o arranjo atômico e os elementos da geometria cristalina. É uma técnica também utilizada para se avaliar o grau de cristalinidade, o que permite se obter uma estimativa da porcentagem das regiões cristalinas da madeira em relação às regiões amorfas. Além disto, a partir dos resultados dessa técnica, é possível estimar mudanças estruturais resultantes de diferentes tratamentos do material celulósico e de seus derivados (AWADEL-KARIM et al., 1999; LENGOWSKI, 2012; MORGADO, 2009).

3.5.2 Espectroscopia na região do infravermelho próximo com transformada de Fourier - FTNIR

Segundo Claro (2017) a espectroscopia é uma técnica experimental que se baseia na utilização da luz para estudar a composição, a estrutura e as propriedades da matéria. A raiz da palavra, do latim spectrum (imagem, aparição), remete para algo como “observação da imagem oculta”. Embora historicamente tenha origem na observação da luz visível dispersa por um prisma, o conceito atual abrange qualquer descrição da interação radiação-matéria em função da energia da radiação.

Ao se referirem a espectroscopia os autores HARRIS e BERTOLUCCI, 1978 citam que se refere ao estudo das interações da radiação eletromagnética com a matéria, que podem levar a transições entre os níveis de energia dos átomos e moléculas e, o resultado destas interações depende diretamente da energia incidente, associada ao comprimento de onda da radiação (BRUICE, 2006; SKOOG *et al.*, 2005). É tipicamente usada na medição quantitativa de grupos funcionais orgânicos, especialmente O-H, N-H, e C=O (SCAFI, 2005).

Cada tipo de ligação vibra em uma faixa de frequência característica, o que explica a importância que o espectro de infravermelho tem na elucidação estrutural de uma molécula. Além disso, ainda que duas moléculas diferentes apresentem o mesmo tipo de ligação, seus padrões de absorção nunca serão exatamente idênticos, uma vez que a mesma ligação em compostos diferentes está em ambientes químicos distintos. Dessa forma, o espectro de infravermelho pode ser utilizado para discriminar e identificar moléculas (PAVIA *et al.*, 2010).

A região espectral do infravermelho compreende o intervalo de comprimento de onda de 0,78 μm até 1000 μm (12.800 a 10 cm^{-1}). O espectro infravermelho pode ser dividido em infravermelho próximo (FTNIR), médio (FTIR) e distante (FAR) (HOLLER, 2009; SILVERSTEIN *et al.*, 2007).

Tabela 1: Regiões espectrais do infravermelho.

Região Espectral	Número de Onda (cm ⁻¹)	Comprimento de Onda (nm)	Frequência (Hz)
Próximo (FTNIR)	12.800 a 4.000	780 a 2.500	3,8 x 10 ¹⁴ a 1,2 x 10 ¹⁴
Médio (FTIR)	4.000 a 200	2500 a 5000	1,2 x 10 ¹⁴ a 6,0 x 10 ¹²
Distante (FAR)	200 a 10	5000 a 100.000	6,0 x 10 ¹² a 3,0 x 10 ¹¹

Fonte: Adaptado de LENGOWSKI (2012)

O espectro FTNIR contém informações relacionadas com a diferença entre as forças de ligações químicas, espécies químicas presentes, eletronegatividade e a ligação de hidrogênio. A luz pode interagir com a amostra por meio de reflexão, refração, absorção, espalhamento, difração e transmissão. A perda no sinal pode ocorrer por refletância difusa especular, espalhamento interno e uma completa absorção (SCAFI, 2001).

O avanço da espectroscopia no infravermelho médio, como técnica para análise quantitativa, deve-se principalmente à combinação da Transformação de Fourier e da nova geometria dos espectrofotômetros com a utilização do interferômetro de Michelson, tornando-os mais rápidos (DURIG e SULLIVAN, 1990; EIKREM, 1990; KALASINSKY, 1990; COATES, 1998).

O interferômetro de Michelson consiste basicamente em dois espelhos (um fixo e um móvel) e um divisor de feixe (beam-splitter), que transmite 50% da radiação incidente da fonte para o espelho móvel e reflete os outros 50% para o espelho fixo. Os espelhos, por sua vez, refletem os dois feixes para o divisor, onde se recombinam. Se os dois espelhos se encontram equidistantes do divisor, as amplitudes combinam-se construtivamente. Se o espelho móvel se mover a uma distância de $\lambda/4$ do divisor, as

amplitudes combinam-se destrutivamente. Para a radiação no infravermelho (policromática), a soma de todas as interações construtivas e destrutivas para cada componente resulta num sinal complexo denominado interferograma. Após a aquisição do interferograma, é aplicada a Transformação de Fourier que converte os dados obtidos no interferômetro em um espectro que relaciona a intensidade versus frequência (número de onda) (MORGANO et al., 2005; BOTELHO et al., 2015).

Como uma “impressão digital”, cada molécula apresentará o seu próprio espectro na região do infravermelho, tornando o método viável para identificar diferentes tipos de amostras (análise qualitativa). Os picos presentes no gráfico do espectro correspondem às frequências de vibrações entre os átomos que compõem cada amostra. A altura desses picos corresponde à quantidade de determinada amostra (análise quantitativa) (MORGANO et al., 2005).

O sinal resultante, chamado de indução bifásica, é uma medida direta da coerência temporal da luz e contém uma rápida decadência composta de todas as possíveis frequências. Como o sinal medido no interferômetro não pode ser interpretado diretamente, é necessária a técnica matemática chamada de Transformação de Fourier. Esta transformação é realizada pelo computador (algoritmos), apresentando ao usuário as informações desejadas para a análise espectral (MORGANO et al., 2005).

A técnica de espectroscopia no infravermelho próximo (FTNIR) está sendo cada vez mais utilizadas no controle de qualidade de processos e produtos industriais (BLANCO *et al.*, 1999), principalmente porque as medidas são rápidas, utilizam pequena quantidade de amostra e, envolvem preparação rápida e simples das amostras. Essa técnica permite ainda a determinação simultânea de diferentes parâmetros (CAMPESTRINI, 2005; CEN e HE, 2007), além de ser método não destrutivo, limpo, sem uso de reagentes agressivos e nem geração de resíduos (HELFER *et al.*, 2006). Segundo CARNEIRO, 2008 esta técnica está presente em praticamente todas as áreas, devido ao nível de desenvolvimento que esta tecnologia atingiu nos últimos anos.

A espectroscopia no FTNIR apresenta uma série de vantagens como, por exemplo: determinações diretas (sem pré-tratamento) na amostra; obtenção rápida de resultados (em intervalos de tempo da ordem de minutos); possui um instrumental simples sendo possível de ser transportado a longas distâncias, visando seu uso em operações de fiscalização, a verificação da autenticidade de amostras existentes nas mais diversas formas; pastas, líquidas e sólidas, cujas espécies de interesse estejam presentes nos mais diversos teores; quantificação de forma segura, rápida, com simplicidade e confiabilidade metrológica; realiza análises não destrutivas; análises “*on-line*” ou em tempo real (SCAFI, 2005, CARNEIRO, 2008). Sendo assim, essa técnica se mostra promissora para a análise da estrutura química de espécies madeiras amazônicas em diversas condições.

4 OBJETIVOS

4.1 Geral

Avaliar se a cristalinidade e a estrutura química da madeira obtidas por difração de Raio X e Espectroscopia no infravermelho próximo com transformada de Fourier–(FTNIR) podem auxiliar na análise de degradação por fungos e insetos em toras de espécies amazônicas armazenadas em pátio de estocagem.

4.2 Específicos

- Avaliar se a madeira em tora quando imobilizada por seis meses já apresenta alterações no teor de extrativos, holocelulose e lignina em função do posicionamento nas pilhas;
- Obter índices qualitativos de degradação de toras por fungos e insetos em diferentes extratos das pilhas de armazenamento;

- Determinar o Índice de Cristalinidade das espécies por meio da técnica de Difração de Raio – X e identificar se existe alguma relação com a degradação da madeira;
- Verificar se existe relação entre possíveis alterações nos espectros de FTNIR e a avaliação qualitativa de degradação;

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Amostragem, coleta e desdobro do material

O material utilizado neste estudo foi proveniente do pátio de estocagem de toras localizado no porto da Rondobel Serviços Florestais, localizada na zona rural de Santarém, sob as coordenadas (2°39'13.1"S 55°42'53.8"W). Para este estudo foi utilizado material de 05 (cinco) espécies comerciais da região. em função da disponibilidade de coleta no momento do estudo.

Tabela 2: Lista das espécies selecionadas para o estudo.

Nome comum	Identificação científica	Família
Cumaru	<i>Dipteryx odorata</i> (Aublet.) Willd.	<i>Leguminosae</i>
Guajará	<i>Micropholis venulosa</i>	<i>Sapotaceae</i>
Garapa	<i>Apuleia leiocarpa</i>	<i>Fabaceae</i>
Jarana	<i>Lecythis lurida</i>	<i>Lecythidaceae</i>
Quaruba	<i>Vochysia máxima</i> Ouke	<i>Vochysiaceae</i>

Os dados de identificação científica das espécies foram disponibilizados previamente por profissionais da empresa Rondobel. Foram selecionadas dez pilhas de cada espécie para coleta das toras. O método de amostragem considerou (i) volumetria das pilhas existentes no pátio, (ii) facilidade de acesso considerando a disponibilidade de maquinário para movimentação do material e (iii) estado de maior degradação in loco. Após a seleção prévia, as pilhas foram divididas visualmente em três camadas ou extratos (Figura 1). De cada pilha, foram retiradas duas toras do topo, uma do meio e duas da base. As toras foram selecionadas na região mais central da pilha para evitar efeito de borda.



Figura 1: Esquema de amostragem utilizado para a escolha das toras utilizadas no estudo.

Após a seleção (Figura 2A), as toras foram arranjadas no solo para os procedimentos de análise visual e coleta de material lenhoso. Três cunhas de madeira foram coletadas de cada tora nas posições relativas de 25%, 50% e 75% do comprimento da tora, sendo duas próximas aos topos (com no mínimo 50cm de distância das extremidades) e uma na região central (Figura 2B), visando as análises químicas. As cunhas foram retiradas por amostragem destrutiva com uso de motosserra (Figura 2C). As cunhas retiradas foram armazenadas em lona impermeável (Figura 2D). Em cada uma das três posições de coleta também foram retiradas amostras para posterior determinação do teor de umidade das espécies. Estas foram acondicionadas em sacos plásticos vedados para envio ao laboratório juntamente com as cunhas.



