



Poder Executivo
Ministério da Educação
Universidade Federal do Amazonas
Faculdade de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências
Florestais e Ambientais - PPGCIFA



JACKELINE NASCIMENTO DE LIRA

QUALIDADE DO LENHO DE DUAS ESPÉCIES AMAZÔNICAS COM BASE NA DENSIDADE BÁSICA, ANATOMIA E POR MÉTODO NÃO DESTRUTIVO DE ONDAS DE TENSÃO EM ÁREA DE MANEJO FLORESTAL

Manaus
2016

JACKELINE NASCIMENTO DE LIRA

QUALIDADE DO LENHO DE DUAS ESPÉCIES AMAZÔNICAS COM BASE NA DENSIDADE BÁSICA, ANATOMIA E POR MÉTODO NÃO DESTRUTIVO DE ONDAS DE TENSÃO EM ÁREA DE MANEJO FLORESTAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação da UFAM, como um dos requisitos para o título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais- PPGCIFA na linha de pesquisa de Manejo Florestal e Tecnologia da Madeira.

Orientador: Dr. Joaquim dos Santos
Co-orientadora: Dra. Claudete Catanhede do Nascimento

**Manaus
2016**

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

L768q Lira, Jackeline Nascimento de
Qualidade do lenho de duas espécies amazônicas com base na densidade básica, anatomia e por método não destrutivo de ondas de tensão em área de manejo florestal / Jackeline Nascimento de Lira. 2016
86 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Joaquim dos Santos
Coorientadora: Claudete Catanhede do Nascimento
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal do Amazonas.

1. módulo de elasticidade dinâmico. 2. ocosidade na madeira. 3. variáveis anatômicas. 4. tecnologia da madeira. I. Santos, Joaquim dos II. Universidade Federal do Amazonas III. Título



PARECER

Defesa nº 180

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, da Faculdade de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Amazonas, após arguir da mestranda **JACKELINE NASCIMENTO DE LIRA**, em relação ao seu trabalho de dissertação intitulada "**QUALIDADE DO LENHO DE DUAS ESPÉCIES AMAZÔNICAS COM BASE NA DENSIDADE BÁSICA, ANATOMIA E POR MÉTODO NÃO DESTRUTIVO DE ONDAS DE TENSÃO EM ÁREA DE MANEJO FLORESTAL.**" é de parecer favorável à aprovação da mestranda habilitando-a ao título de Mestre "Magister Scientiarum" em Ciências Florestais e Ambientais, na área de concentração em **CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS (CIFA)**.

Professor Doutor Joaquim dos Santos
Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/INPA
Presidente

Professor Doutor Nabor da Silveira Pio
Professor da Universidade Federal do Amazonas/FCA
Primeiro Examinador

Professor Doutor Adriano José Nogueira Lima
Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/INPA
Segundo Examinador

Manaus, 23 de junho de 2016.

Prof. Dr. Marciel José Ferreira
Coordenador do Programa de Pós Graduação em
Ciências Florestais e Ambientais - PPG-CIFA

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo, imensamente!

Ao Programa de Pós- Graduação em Ciência Florestais e Ambientais-PPGCIFA, da Universidade Federal do Amazonas-UFAM, pela oportunidade de cursar o mestrado! À CAPES pela concessão de bolsa. Aos professores da pós-graduação pelo aprendizado e aos colegas de turma do PPGCIFA.

A minha família, minha mãe e irmã, sempre guerreiras e meu pai por participarem por mais desta etapa importante da minha vida e por todo o apoio e aos tios e primos. Ao meu namorado Vitor pela força e apoio, o qual agradeço a Deus por eu estar ao seu lado e ter sua companhia e a família Frota pela força!

As minhas amigas Cláudia Gualberto por sua estimada ajuda e amizade, Monique Alencar, Maria Belleza, Jailane e Marcel pela amizade e toda força e apoio que me transmitiram.

Ao orientador Dr. Joaquim dos Santos, do Laboratório de Manejo Florestal-LMF, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA, por todo o apoio, orientação, colaboração, permanecendo todo respeito e agradecimento! Agradeço também pelo aprendizado que adquiri participando das atividades na Estação Experimental de Manejo Florestal-ZF-2/INPA.

A Dra. Claudete Catanhede do Nascimento do Laboratório de Engenharia de Artefatos de Madeira-LEAM, pela orientação e por sua grande dedicação a tecnologia da madeira e por todos os ensinamentos compartilhados, pelos conselhos, a companhia que se transformou em amizade e carinho, permanecerá todo respeito e agradecimento!