Figura 2: Procedimentos de coleta do material lenhoso para análises em laboratório.

5.2 Nível de degradação por insetos

A metodologia de análise utilizada foi adaptada de Abreu et al. (2002). A avaliação para a determinação do nível de deterioração por insetos foi realizada ao longo da tora, conforme critérios da Tabela 3. Análises, como tamanho e quantificação de furos e galerias internas, foram realizadas ainda em campo, através de análise qualitativa e todos os parâmetros avaliados foram preenchidos em uma planilha contendo as informações que seriam avaliadas.

Tabela 3: Critérios para classificação do nível de degradação das madeiras por insetos.

Nível de degradação	Índice de degradação
Sadio- nenhum ataque	4
Ataque leve ou superficial causado por térmitas e coleópteros	3
Ataque evidente, porém, moderado, causado por térmitas e coleópteros	2
Ataque intenso por térmitas e coleópteros	1
Ataque total da casca/alburno/cerne	0

Fonte: Abreu, (2002), (adaptado).

5.3 Nível de degradação promovida por fungos

A determinação do nível de degradação por fungos foi realizada ao longo de toda a tora (acima e abaixo da casca), conforme procedimento realizado para ataque de insetos e utilizando as mesmas toras. O índice de degradação foi aplicado de acordo com os valores apresentados na tabela 4, adaptado de Lepage (1970), sendo utilizado observadores treinados para atribuição das notas. As notas de ataque foram atribuídas distinguindo o cerne e alburno das toras.

Tabela 4: Classificação do nível de degradação das madeiras por fungos.

Nível de degradação	Índice de degradação
Sadio- nenhum ataque	100
Ataque leve ou superficial de fungos	90
Ataque evidente, porém, moderado, causado por fungos	70
Apodrecimento intenso	40
Quebra, perda quase total da resistência	0

Fonte: Lepage (1970), (adaptado).

Foram retiradas amostras de serragem com granulometria de 60 mesh utilizando-se moinho de facas e peneira classificatória das cunhas retiradas de toras das espécies localizadas na base, meio e topo das pilhas. As amostras foram aclimatadas em ambiente com temperatura de 20°C e umidade relativa de 65%, até estabilização de massa para posterior determinação do teor de extrativos, lignina, holocelulose, cristalinidade e a estrutura química através do FTNIR.

5.4 Análises químicas

Foram quantificados os teores médios de extrativos totais em álcool: tolueno (ASTM -D1107,1996), lignina insolúvel (D1106, 1996), e holocelulose (por diferença) de amostras retiradas das toras das espécies nas posições da pilha base, meio e topo, respectivamente.

5.5 Estimativa da Cristalinidade via Difração de Raios X

Foram utilizadas amostras de serragem 60 mesh coletadas de toras das espécies escolhidas nas posições base, meio e topo da pilha. As medições para posterior cálculo do Índice de cristalinidade foram realizadas utilizando-se um

difratômetro modelo D2 PHASER BRUKER e tubo com ânodo de cobre com linha de emissão característica de $1,54 \text{ \AA} / 8,047 \text{ keV}$ (Cu-K α 1), potência máxima de 300W (30 kV x 10 mA) e detector Lynxeye (OD CODE) e ângulo θ . Os dados foram coletados no modo passo a passo, com passo de $0,05^\circ$ e tempo de contagem de 1,5 segundos por ponto. O método adotado para determinação dos índices de cristalinidade foi o sugerido por (Hermans e Weidinger,1948), sendo que para cada espécie foram realizadas análises das toras de base, meio e topo, totalizando 15 valores dessa variável.

5.6 Análises de Espectrometria no Infravermelho próximo com transformada de Fourier -(FTNIR)

A espectroscopia de infravermelho próximo com transformada de Fourier (FTNIR) foi realizada em um espectrofotômetro infravermelho com dispositivo de refletância total atenuada (ATR) - IRTracer-100, em esfera de integração, adotando uma faixa de acumulações de 12.500 a 3.600 cm^{-1} , com resolução de 8 cm^{-1} e espectro final resultante da média de 32 varreduras. Foram utilizadas amostras de serragem com granulometria de 60 mesh e essa análise foi realizada visando verificar alterações nos possíveis grupamentos funcionais presentes nas madeiras atacada por fungos e insetos. Para melhor análise dos resultados foi selecionada a faixa de comprimento de onda de 4.000 a 7.700 cm^{-1} , por apresentar poucos ruídos, pois aqueles compreendidos pela faixa espectral de 9.000 a 12.500 cm^{-1} resultam em uma má qualidade das informações, sendo, portanto, descartada esta faixa.

5.7 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos a análise de variância de uma via (ANOVA-One Way) com o objetivo de avaliar se havia diferenças nos teores de extrativos, lignina e holocelulose e entre os valores obtidos pela espectroscopia no infravermelho próximo

por transformada de Fourier (FTNIR) entre as espécies avaliadas e entre as posições na pilha de toras. A normalidade dos dados foi avaliada por meio dos testes Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk. O pressuposto de homogeneidade de variância foi avaliado por meio do teste de Levene.

Para variável teor de extrativos não foi observado normalidade dos dados, desta forma realizados procedimentos de *bootstrapping* (1000 reamostragens; 95% IC BCa) para se obter uma maior confiabilidade dos resultados, para corrigir desvios de normalidade da distribuição da amostra e diferenças entre os tamanhos dos grupos e, também, para apresentar um intervalo de confiança de 95% para as diferenças entre as médias (HAUKOOS & LEWIS, 2005). Considerando a heterogeneidade de variância, foi solicitada a correção de Welch e avaliação de post-hoc por meio da técnica de Games-Howell (FIELD, 2015).

6 RESULTADOS

6.1 Avaliação qualitativa do ataque de fungos e insetos na madeira das espécies avaliadas

Verificou-se que todas as espécies após seis meses de estocagem em pátio sem movimentação apresentaram algum tipo de ataque por fungos. Conforme esperado, as regiões da casca e do alburno foram as mais comprometidas pela ação desses agentes. Notou-se também que espécies como guajará (*Micropholis venulosa*) e a garapa (*Apuleia leiocarpa*), classificadas como madeira branca em função da cor, obtiveram menor resistência aos ataques de fungos (Tabela 5).

Tabela 5: Porcentagem de toras atacadas por fungos (F%) e insetos (I%) na direção casca-cerne em cada espécie avaliada após 06 meses de estoque sem movimentação e as observações qualitativas feitas no pátio de estocagem da empresa.

Nome Comum	Identificação científica	F (%)	I (%)	Observações
Cumarú	<i>Dipteryx odorata</i>	60	60	Casca comprometida pelo ataque de fungos; Furos de pequenos insetos na casca e no alburno
Guajará	<i>Micropholis venulosa.</i>	60	80	Casca e alburno comprometidos pelo ataque de fungos Casca, alburno e cerne comprometidos por galerias feitas por larvas de besouros
Garapa	<i>Apuleia leiocarpa</i>	60	80	Casca e alburno comprometidos pelo ataque de fungos; Casca e alburno comprometidos por galerias feitas por larvas de besouros
Jarana	<i>Lecythis lurida</i>	60	60	Casca e alburno comprometidos pelo ataque de fungos; Furos de pequenos insetos na casca e no alburno
Quaruba	<i>Vochysia maxima</i> Oucke	60	60	Casca e alburno comprometidos pelo ataque de fungos; Furos de pequenos insetos na casca

Foi observada uma elevada incidência de larvas e indivíduos adultos de besouros, cupins e formigas nas toras avaliadas. Observou-se que todas as toras tiveram a sua qualidade estética comprometida pelo ataque de insetos, sendo guajará (*Micropholis venulosa*) e garapa (*Apuleia leiocarpa*) as espécies que apresentam mais de 80% das árvores atacadas. Em todas as espécies as regiões da casca e albúrnio são as mais comprometidas por esses ataques.

As toras de guajará (*Micropholis venulosa*) e garapa (*Apuleia leiocarpa*) apresentaram galerias feitas por larvas de besouros na região da casca e albúrnio. Dentre as espécies avaliadas, apenas o guajará (*Micropholis venulosa*) apresentou ataques de insetos na região do cerne. Nesta espécie foram observadas perfurações causadas por larvas de besouro que são conhecidas como “brocas de madeira” na região do cerne, região da tora de maior interesse quando se trata da indústria madeireira.

6.2 Teor de umidade

A Figura 3 apresenta os valores médios de umidade das toras das espécies avaliadas no pátio de estocagem. Observa-se que as toras de guajará (*Micropholis venulosa*) e quaruba (*Vochysia maxima Oucke*) obtiveram maior teor médio de umidade, com valores acima dos 100%, o que pode ser uma explicação para a alta incidência de ataques de diferentes fungos e de furos e galerias de diferentes insetos nas toras dessas espécies. As demais espécies apresentaram toras com valores médios de umidade entre 20% e 70%.

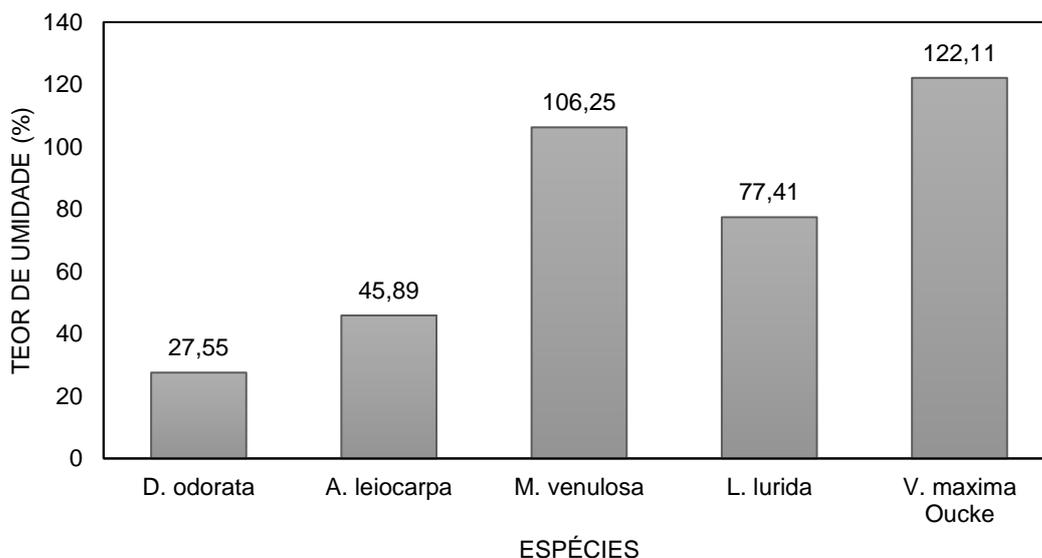


Figura 3: Teor de umidade médio das espécies avaliadas dentro do pátio de toras da Rondobel.

6.3 Análises químicas

Quanto as análises químicas realizadas, testes de distribuição de normalidade demonstraram que apenas o teor de extrativos não apresentou distribuição normal Kolmogorov-Smirnov = 0,165, $p < 0,010$; Shapiro-Wilk = 0,95, $p < 0,010$). Quanto ao teor de extrativos, a ANOVA demonstrou que havia diferença entre as espécies [Welch's $F(5, 20,4865) = 110,19$, $p < 0,001$]. O teste post-hoc de Games-Howell demonstrou diferenças significativas entre as espécies avaliadas em todos os parâmetros avaliados. Verificou-se também que as variáveis avaliadas em algumas das espécies não sofreram influência da posição das toras (base, meio e topo) na pilha de estocagem.

Foi verificado que na maioria das espécies existiu um comportamento específico de aumento do teor de extrativos nas amostras das toras que estavam localizadas meio da pilha de estocagem. Quanto ao percentual de lignina, apenas guajará (*Micropholis venulosa*) e jarana (*Lecythis lurida*) apresentaram valores médios acima dos 30%. A média dos valores de holocelulose das espécies nas três posições avaliadas não

apresentaram um padrão de comportamento semelhante ao dos extrativos e os valores médios das espécies giraram em torno de 57 e 68% (Tabela 6).

Tabela 6: Médias por espécie e nas posições base, meio e topo do teor de extrativos totais, lignina e holocelulose médios das espécies avaliadas dentro do pátio de toras da Rondobel.

Nome Comum	Identificação científica	Extrativos (%)	Lignina (%)	Holocelulose (%)
Cumaru	<i>Dipteryx odorata</i>	10,5 C	27,7 B	61,7 A
		17,5 A	29,8 A	52,7 C
		13,3 B	28 AB	58,8 B
Médias		13,77 ab	28,5 ab	57,73 c
Garapa	<i>Apuleia leiocarpa</i>	18,6 A	16,8 A	64,6 A
		11,6 B	19,7 A	68,7 A
		19,9 A	14,6 A	65,4 A
Médias		16,7 a	17,03 c	66,23 ab
Guajará	<i>Micropholis venulosa</i>	5,80 B	34 B	60,3 AB
		12,7 A	27,3 C	60,0 A
		8,7 AB	36 A	55,3 B
Médias		9,07 bc	32,43 a	58,53 c
Jarana	<i>Lecythis lurida</i>	2,16 C	32,64 A	65,2 A
		8,20 A	28,23 AB	63,6 A
		5,46 B	29,47 B	65,1 A
Médias		5,27 cd	30,11 a	64,63 b

Nome Comum	Identificação científica	Extrativos (%)	Lignina (%)	Holocelulose (%)
Quaruba	<i>Vochysia maxima</i>	4,80 A	25,5 A	69,6 A
	<i>Oucke</i>	4,30 B	30,0 A	65,7 A
		4,60 B	25,8 A	69,6 A
Médias		4,57 d	27,1 b	68,3 a

*Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes

6.4 Estimativa da cristalinidade via difração de raio-x

Neste estudo o valor do índice de cristalinidade das espécies variou entre 53 e 71% (Tabela 7). Observa-se que todas as espécies apresentaram aumento do índice de cristalinidade nas toras presentes no topo das pilhas de estocagem, comportamento que pode estar ligado a um aumento das zonas amorfas promovidas por alterações químicas da celulose, após um longo período de exposição das toras a fatores externos, ligados ao ambiente do pátio de estocagem (Tabela 7). As toras presentes na base e no meio das pilhas apresentam menores valores de Índice de cristalinidade e isso pode ser explicado pela alta incidência de ataque de organismos xilófagos, explicado pelo conjunto de condições favoráveis, principalmente pelo gradiente de umidade formado nesse ambiente, que acaba propiciando o crescimento e reprodução de organismos xilófagos.

Tabela 7: Valor percentual do Índice de Cristalinidade (IC) das espécies por posição (base, meio e topo) na pilha de estocagem.

Nome Comum	Identificação científica	Posição na pilha	IC (%)
Cumaru	<i>Dipteryx odorata</i>	Base	63,30
		Meio	62,28
		Topo	63,88
Garapa	<i>Apuleia leiocarpa</i>	Base	60,29
		Meio	62,99
		Topo	65,39
Guajará	<i>Micropholis venulosa</i>	Base	56,14
		Meio	62,44
		Topo	71,77
Jarana	<i>Lecythis lurida</i>	Base	53,48
		Meio	59,93
		Topo	60,90
Quaruba	<i>Vochysia máxima Oucke</i>	Base	56,37
		Meio	55,03
		Topo	63,67

6.5 Análises de espectrometria no infravermelho próximo por transformada de Fourier -(FTNIR)

A madeira é um material complexo e contém vários componentes, como celulose, lignina, hemicelulose, extrativos e outros compostos. Cada componente tem suas próprias bandas de absorção típicas no espectro FTNIR (Fourier transform near

infrared), que são utilizadas para identificar e caracterizar a composição química da madeira. Nesta faixa, as bandas de absorção estão relacionadas a vibrações harmônicas dos grupos funcionais, combinações e sobretons, e podem ser usadas para identificar e quantificar componentes da madeira (Tabela 8).

Tabela 8: Espectros de FTNIR com as bandas de absorção típicas de componentes de madeira.

Número de onda	Tipo de vibração	Componente da madeira
4063	CH + C-C (est)	Amido (celulose)
4195	---	Lignina
4202	2º ST OH (dob)	Holocelulose
4235	OH, CH (dob) + CH, CH ₂ (est)	Celulose
4268	CH (est) + CH (dob) e/ou 2º St CH ₂	Celulose
4283	CH (est) + CH (dob)	Celulose, Hemiceluloses
4288	CH (est) + CH (dob)	Hemicelulose (xilana)
4365	CO (est)+ OH (est) ou CH ₂ (est) + CH ₂	Celulose
4401	CH (est) + CH (dob)	Celulose, Hemiceluloses
4546	CH (est) + C=O (est)	Lignina
4608	---	Celulose, Hemiceluloses
4635	OH (est) + CH (dob)	Celulose
4686	CH (est), C=C (est), C=O (est)	Hemiceluloses/Lignina/Extrativos
4739	OH (dob) + OH (est)	Celulose
4780	OH e CH (dob) + OH (est)	Celulose

Número de onda	Tipo de vibração	Componente da madeira
4795	OH (est) + OH e CH (dob)	Celulose, Hemiceluloses (xilano)
4808	OH (est) + CH (dob)	Celulose semicristalina e cristalina
5051	OH (est) + OH (dobramento de H ₂ O)	Água
5198	OH	Água
5236 - 5245	2º ST C=O (est)	Hemiceluloses
5464	OH (est) + 2º ST CO (est)	Celulose semicristalina e cristalina
5495	OH (est) + 2º ST CO (est)	Celulose
5522	---	Lignina
5593	1º ST CH (est)	Celulose semicristalina e cristalina
5618	1ª ST de CH ₂ (est)	Celulose
5666	1º ST CH (est)	---
5776	1º ST CH (est)	Celulose
5795	1º ST CH (est)	Lignina
5800	1º ST CH (est)	Hemicelulose (furanose/piranose)
5816	1º ST CH (est)	Celulose/hemicelulose/lignina
5865	1º ST CH (est)	Hemiceluloses
5872	1º ST CH (est)	Celulose
5900	1º ST CH (est)	---

Número de onda	Tipo de vibração	Componente da madeira
5935	1º ST CH (est)	Lignina
5950	1º ST CH (est)	Hemiceluloses
5963	1º ST CH (est)	Lignina
5995	1º ST CH (est)	Extraivos
6003	1º ST CH (est)	Hemiceluloses
6126	1º ST CH (est)	Celulose
6188	1º ST CH (est)	---
6286	1º ST CH (est)	Celulose cristalina
6334	1º ST CH (est)	Celulose
6460	1º ST CH (est)	Celulose cristalina
6472	1º ST CH (est)	Celulose
6520	1º ST CH (est)	Celulose
6622	1º ST CH (est)	Celulose
6660	1º ST CH (est)	Celulose
6700	1º ST CH (est)	Hemicelulose (glucomanana)
6715	1º ST CH (est)	Celulose semicristalina
6740	1º ST CH (est)	Celulose
6757	1º ST CH (est)	Celulose
6770	1º ST CH (est)	Celulose
6790	1º ST CH (est)	Celulose semicristalina
6800	1º ST CH (est)	Hemicelulose (glucomanana)
6874	1º ST CH (est)	Lignina
6944	1º ST CH (est) + CH (dob)	Lignina
6974	1º ST CH (est)	---

Número de onda	Tipo de vibração	Componente da madeira
7003	1º ST CH (est) + H2O	Celulose amorfa/água
7092	1º ST CH (est)	Lignina, extrativos
7215	1º ST CH (est) + 1º ST CH (dob) + CH (dob)	---
7300	1º ST CH (est) + CH (dob)	Hemiceluloses/Todos
7315	1º ST CH (est) + CH (dob)	Celulose
7321	1º ST CH (est) (fim)	Celulose
7353	2º ST CH (est) + CH (dob)	Todos
7410	1º ST CH (est) + CH (dob)	Hemiceluloses/Todos
8160	2º ST CH (est) (começo)	Celulose
8250	2º ST CH (est) (fim)	Celulose
8654	2º ST CH (est)	Hemiceluloses
8749	2º ST CH (est), 2º St Ch (est de grupos CH3)	Lignina

Fonte: (Schwanninger et al. 2011)

Os espectros de FTNIR das amostras de madeira analisadas exibiram bandas de absorção típicas de componentes de madeira (Figura 4).