À empresa Mil Madeiras Preciosas pela autorização para coleta de dados na área de manejo florestal. Ao Engenheiro Florestal Marcos, da Mil Madeiras Preciosas, por toda a colaboração, esforço e apoio na logística para a realização da coleta de dados e à equipe de exploração florestal.

A Marta Martins e Jair do LEAM/INPA, pelo auxílio na coleta de dados e ao Roberto do LEAM pelo apoio.

Ao motorista Zezão do INPA pelo auxílio na realização da coleta de dados.

Ao Jorge Freitas, do Laboratório de Identificação de Madeira do INPA, por toda atenção e ajuda nas realizações dos testes de anatomia da madeira!

A dra. Sueli Silva da Estatística/INPA pela colaboração ao trabalho.

Ao Professor. Dr. Nabor Pio por ter sido meu supervisor em estágio docência na UFAM e pela oportunidade de passar por essa experiência gratificante.

Agradeço profundamente!

Flores que encantam com candura
Um revoar de pássaros que anuncia o entardecer
O dossel de árvores com sua vastidão esplêndida
Plantas que compõem a imensidão da natureza
O vento que inebria.
Quão bela é a exuberância da floresta
E o contemplar desse vislumbre
Transformando-se em poesia.

(Jackeline Lira)

RESUMO

A otimização do potencial da floresta por meio de ferramentas tecnológicas no manejo florestal, como o método não destrutivo, poderá auxiliar nos processos de tomada de decisão das empresas, no seu emprego com espécies amazônicas em face de sua grande diversidade. O objetivo deste trabalho foi analisar o lenho de árvores de espécies florestais por método não destrutivo para determinar a qualidade em área de manejo florestal. A coleta de dados foi realizada em uma área de manejo florestal em Itapiranga, Amazonas, Brasil. Na primeira fase foi desenvolvida a avaliação não destrutiva com a emissão de ondas de tensão com o equipamento *Stress Waver Timer* em árvores das espécies *Goupia glabra* e *Ocotea neesiana* nos sentidos longitudinal, diagonal e transversal. Com o tempo de propagação de onda foi calculado a velocidade de propagação da onda e o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd). Após a exploração, analisou-se o estado físico das toras para verificar a fitossanidade e retirou-se discos de cada indivíduo. Na segunda fase, foi realizado o corte dos discos em corpos de prova para a determinação da densidade básica, maceração e corte histológico para a obtenção de variáveis anatômicas. Realizou-se a análise descritiva da densidade básica, velocidade e MOEd, a ANOVA do MOEd em função dos sentidos de leitura e teste *Tukey*, a PCA (Análise de Componentes Principais) para agrupamentos de indivíduos ocos e não ocos e análise descritiva das variáveis anatômicas. O sentido transversal foi o que mais se diferenciou dos demais, formando um padrão de variação na leitura das ondas. A técnica de emissão de ondas possibilitou o agrupamento e a formação de classes de qualidade com o MOEd dos indivíduos oco e não ocos que poderão ser utilizados pela empresa para tomadas de decisões. Houve relação da estrutura anatômica com a propagação de ondas.

Palavras Chave: módulo de elasticidade dinâmico, ocosidade na madeira, variáveis anatômicas, tecnologia da madeira

ABSTRACT

The optimum use of the potential of the forest by using technological tools in forest management, such as nondestructive method, may assist in decision-making processes of companies in their use with Amazonian species in the face of its huge diversity. The aim of this study was to analyze the wood of forest species trees by nondestructive method to determine the quality in an area of forest management. Data collection was carried out in a forest management area located in Itapiranga, Amazonas, Brazil. In the first phase was developed nondestructive evaluation with the emission of stress waves with the Stress Waver Time equipment in trees of *Goupia glabra* and *Ocotea neesiana* in the longitudinal, diagonal and transverse directions. With the wave propagation time, it was calculated the speed of wave propagation and the dynamic elasticity modulus (DEM). After exploration, it was analyzed the physical state of the logs to check the plant and it was withdrawn discs of each individual. The second phase was performed by cutting the disks into test specimens for the determination of the basic density, maceration and histological section to obtain anatomical variables. We conducted a descriptive analysis of the basic density, speed and DEM, the ANOVA of DEM in function of reading directions and Tukey test, the PCA (Principal Component Analysis) process for groups of individuals hollow and not hollow and descriptive analysis of anatomical variables. The transverse direction was the most distinguished among all forming a pattern of variation in the readings of waves. The wave emission technique enabled the grouping and formation of quality classes with the DEM of hollow and not hollow individuals that can be used by the company for decision making processes. There was a relation of the anatomical structure with the propagation of waves.