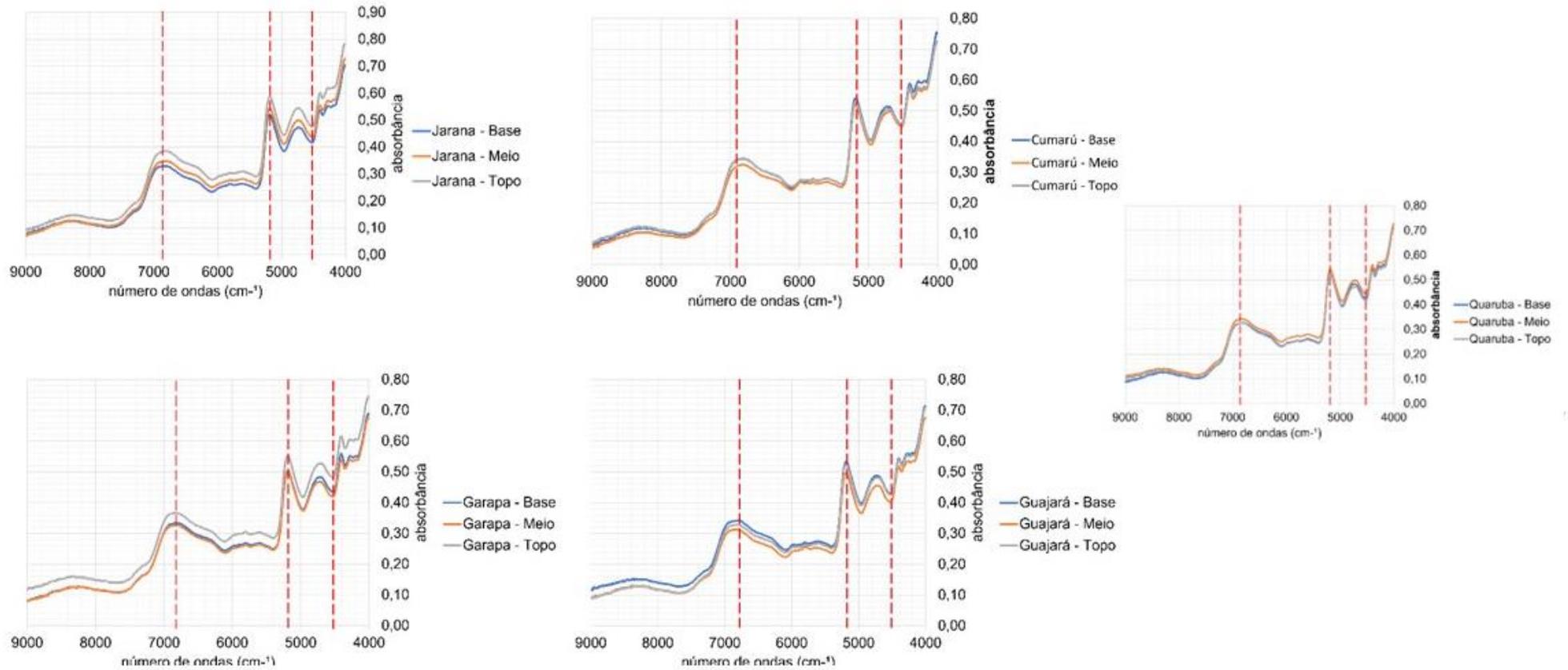


Figura 4: Espectros de FTNIR das espécies de madeira e por posição na pilha estudadas na região de 7750 a 4000 cm⁻¹.

Na tabela 9 estão presentes as médias das absorvâncias obtidas com os espectros de FTNIR das madeiras nas posições base, meio e topo, respectivamente. Foi observado um comportamento semelhante na absorvância das espécies nas diferentes posições da pilha de estocagem avaliadas, evidenciando ainda mais o que foi ilustrado na Figura 4.

Tabela 9: Médias das absorvâncias obtidas com os espectros de FTNIR das madeiras nas posições base, meio e topo, respectivamente.

Espécies	Identificação científica	Posição na	Absorvância	
		pilha		
Cumaru	<i>Dipteryx odorata</i>	Base	0,28	A
		Meio	0,28	A
		Topo	0,27	A
Garapa	<i>Apuleia leiocarpa</i>	Base	0,31	A
		Meio	0,27	B
		Topo	0,27	B
Guajará	<i>Micropholis venulosa</i>	Base	0,29	A
		Meio	0,28	B
		Topo	0,26	B
Jarana	<i>Lecythis lurida</i>	Base	0,31	A
		Meio	0,28	B
		Topo	0,27	B
Quaruba	<i>Vochysia máxima Oucke</i>	Base	0,27	B
		Meio	0,29	A
		Topo	0,27	B

*Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes

7 DISCUSSÃO

7.1 Avaliação qualitativa do ataque de fungos e insetos na madeira das espécies avaliadas

Pinheiro (2001) explica que nas regiões da casca e alborno, as mais atacadas neste estudo, há maior concentração de nutrientes, principalmente proteínas e vitaminas, que são importantes para o desenvolvimento de fungos que, posteriormente, as passam para os insetos, sendo incorporados desta forma na cadeia alimentar. Assim, fungos consomem inicialmente a madeira de alborno, catalisando a perda de alguns extrativos localizados no cerne por meio da evaporação, lixiviação e reações ocasionadas pelo ambiente, permitindo o ataque dessa região posteriormente (Silva, 2014).

Os fungos são os principais agentes biológicos que degradam a madeira, provocando a quebra de sua estrutura e afetando suas propriedades físico-químicas. O estudo de Barreal (1998) mostrou que colonização de fungos pode provocar a médio/longo prazo, uma significativa perda de peso da madeira devido a degradação na região cristalina da celulose. Esses organismos também podem criar barreiras para a secagem ou impregnação da madeira em algumas substâncias conservantes (Brito, 2014). Além de causar perda de massa considerável na madeira, o que afeta diretamente nas propriedades mecânicas (Brazolin et al., 2014).

O estudo de Costa et al. (2011) mostrou o mesmo padrão de resistência ao ataque de fungos apresentado por guajará (*Micropholis venulosa*) e garapa (*Apuleia leiocarpa*) na madeira de marupá (*Simarouba amara*), espécie que também possui madeira branca em função da cor. E foi verificado que as espécies utilizadas nesse estudo apresentaram o mesmo padrão de ataque de insetos que Abreu et al. (2002) em um trabalho realizado em seis indústrias madeireiras de Manaus, com 19 espécies comercializadas na região.

O termo “broca de madeira” que está relacionado as perfurações encontradas no cerne de guajará (*Micropholis venulosa*), abrange várias espécies de insetos que são prejudiciais. O dano a madeira é resultado da alimentação do estágio de larva, que produz buracos circulares entre 1 mm e 10 mm de diâmetro. A larva se alimenta da madeira, deixando excrementos e pó fino de madeira, o que acaba também sendo porta de entrada para o ataque dos fungos ao cerne das espécies. O tamanho dos túneis, a orientação dentro da madeira e as características dos resíduos variam de acordo com a espécie de besouro. O tipo de madeira também pode determinar o tipo de inseto que poderá atacar (Brochini et al., 2018).

Alguns trabalhos mostram que os ataques de insetos também trazem prejuízos a indústria madeireira. Dados do Imazon mostram que no estado do Pará os danos causados por insetos resultaram na perda de 8% do volume total da tora durante processos de laminação. Nas serrarias do estado, as perdas por ataques de insetos variaram de 0% a 13% dependendo da espécie (Imazon, 2022). O estudo de Gallio et al. (2018) verificou que a deterioração acarretada por um grupo de insetos causou reduções nas propriedades mecânicas de quatro espécies florestais após ensaio de preferência alimentar.

7.2 Teor de umidade

A madeira verde ou recém cortada tem valores de umidade variando de 30% a 400%, dependendo das características de cada espécie. A posição das toras nas pilhas aliadas a fatores abióticos e a características intrínsecas de cada espécie são as possíveis explicações para a variação no teor de umidade das espécies estudadas, o que também condiciona a maior incidência ao ataque de fungos e insetos. A variação no teor de umidade na madeira além de favorecer ao ataque de agentes bióticos no processo de biodeterioração, também pode influenciar na deterioração da madeira por agentes abióticos. Entre todas as condições desfavoráveis, o teor de umidade muito

elevado é um dos principais responsáveis pelo desencadear dos ataques de fungos e insetos na madeira (Moreschi, 2013). Segundo Mesquita et al. (2006), o teor de umidade da madeira mais favorável ao crescimento do fungo é apontado entre 35% e 50%.

7.3 Análises químicas

O comportamento das cinco espécies avaliadas nesta pesquisa foi semelhante ao do estudo realizado Brand e Muñiz (2012) que mostrou que o tempo de estocagem, de zero a seis meses, causou variações na composição química da biomassa florestal. Essas alterações provavelmente são devidas às alterações na composição química da madeira.

As diferenças nas médias do teor de extrativos são um indicativo de que as posições das toras na pilha de estocagem e o tempo de exposição no pátio podem ter exercido influência no comportamento dessa variável na maioria das espécies avaliadas. Foi observado que as toras presentes na base da pilha de estocagem acabaram sofrendo maior influência do contato direto com o solo, o que acaba sendo mais comum em pátios de estocagem da região amazônica que na maioria das vezes não dispõem de condições adequadas para o armazenamento, o que pode ter ocasionado uma maior lixiviação de componentes secundários hidrossolúveis. Os maiores valores médios foram observados no material coletado de espécies da maioria das toras localizadas no meio da pilha, que acabaram não recebendo tanta influência de fatores externos e por consequência esses compostos foram menos lixiviados. As toras localizadas no topo da pilha acabaram sofrendo com alta incidência e influência de fatores externos, o que pode ter ocasionado lixiviação de grande quantidade de alguns grupos de extrativos altamente volatilizáveis presentes na madeira. Essas informações corroboram com os dados de Nzokou e Kamdem (2006) que afirmaram que esse decréscimo está em função da lixiviação dos extrativos pela água da chuva que consegue ter mais incidência no topo das pilhas.

Silva (2018) observou um comportamento oposto a maioria das espécies avaliadas neste estudo nos valores de teor de extrativos totais numa pilha de estocagem da espécie *Manilkara elata*. Neste caso foram observados maiores valores na posição solo e menores valores na posição topo, variando de 10,98 a 5,61%, indicando uma perda de extrativos na direção topo - solo nas pilhas de madeira estocada em uma área de mineração localizada no município de Paragominas – PA.

A durabilidade natural das madeiras é conferida pelos seus componentes secundários que, na maioria das vezes, se apresentam em pequenas proporções, mas podem, em algumas espécies, atingir valores bastante elevados como os encontrados por Duarte et al. (2020), ao determinarem os teores de extrativos de *D. odorata* e obterem valores de aproximadamente 12,7%. Mori et al. (2003) obtiveram valores percentuais de extrativos que variaram entre 9% e 15% na madeira de espécies nativas como jatobá, angico vermelho, sucupira, jequitibá rosa, dentre outras.

Barbosa et al. (2007) e Oliveira et al. (2005) apontam a afinidade que existe entre o teor de extrativos com a durabilidade natural e resistência da madeira contra a degradação ocasionada por organismos xilófagos, isso porque algumas espécies irão apresentar classes de extrativos altamente atrativos aos organismos xilófagos. Em contrapartida, outras espécies apresentarão classes de componentes que servirão como barreira protetora, repelindo a ação de determinados agentes de degradação.

Baseado nisso, infere-se que as espécies garapa (*Apuleia leiocarpa*) e cumaru (*Dipteryx odorata*) apresentam maior resistência ao ataque de xilófagos e durabilidade natural em função do tipo e pela maior quantidade de extrativos presentes na madeira. Já a madeira de espécies como Jarana (*Lecythis lúrida*) e Quaruba (*Vochysia maxima*) deverão apresentar maior susceptibilidade ao ataque de organismos xilófagos, principalmente aos fungos, devido ao fato de essas espécies terem apresentados os menores valores dessa variável e terem madeira branca em função da cor. Dados encontrados por (Ibama, 1997; IPT, 1989) afirmam que a madeira dos gêneros *Lecythis*

e *Vochysia* apresentam baixa resistência ao ataque de organismos xilófagos mais especificamente fungos e cupins.

Os compostos secundários da madeira podem ter suas diferenças relacionadas aos seus grupos constituintes. Autores como Silvério et al. (2007) explicam que enquanto os extrativos de algumas espécies de madeira são ricos em amido e/ou açúcares, e por isso promovem a deterioração deste material pelos fungos e outros agentes xilófagos, os de outras espécies podem ser ricos em compostos fenólicos ou outros tipos de compostos com ação biocida, conferindo-lhes mais durabilidade em condições ambientais favoráveis a estes agentes deterioradores

Segundo Oliveira et al. (2005) os extrativos que conferem durabilidade à madeira são normalmente formados durante a transformação do alburno em cerne, sendo de caráter fenólico e polifenólico, e eles se acumulam nos lumens e paredes das células, resultando, na maioria das vezes, na coloração escura do cerne.

Quando se trata de espécies amazônicas, os teores de lignina podem variar entre 24 e 35% (Santana e Okino, 2007). O baixo teor de lignina apresentado pela espécie garapa (*Apuleia leiocarpa*) pode estar atrelado a alta quantidade de holocelulose e extrativos presentes na espécie. Paes et al. (2015) Hanada et al. (2003) estudaram o ataque de fungos em 12 espécies de madeira tropical e observaram que as espécies de menor densidade foram as que apresentaram uma maior diversidade e intensidade de fungos. Entre as possíveis explicações, apontaram que a presença de lignina em alta quantidade também é um fator limitante para o estabelecimento de fungos emboloradores e manchadores, pois tais fungos não conseguem degradar lignina. A lignina, porém, pode ser deteriorada apenas até um limite, sendo que um alto teor dela ainda pode ser encontrado até mesmo em madeiras altamente deterioradas cuja estrutura foi afetada (Blanchette, 2000).

Os fungos que causam podridão parda degradam preferencialmente celulose e hemicelulose sem remover a lignina circundante (Silva, 2018). Desta forma, madeiras

como quaruba (*Vochysia maxima*), jarana (*Lecythis lúrida*) e garapa (*Apuleia leiocarpa*), que apresentaram os maiores teores de holocelulose respectivamente, tendem a apresentar alta susceptibilidade ao ataque desses e outros organismos xilófagos, quando avaliado todo o conjunto de variáveis quantificadas.

Com isso recomenda-se a realização de estudos mais aprofundados, principalmente sobre a classificação dos extrativos presentes nas espécies a fim de dar mais veracidade ao fato de esses compostos terem influência ou não na resistência das espécies ao ataque de organismos xilófagos.

7.4 Estimativa da cristalinidade via difração de raio-x

Os resultados de Índice de cristalinidade obtidos para a madeira das toras localizadas na base e meio das pilhas de estocagem podem ser atribuídos à remoção de parte dos constituintes químicos amorfos durante o processo de biodegradação, principalmente hemiceluloses. Bianchi (1995) cita que esse dado é importante pois pode-se utilizar a cristalinidade como ferramenta quantitativa na avaliação do índice de biodeterioração de espécies após longo tempo de estocagem e ataque de organismos xilófagos.

Resultados diferentes dos deste estudo foram encontrados por Silva (2020) em quatro espécies nativas, a timborana (*Pseudopiptadenia suaveolens*), pau-amarelo (*Euxylophora paraensis* Huber), tamanqueira (*Aegiphila integrifolia*) e parapará (*Jacaranda copaia*), após cinco semanas de um bioensaio de resistência natural com o cupim de solo (*Nasutitermes* sp.), com valores de Índice de Cristalinidade que variaram entre 44 e 59,9%.

Com o passar do tempo, a diminuição do índice de cristalinidade poderia estar relacionada ao início do consumo das regiões cristalinas, causando degradação da celulose pelos fungos e insetos ou então à concentração de componentes não celulósicos. Sendo a celulose o único componente que apresenta estrutura parcialmente

cristalina, os resultados demonstram que, à princípio, os organismos xilófagos consomem as regiões não cristalinas da parede celular, como celulose amorfa e/ou lignina e hemiceluloses, resultando em diminuição da concentração da cristalinidade, dependendo da espécie Silva (2020).

Segundo Winandy e Rowell (2005), a celulose é o polímero que mais contribui para a resistência mecânica da madeira. As cadeias de celulose são extremamente resistentes a esforços de tração e de compressão, devido às pontes de hidrogênio dentro dela. Os autores Chand e Hashmi (1993) e Greenberg et al. (1989), citam que a variação da resistência à tração e do módulo de elasticidade da madeira estão relacionados diretamente com a variação do grau de cristalinidade dela mesma, ou seja, quando as fibras apresentam maiores regiões cristalinas, a resistência mecânica aumenta, pois, a celulose é o único componente presente na fibra que se cristaliza.

O índice de cristalinidade é um parâmetro importante a ser quantificado, tendo em vista que exerce influência direta nas propriedades tecnológicas da madeira. A análise do índice de cristalinidade se mostra uma ferramenta promissora para ajudar a compreender o comportamento da celulose após o ataque de organismos xilófagos e ao longo tempo de exposição de toras a agentes externos e a possível influência desses fatores nas propriedades tecnológicas da madeira. Recomenda-se a realização de estudos com essa variável na madeira de mais espécies de interesse comercial, em diferentes intervalos de tempo, a fim de salientar ainda mais as informações apresentadas para tal variável.

7.5 Análises de espectrometria no infravermelho por transformada de Fourier - (FTNIR)

Conforme observa-se, nas bandas características da celulose (em torno de 7000 cm^{-1}) há diferenças visuais entre os espectros, considerando as posições por pilha (Figura 4), o que é um indicativo que as madeiras nestas diferentes camadas têm

diferença na estrutura da celulose, possivelmente na sua cristalinidade. As bandas de absorção de celulose nesta faixa estão associadas a vibrações da ligação O-H e a deformações angulares da ligação C-H (Tabela 8).

No caso das hemiceluloses, as bandas de absorção na faixa FTNIR estão relacionadas a grupos funcionais como hidroxila, alquil, alquilenos e carboxila. As bandas de absorção mais intensas de hemicelulose na faixa NIR podem ser observadas em torno de 7200-7000 cm^{-1} e 5500-5400 cm^{-1} . A absorção da banda em 5800 cm^{-1} atribuída ao primeiro sobretom de C-H fundamentais é devido à furanose ou piranose (associada à hemicelulose) Siesler *et al.* (2002). Na região 4890-4620 cm^{-1} ocorre a combinação do alongamento de O-H e modos de deformação C-H devido celulose. A banda de absorção em 4198 cm^{-1} é atribuída ao sobretom de vibração e deformação de C-H na holocelulose (Yonenobu e Tsuchikawa, 2003). A região 7900 a 6250 cm^{-1} refere-se ao primeiro harmônico do grupo O-H (celulose, hemicelulose e água) e R-O-H (hemicelulose) e, também à primeira combinação dos harmônicos do C-H (dos grupos CH, CH₂ e CH₃).

Tsuchikawa e Siesler (2003) indicaram que o primeiro harmônico de O-H, em 7000 cm^{-1} é a região de absorção da estrutura amorfa da celulose. A região 6250 a 5263 cm^{-1} refere-se à região da primeira combinação dos harmônicos do C-H, C-H₂, C-H₃ e ArC-H e, trata-se da região de primeiro harmônico RC-O₂-H e RC-O₂-R' e H₂O e segundo harmônico do C=O (hemicelulose). Em 6779 e 6329 cm^{-1} , primeiro harmônico de OH, são regiões de absorções da estrutura semicristalina e cristalina da celulose (Tsuchikawa e Siesler, 2003). Tsuchikawa *et al.* (2004) cita que as bandas de absorção em 5587 cm^{-1} , 5464 cm^{-1} , e 4280 cm^{-1} são devido às regiões semicristalinas ou de celulose, referindo se ao alongamento do C-H.

Desta forma, tanto para celulose quanto para as hemiceluloses, as diferenças espectrais foram especialmente destacadas nas espécies Jarana, Garapa e Guajará (Figura 4). Conforme visto nas análises quantitativas químicas, estas espécies, em

geral, não diferiram no teor de holocelulose (celulose+hemiceluloses). Entretanto, quando analisado de forma qualitativa a estrutura química deste componente, no caso, a celulose, observa-se que há potencial efeito do tempo e da posição na pilha na degradação da madeira.

No caso da lignina, que na faixa FTNIR tem bandas de absorção de baixa intensidade e largas, principalmente em torno de $5800-5700\text{ cm}^{-1}$ e $4500-4200\text{ cm}^{-1}$, observa-se também diferenças nos espectros para algumas espécies, como Jarana e Garapa (Figura 4). Estas diferenças podem indicar diferentes tipos de lignina na estrutura da madeira, sendo estas mudanças ocasionadas possivelmente pela degradação da madeira com o tempo.

As bandas de absorção de extrativos na faixa NIR são amplas e geralmente fracas, mas podem ser usadas para identificar diferentes classes de compostos. As bandas de absorção mais intensas de extrativos na faixa NIR estão em torno de $7100-6800\text{ cm}^{-1}$ e $5200-5000\text{ cm}^{-1}$. Apenas alterações muito tênues foram observadas na faixa dos 5200 cm^{-1} . Segundo Siesler et al. (2002) a banda de absorção em 5219 cm^{-1} é atribuída a uma combinação de alongamento e deformação de OH.

Foi verificado que as análises utilizando a espectroscopia de infravermelho próximo com transformada de Fourier (FTNIR) não se mostraram capazes de relacionar de forma precisa os espectros a metodologia qualitativa convencional de degradação.

8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A posição das toras nas pilhas associadas ao tempo de estocagem exerce influência nas características químicas quantitativas e qualitativas da madeira. Entretanto, este efeito é dependente da espécie.

As técnicas de difração de Raio-x e a espectroscopia de infravermelho próximo com transformada de Fourier - (FTNIR) apresentaram potencial para análise de degradação

por fungos e insetos em toras de espécies amazônicas armazenadas em pátio de estocagem.

Recomenda-se estudos com ajustes de modelos matemáticos que sejam capazes de prever a influência do ataque de organismos xilófagos nas alterações das características das madeiras de diversas espécies.

Recomenda-se realizar estudos aprofundados da composição química dos extrativos (identificação de seus componentes) dessas e de outras espécies de interesse comercial, uma vez que estas se mostram com comportamentos diferentes dentro das espécies estudadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS - ASTM. D1107 - 96: Standard Test Method for Ethanol-Toluene Solubility of Wood. Filadélfia, 2013. 2p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS - ASTM D1106 - 96, Standard Test Method for Acid-Insoluble Lignin in Wood, West Conshohocken, USA: American Society for Testing and Materials, 2013.

ABREU, RLS; SALES-CAMPOS, C; HANADA, RE; VASCONCELOS, FJ; FREITAS, JA. Avaliação de danos por insetos em toras estocadas em indústrias madeireiras de Manaus, Amazonas, Brasil. Sociedade de Investigações Florestais. **Revista Árvore**. 26(6): 789-796, 2002.

ACOSTA, AP; SCHULZ, HR; SILVA JÚNIOR, MAP; GALLIO, E; GATTO, DA. Propriedades termoquímicas e físico-mecânicas de *Eucalyptus grandis* polimerizado in situ com MMA. **Scientia Forestalis**, 49(131), e3483, 2021.

ANDRADE, GC; SILVA, HD; BELLOTE, AFJ.; FERREIRA, CA. Efeitos da adubação fosfatada e da aplicação de resíduo de celulose no crescimento de *Eucalyptus dunnii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v.47, p.43-54, 2003.

AMPESAN, CGM. et al. Otimização do tempo de estocagem de cavacos de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* para a produção de celulose e papel. **Scientia Forestalis**, v. 43, nº 108, p. 885-893, 2015.

AWADEL-KARIM, S; NAZHAD, MM; PASZNER, L. Factors affecting crystalline structure of cellulose during solvent purification treatment. **Holzforschung**, v. 53, n. 1, p. 1-8, 1999.

ABIU-BRANCO. In: MELO, J. E. de; CAMARGOS, J. A. A. **Mundo Florestal**. 2012. Disponível em: <https://www.mundoflorestal.com.br/mediawiki1612/index.php?title=Abiubranco>. Acesso em: 20 jul. 2022.

ARRIEL, TG. **Espectroscopia no infravermelho próximo na predição de características da madeira em clones de *Eucalyptus***. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 63 p.

ALVES-ARAÚJO, A.; MONTEIRO, M. H. D. A.; FARIA, A. D.; RIBEIRO, J. E. L. S. Pouteria. In: **FLORA do Brasil 2020 em construção**. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB39504>. Acesso em: 13 jul. 2020.

BLANCO, M; COELHO, J; ITURRIAGA, H; MASPOCH, S; PAGES, J. Calibration in non-linear near infrared reflectance spectroscopy: a comparison of several methods. **Analytica Chimica Acta**, p. 207 – 214, 1999.

BOTELHO, BG; REIS, N; OLIVEIRA, LR; SENA, MM. Development and analytical validation of a screening method for simultaneous detection of five adulterants in raw milk using mid-infrared spectroscopy and PLS-DA. **Food Chemistry**,181,31–37, 2015.

BRAND, MA; MUÑIZ, GIB. Influência da época de colheita e da estocagem na composição química da biomassa florestal. **Floresta e Ambiente** [online]. v.19, p.66-78, 2012.

BRAZOLIN, S et al. Propriedades físico-mecânicas do lenho deterioradas por fungos apodrecedores de árvores de *Tipuana tipu*. **Cerne**, v20, 183–190, 2014.

BLANCHETTE, RAA. A review of microbial deterioration found in archaeological wood from different environments. **International biodeterioration & biodegradation**. v. 46, p. 189-204. 2000.

BARBOSA AP; NASCIMENTO CS do; MORAIS JW de. Estudos de propriedades antitermíticas de extratos brutos de madeira e casca de espécies florestais da Amazônia Central, Brasil. **Acta Amaz [Internet]**.37,2007.

BATRA, LR. Ecology of Ambrosia Fungi and their Dissemination by beetles. **Trans. Kansas Acad. Sci.** 66(2):213-236, 1963.

BARREAL, JAR. **Patología de la madera**. Madrid: Fundación Conde Del Valle de Salazar, Ediciones Mundi-Prensa, 1998. 349p.

BERTHOMIEU, C; HIENERWADEL, R. Fourier transform infrared (FTNIR) spectroscopy. **Photosynthesisresearch**. v. 101, n. 2-3, p. 157-170, 2009.

BUOSO, CM; POLI, M; MATTHAES, P; SILVESTRIN, L; ZAFIROPOULOS, D. Nondestructive wood discrimination: FTNIR – Fourier Transform Infrared Spectroscopy

in the characterization of diferente wood species used for artistic objects. **International Journal of Modern Physics: Vo. 44, 2016.**

BIANCHI, ML. **Polpação de palha de milho utilizando-se diferentes processos Organosolv.** 1995. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas -SP.

BRITO, DL. **Patologia em Estruturas de Madeira: Metodologia de Inspeção e Técnicas de Reabilitação.** 2014. 502p Tese – Universidade de São Paulo – USP. São Paulo – SP.

BROCHINI, GG. et al. **Deterioração e preservação da madeira: insetos: ordens coleoptera e hymenoptera.** EdUFERSA, 2018. 213p.

COSTA, MA; COSTA, AF da; PASTORE, TCM; BRAGA, JWB.; GONÇALEZ, JC. Caracterização do ataque de fungos apodrecedores de madeiras através da colorimetria e da espectroscopia de infravermelho. **Ciência Florestal**, 21: 567-577, 2011.

CHAND, N; HASHMI, SAR. Mechanical properties of sisal fibre at elevated temperatures. *Journal of Materials. Science*, v.28, p.6724– 6728, 1993.

CAMPESTRINI, E. Utilização de Equipamento NIRS (Near Infrared Reflectance Spectroscopy) nos estudos de valores nutricionais (Composição química e digestibilidade) de Alimentos para não ruminantes. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 2, n.5, p. 240 – 251, 2005.

CARNEIRO, ME. **Classificação de lâminas de madeira de *Pinus spp* por espectroscopia óptica.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 96f.

CLARO, PR. **Espectroscopia.** *Rev. Ciência Elem.*, V5(04):052, 2017.

CEN, H; HE, Y. Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of food quality trends. **Food Science and Technology**, v. 18, p. 72 – 83, 2007.

COATES, J. Vibrational Spectroscopy: Instrumentation for infrared and Raman spectroscopy. **Applied Spectroscopy Reviews**, v.33, p.267-425, 1998.

DUMITRIU, S. **Polysaccharides: structural diversity and functional versatility**. 1223p, CRC press, 2005.

D'ALMEIDA, MLO. **Celulose e papel: tecnologia de fabricação de pasta celulósica**. 2. ed. v. 1. São Paulo: IPT-SENAI, 1981.

DURIG, J. R.; SULLIVAN, J. F. Vibrational spectroscopy, Fourier transforms and analytical chemistry. **Trends in Analytical Chemistry**, v.9, n.4, p.104-106, 1990.

DUCKE, A. **Plantes nouvelles ou peu connues de la région amazonienne**. III Partie. Archivos do Jardim Botânico do Rio de Janeiro, v. 4, p. 1-210, 1925.

Da LUZ, PASA; ANDRADE, FWC; PINTO, TI; BULIGON, EA. Levantamento Botânico Quantitativo do Comércio de Madeiras Nativas no estado do Pará entre 2009 a 2015. Livro de resumos do IV Simpósio Brasileiro Florestal, Aquidauana – MS 14-17 de set. de 2016.

DUARTE, BB et al. Influence of Physical and Chemical Components on the Physical-Mechanical Properties of Ten Brazilian Wood Species. **Materials Research**, v. 23, n. 2, p. 1-10, 2020.

EIKREM, LO. Process Fourier transform infrared spectroscopy. **Trends in Analytical Chemistry**. v.9, n.4, p.107- 109, 1990.

EMBRAPA. **Herbário virtual IAN da Embrapa Amazônia Oriental**. Disponível em: <http://brahms.cpatu.embrapa.br>. Acesso em: 16 jul. 2020.

EICHHORN, SJ; BAILLIE, CA; ZAFEIROPOULOS, N; MWAIKAMBO, LY; ANSELL, MP; DUFRESNE, A; ENTWISTLE, KM; HERRERA-FRANCO, PJ; ESCAMILLA, GC; GROOM, LESLIE H; HUGHES, M; HILL, C; RIALS, TIMOTHY G; WILD, P.M. Review - Current international research into cellulosic fibres and composites. **Journal of Materials Science**, 36, 2107-2131, 2001.

FARDIM, P; DURÁN, N. Organização molecular na polpação Kraft de eucalipto. **O Papel**. V. 8, p. 98-108, 2007.

FENGEL, D & WEGNER, G. **Wood Chemistry, ultrastructure, Reactions**. 1989. 613 p. Editor Walter de Gesyter. Berlin.

FREITAS, BB DE; PINTO, TI; ANDRADE, FWC; MOUTINHO, VHP. **Principais Espécies Madeireiras Comercializadas no Baixo Amazonas do Pará no Período de 2009 a 2015. Livro de resumos do IV Simpósio Brasileiro Florestal**, Aquidauana – MS 14-17 de set. de 2016.

GALLIO, E; SANTINI, EJ; GATTO, DA; SOUZA, JT; RAVASI, T; MENEZES, WM; FLOSS, PA; BELTRAME, R. Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et. Cambage. **Sci. Agrar**. v. 15, n. 3, jul./set., p. 244-250, 2016.

GALLIO, E. Caracterização de propriedades tecnológicas de três folhosas deterioradas por térmitas. **Matéria**, vol.23, n.4, 2018.

GEORGE, J; SABAPATHI, SN. Cellulose nanocrystals: synthesis, functional properties, and applications. **Nanotechnology, science and applications**, v: 8, p. 45, 2015.

GREENBERG, AR; MEHLING, A; LEE, M; BOCK, JH. Tensile behavior of grass. **Journal Material Science**, v.24, p.2549–2554, 1989.

HANADA, RE; SALES-CAMPOS, C; ABREU, RLS de; PFENNING, L. Fungos emboloradores e manchadores de madeira em toras estocadas em indústrias madeireiras no município de Manaus, Amazonas, Brasil. **Acta Amazonica**, 33(Acta Amaz., 2003.

HERMANS, PH; WEIDINGER, AJ. Quantitative X-Ray Investigations on the Crystallinity of Cellulose Fibers. A Background Analysis. **appl. Phys.** 19, 491, 1948.

HARRIS, D.C.; BERTOLUCCI, M.D. Symmetry and Spectroscopy, and Introduction to Vibrational and Eletronic Spectroscopy. Nova York, **Dover Publications**, 1978.

HABIBI, Y, FOULON, L, AGUIÉ-BÉGHIN, V, MOLINARI, M, DOUILLARD, R. Langmuir–Blodgett films of cellulose nanocrystals: Preparation and characterization. **Journal of Colloid and Interface Science**. 316: 388-397, 2007.

HELFER, GA; FERRÃO, MA; FERREIRA, CV; HERMES, N. Aplicação de métodos de análise multivariada no controle qualitativo de essências alimentícias empregando espectroscopia no infravermelho médio. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 4, 2006.

HOLLER, FJ.; SKOOG, DA; CROUCH, SR. **Princípios de Análise Instrumental**. 6. ed. Porto Alegre, 2009.

HOWELL, C; HASTRUP, ACS.; GOODELL, B; JELLISON, J. Temporal changes in wood crystalline cellulose during degradation by brown rot fungi. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 63, n. 4, p. 414-419, 2009.

HUNT, GM; GARRATT, CA. **Preservación de la madeira**. Barcelona: Salvat, 1962. 486p.

IMAFLORA. **Estudo inédito mostra que manejo florestal sustentável pode suprir demanda atual de madeira em tora no Pará**. Disponível em: <
<https://www.imaflora.org/noticia/estudo-inedito-mostra-que-manejo-florestal-sustentavelpodesuprirendemandaatuademadeiraemtorapara#:~:text=At%C3%A9%20setembro%20de%202020%2C%20o,do%20total%20produzido%20no%20Par%C3%A1>>. Acesso em dezembro de 2022.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. Informações sobre madeiras: Garapa – *Apuleia leiocarpa*. Disponível em: <
https://www.ipt.br/informacoes_madeiras/35-garapa.htm>. Acesso em: março de 2021.

ITTO. **Lesser Used Species**. Banco de Dados [online]. 2018. [citado 25 abril 2018]. Disponível em: <http://www.tropicaltimber.info/pt-br/specie/jarana-lecythis-lurida/#lowercontent>

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. Informações sobre madeiras: Cumaru – *Dypterix odorata*. Disponível em: <
https://www.ipt.br/informacoes_madeiras/10-cumaru.htm>. Acesso em: março de 2021.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. Informações sobre madeiras: Quaruba – *VOCHYSIA MAXIMA*. Disponível em: <
https://www.ipt.br/informacoes_madeiras/10-quaruba.htm>. Acesso em: março de 2022.

INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA- AMAZON. O Rendimento no processamento de madeira no estado do Pará. Disponível em:

<https://imazon.org.br/o-rendimento-no-processamento-de-madeira-no-estado-do-para-n-18/>. Acesso em: janeiro de 2023.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT
Fichas de Características das Madeiras Brasileiras. IPT, 1989. 418p.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS
RENOVÁVEIS – IBAMA. **Madeiras Tropicais Brasileiras**: IBAMA-LPF, 1997. 152p.

KUMODE, MMN. **Análise das causas da deterioração precoce dos postes de madeira tratada na Ilha do Mel**. 108 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Florestal) – Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2008.

KALASINSKY, KS. Industrial applications of vibrational spectroscopy. **Trends in Analytical Chemistry**. v.9, n.3, p.83-89, 1990.

KLOCK, U. et al. **Química da madeira**. 3.ed. Curitiba: UFPR, 2005.

LEPAGE, ES. **Método padrão sugerido pela IUFRO para ensaios de campo com estacas de madeira**. PRESERVAÇÃO DE MADEIRAS, São Paulo, v.1, n.4, p. 205-216, 1970.

LENGOWSKI, EC. **Caracterização e predição da cristalinidade de celulose através de espectroscopia no infravermelho e análise multivariada**. 2012. 109p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

LIMA, LR; SANTOS, D B; SANTOS, MV; BARUD, HS; HENRIQUE, M. A.; PASQUINI, D; PECORARO, E; RIBEIRO, SJL. Nanocristais de celulose a partir de celulose bacteriana. **Química Nova**, 38, 2015.

LENTINI, M; PALMIERI, R; SOBRAL, L. **Atividade florestal madeireira no norte do Pará: do projeto Jari ao combate à ilegalidade e ao advento das concessões florestais**. In: Palmieri, R. Florestas de Valor. Desenvolvimento territorial e sustentabilidade: a experiência do IMAFLORA no Norte do Pará. IMAFLORA, 2020. Capítulo 3, p. 64-93, 2020.

LIMA, HC. *Dipteryx* in **Lista de Espécies da Flora do Brasil**., Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2012/FB029628>>. 2012.

LUCHTEMBERG, PHQ. **Resistência natural de dez espécies de madeiras amazônicas submetidas ao ataque de fungos apodrecedores em ensaio de laboratório**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília. 2013.

LENGOWSKI, EC. **Caracterização e predição da cristalinidade de celulose através de espectroscopia no infravermelho e análise multivariada**. 2012. 109f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MORI, SA. **Observações sobre as espécies de *Lecythidaceae* do leste do Brasil**. **Boletim de Botânica**, Universidade de São Paulo 14: 1–31, 1995.

MORESCHI JC. **Biodegradação e preservação da madeira**. 4. ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. v. 2, 2013.

MAGALHÃES, WLE. **Controle de manchadores e apodrecedores da madeira de *pinus***. In: SEMINÁRIO DE ATUALIDADES DE PROTEÇÃO FLORESTAL, 2., 2005, Blumenau. Anais... Colombo: Embrapa Florestas, 2008. CD-ROM.

MOTTA, JP; OLIVEIRA, JTS; PAES, JB; ALVES, RC; VIDAURRE, GB. Avaliação da resistência ao cisalhamento de juntas coladas com madeira de teca (*Tectona grandis*).

Scientia Forestalis, v. 42, n. 104, p. 615-621, 2014.

MOON, RJ; MARTINI, A; NAIRN, J; SIMONSEN, J; YOUNGBLOOD, J. Cellulose nanomaterials review: structure, properties, and nanocomposites. **Chemical Society**

Reviews, v. 40, n. 7, p. 3941-3994, 2011.

MORGADO, DL. **Biocompósitos a partir de celulose de linter: filmes de acetato de celulose/celulose e quitosana/celulose**. 304f. Tese (Doutorado em Físico-química). Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

MORGANO, MA; FARIA, CG; FERRÃO, MF et al. Determination of protein in raw coffee for NIR spectroscopy and regression PLS. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25, n.1, p.25-31, 2005.

MARCONDES, E; RIBEIRO, MA; STANGERLIN, DM; de SOUZA, AP; de MELO, RR; & GATTO, DA. Resistência natural da madeira de duas espécies amazônicas em ensaios de deterioração de campo. **Scientia Plena**. Recuperado de <https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/1042>, (2013).

MENDES, AS; ALVES, MVS. **A degradação da madeira e sua preservação**. Brasília, DF: IBDF/DPq-LPF, 1988.

MESQUITA, JB; LIMA, JT; TRUGILHO, PF. Microbiota associada à madeira serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex maiden durante a secagem ao ar livre. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.16, n.1, p.45-50, 2006.

MORESCHI JC. **Biodegradação e preservação da madeira**. 4. ed. Curitiba:

MORI, FA; MENDES, LM; TRUGILHO, PF; CARDOSO, MG. Utilização de eucaliptos e de madeiras nativas no armazenamento de aguardente de cana-de-açúcar. *Ciênc. e Technol. de Alim.*, v. 23, p. 396-400, 2003.

NZOKOU, P; KAMDEM, DP. Influence of wood extractives on the photodiscoloration of wood surfaces exposed to artificial weathering. *Color Res Appl.* v. 31, p. 425–434, 2006.

NAHUZ, MAR; MIRANDA, MJAC; IELO, PK.; PIGOZZO, RJB; YOJO, T. Catálogo de madeiras brasileiras para construção civil. **Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo**, São Paulo, 2013. 103p.

OLIVEIRA, JTS; SOUSA, LC; DELLA LUCIA, RM; SOUSA JÚNIOR, WP. Influência dos extrativos na resistência ao apodrecimento de seis espécies de madeira. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 819-826, set./out. 2005.

OLIVEIRA, JTS; FILHO, MT; FIEDLER, NC. Avaliação da retratabilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. *Revista Árvore*, v.34, n.5, p.929-936, 2010.

OZLEM, OC; SEFA, D; ISMAIL, HB; HASLET, E. Determination of chemical changes in heat-treated wood using ATR-FTNIR and FT Raman spectrometry, 2016.

OLIVEIRA, PRS. de; COSTA, JSda; SILVA, LFF. da; PENISCH, DCS.; LOBATO, CCS; NAGAISH, TYR. **Agrupamento de sete espécies madeireiras da Amazônia em função da densidade básica**. In: FÓRUM DE ANATOMISTAS DE MADEIRA DA AMAZÔNIA, 1., 2017, Belém, PA. Anais eletrônicos... Campinas: Galóa, 2017b.

PAES, JB. Resistência natural da madeira de *Corymbia maculata* (Hook.) K. D. Hill e L.A.S. Johnson a fungos e cupins xilófagos, em condições de laboratório. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 26, n. 6, p. 761-767, 2002.

PAVIA, DL; LAMPMAN, GM; KRIZ, GS. **Introdução à Espectroscopia**. Tradução de: Barros, Pedro. 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

PAES, JB; MELO, RR; LIMA, CR. Resistência natural de sete madeiras a fungos e cupins xilófagos em condições de laboratório. **Cerne**. Lavras, 2007.

PINTO, AM.; MORELLATO, LPC. & BARBOSA, AP. Fenologia reprodutiva de *Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd em duas áreas de floresta na Amazônia Central. **Acta Amazonica** 38(4):643-660, 2008.

RANKIN, JM. **Forestry in the Brazilian Amazon**. In: Prance, G. & T. Lovejoy (eds.) Amazonia, key environmental series. Oxford: Pergamon press, p. 369-392, 1985.

RICHARDSON, BA. **Wood preservation**. 2. ed. New York: E & FN Spon, 2009. 226p.

ROOSMALEN, MGM. van; GARCIA, O. M. da C. G. Fruits of the Amazonian forest. Part II: Sapotaceae. **Acta Amazonica**, v. 30, n. 2, p. 187-290, 2000.

ROCHA, M.P. Biodegradação e preservação da madeira. 5.ed. Curitiba: Fundação de **Pesquisas Florestais do Paraná**, 2001. 94p.

REIS, PCMR. **Análise estrutural e propriedades tecnológicas da madeira de espécies da Amazônia**. 81 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2017.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO – SFB. LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS – LPF. Banco de Dados de Madeiras Brasileiras [online]. Brasília 2018. <http://sistemas.florestal.gov.br/madeirasdobrasil/caracteristicas.php?ID=41&caracteristica=64> . Acesso em: 25 de dezembro de 2022.

SAMPAIO, JA. **Caracterização de fibras de celulose tratadas por plasma**. Juliana Abrantes de Sampaio. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2013. VII, 42 p.

SILVA, FAPRC. e; ROBERT, RCG.; SANTOS, AS; MENDONÇA, SD. Quantificação e avaliação das principais espécies florestais licenciadas no estado do Acre de 2005 a 2012. **Floresta e Ambiente**, v. 22, p. 4, p. 567-574, 2015.

SILVÉRIO, FO; BARBOSA, LCA; GOMIDE, JL; REIS, FP; VELOSO, DP. Metodologia de extração e determinação do teor de extrativos em madeiras de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 6, p. 109-116, nov./dez. 2006.

SANTINI, EJ. 1988. **Biodeterioração e preservação da madeira**. Santa Maria: CEPEF/FATEC, 125 pp., 1988

SILVA, LF; PAES, JB; JESUS JUNIOR, WC; OLIVEIRA, JTS.; FURTADO, EL; ALVES, FR. **Deterioração da madeira de *Eucalyptus* spp. por fungos xilófagos**. *Cerne*. v.20, n.3, p. 393-400, 2014.

SANTOS, LFM. **Potencial de deterioração de fungos apodrecedores de madeira em ensaios de laboratório**. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Curso de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília. 2015.

SAMIR, MAS. A.; ALLOIN, F; DUFRESNE, A. Review of Recent Research into Cellulosic Whiskers, Their Properties and Their Application in Nanocomposite Field. **Biomacromolecules**, 6, 612 – 626, 2005.

SMITH, KD. **Metals Handbook: diffraction Methods**. London: John Willey, 1981. v.10, p.326-355.

SILVERSTEIN, RM; FRANCIS XR; KIEMLE, DJW. Identificação Espectrométrica de Compostos Orgânicos. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

SALES-CAMPOS, C; ABREU, RLS; VIANEZ, BF. Condições de uso e processamento de madeira nas indústrias madeireiras de Manaus, Amazonas, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 30, n. 2, p. 319-331, 2000.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE (SEMAS-PA). Comercialização total por destino das vendas: 2015. Disponível em:<<http://monitoramento.sema.pa.gov.br/sisflora/index.php/relatorios>>. Acesso em: 16/05/2019.

SCAFI, SHF. **Sistema de Monitoramento em Tempo Real de Destilações de Petróleo e Derivados Empregando a Espectroscopia no Infravermelho Próximo** 196 f. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

SNIF – Sistema Nacional de Informações Florestais. Exportação - Produtos Florestais Madeireiros (PFM). SFB – SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2019.

SILVA, AC. Madeiras da Amazônia: características gerais, nome vulgar e usos. Manaus: **SEBRAE**, 2002. 237 p.

PINHEIRO, RV. **Influência da preservação, contra a demanda biológica, nas propriedades de resistência e de elasticidade da madeira**. 2001. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo.

PEREIRA, BLC. **Qualidade da madeira de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal**. 2012. Dissertação de mestrado Universidade Federal de Viçosa.

QUEIROZ, FLC. **Qualidade da madeira de *Tectona grandis* de diferentes procedências para utilização na indústria de produtos florestais**. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Departamento de Engenharia Florestal, 2018. 171p.

SILVA, ASVS. **Identificação e potencial degradativo de fungos lignocelulolíticos associados às podridões branca e parda.** Dissertação de Mestrado. 2018. 70p.Universidade de Brasília

SANTANA, MAE; OKINO, MYA. Composição química de 36 Espécies de madeira da floresta amazônica brasileira. **Holzforschung**, 61: 469–477, 2007.

SILVA, LF da.; PAES, JB; JESUS JUNIOR, WC de; OLIVEIRA, JT da S; FURTADO, E L; & ALVES, FR. Deterioração da madeira de Eucalyptus spp. por fungos xilófagos. **CERNE**, 20, <https://doi.org/10.1590/01047760201420031462>. 2014.

SILVA, AKS. **Identificação da biodegradação de quatro espécies de madeiras tropicais por cupins subterrâneos e sua relação com as características tecnológicas.** 2020.DISSERTAÇÃO DE MESTRADO.

SIESLER, HW; OZAKI, Y; KAWATA, S; HEISE, M. Near Infrared Spectroscopy: Principle, Instrumentation and Applications. **John Wiley-VCH, Weinheim, Germany**, 2002.

SHARMA, V; YADAV, J; KUMAR, R; TESAROVA, D; EKIELSKI, A; MISHRA, P.K. On the rapid and non-destructive approach for wood identification using ATR-FTNIR spectroscopy and Chemometric methods. **Vibrational Spectroscopy**. 2020.

SCHWANNINGER, M; RODRIGUES JC ; FACKLER, K. Uma revisão das atribuições de bandas em espectros de infravermelho próximo de madeira e componentes de madeira. **J. Near Infrared Spectrosc.** 287-308, 2011.

RITTER, MA; MORRELL, JJ Bridge Inspection for Decay and Other Deterioration. In: RITTER, M. A. **Timber Bridges: Design, Construction, Inspection and Maintenance.** United States Department of Agriculture, USDA. Forest Service. Washigton, 1990. p.721-787.

RITTER, MA; MORRELL, JJ.; WINANDY, J Properties of wood and structural wood products. In: RITTER, M. A. **Timber Bridges: Design, Construction, Inspection and Maintenance**. United States Department of Agriculture, USDA. Forest Service. Washigton, 1990. p.72-133.

TRAORÉ, M; KALL, J; CORTIZAS. AM. Differentiation between pine woods according to species and growing location using FTNIR-ATR. **Wood Sci Technol**. Vol. 52, p. 487-504, 2018.

TSUCHIKAWA, S; HIRASHIMA, Y; SASAKI, Y; ANDO, K. Near-infrared spectroscopic study of the physical and mechanical properties of wood with meso- and micro-scale anatomical observation. **Applied Spectroscopy**, v. 59, p.86-93, 2005.

TSUCHIKAWA, S; YONENOBU, H; SIESLER, H W. Near-infrared spectroscopic observation of the ageing process in archaeological wood using a deuterium exchange method. **Analyst**, v.130, p.379–384, 2005.

TSUCHIKAWA, S; SIESLER, HW. Near-Infrared spectroscopy monitoring of the diffusion process of deuterium-labeled molecules in wood. Part I. Softwood. **Applied Spectroscopy Reviews**, v. 57, p. 667-674, 2003.

TREVISAN, H. **Degradação natural de toras e sua influência nas propriedades físicas e mecânicas da madeira de cinco espécies florestais**. 56p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto Florestas, Rio de Janeiro, 2006.

VALDIONES, AP[et al.]. - A Evolução do setor madeireiro na Amazônia entre 1980 e 2020 e as oportunidades para o seu desenvolvimento inclusivo e sustentável na próxima década. Belém, PA: Imazon: **Imaflora**: ICV: IDESAM, 2022.

VIANA, LC; TRUGILHO, PF; SILVA, JRM; LIMA, JT; HEIN, PRG. Uso da espectroscopia no infravermelho próximo para predição de propriedades químicas e da densidade básica em madeira de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.20, n.2, 367-376, 2010.

YONENOBU, H; TSUCHIKAWA, S. *Applied Spectroscopy*, v.57, p.667-674, 2003.

WINANDY, JE; ROWELL, RM. The Chemistry of Wood Strength. In: ROWELL, R. M. **Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites**. Boca Raton: Taylor and Francis, 2005.

ZUGENMAIER, P. **Crystalline Cellulose and Derivatives: Characterization and Structures**, Springer Series in Wood Science, Berlin, p. 175-206, 2008.