Keywords: Dynamic modulus elasticity, hollow in wood, anatomical variables, wood technology

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Composição da fibra.....	35
Figura 2- Interior do tronco de árvore.....	36
Figura 3- Planos anatômicos em microscopia.....	37
Figura 4- Mapa da área de manejo florestal.....	39
Figura 5- Etapas a serem desenvolvidas.....	40
Figura 6- 1º transdutor com pêndulo de impacto. B- 2º transdutor.....	42
Figura 7- Martelo e sensores.....	42
Figura 8-Caixa receptora.....	42
Figura 9- Sentidos de leitura da propagação de onda em árvore em pé.....	43
Figura 10- Leitura da propagação de onda em árvore em pé no sentido longitudinal.....	43
Figura 11- Leitura da propagação de onda em árvore em pé no sentido diagonal.....	44
Figura 12- Leitura da propagação de onda em árvore em pé no sentido transversal.....	44
Figura 13- Pintura no fuste dos indivíduos para identificação da equipe de corte.....	46
Figura 14-Corte da árvore e posterior análise visual e retirada do disco.....	46
Figura 15- Identificação de ocosidade nos indivíduos selecionados.....	47
Figura 16- Representação da retirada de amostras do dico na direção radial.....	48
Figura 17- Corte do discos em cunhas e corpos-de-prova.	48
Figura 18- Determinação da densidade básica.....	49
Figura 19- Etapas do processo de corte histológico.....	50
Figura 20-. Etapas do processo de maceração.....	51
Figura 21- Relação da velocidade com o MOEd da <i>Goupia glabra</i>	56
Figura 22- Relação da velocidade com o MOEd da <i>Ocotea neesiana</i>	57
Figura 23- Representação do MOEd em função dos sentidos com valor de p não significativo para <i>Goupia glabra</i>	59
Figura 24- Representação das médias do MOEd em função dos sentidos com valor de “ p ” significativo com o teste <i>Tukey</i> para <i>Ocotea neesiana</i>	59
Figura 25- Agrupamento dos indivíduos com oco e não oco por sentido de leitura de <i>Goupia glabra</i>	62

Figura 26- Agrupamento dos indivíduos com oco e não oco por sentido de leitura de <i>Ocotea neesiana</i>	62
Figura 27- Macrofotografia e microfotografia do corpo de prova da <i>Goupia glabra</i>	69
Figura 28- Macrofotografia e microfotografia do corpo de prova da <i>Ocotea guianense</i>	70
Figura 29- Variações das médias dos sentidos de leitura da velocidade e MOEd para <i>Goupia glabra</i> e <i>Ocotea neesiana</i>	86

.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Valores de DAP`s de cada indivíduo.....	41
Quadro 2- Variáveis anatômicas a serem obtidas.....	52
Quadro 3- Resumo das variáveis obtidas em árvore em pé (avaliação na floresta) e disco (avaliação em laboratório).....	52
Quadro 4- Resumo do delineamento da ANOVA.....	53
Quadro 5- Resumo da análise descritiva para as duas espécies.....	54
Quadro 6- Resumo do delineamento do teste t da <i>Goupia glabra</i>	54
Quadro 7- Níveis de ocosidade na madeira de cada indivíduo das espécies <i>Goupia glabra</i> e <i>Ocotea neesiana</i>	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Análise descritiva no sentido longitudinal (L), Diagonal (D) e Transversal (T) da velocidade de propagação da onda (cm/s) e módulo de elasticidade dinâmico/MOEd (kg/cm^2).....	55
Tabela 2- Resultados obtidos na ANOVA com o MOEd em função dos sentidos de leitura de propagação da onda (longitudinal, diagonal e transversal) da espécie <i>Goupia glabra</i> e <i>Ocotea neesiana</i>	58
Tabela 3- Análise descritiva da densidade básica da <i>Goupia glabra</i> e <i>Ocotea neesiana</i>	65
Tabela 4- Análise descritiva da densidade básica do alburno e cerne separados para <i>Goupia glabra</i>	66
Tabela 5. Teste t do alburno e cerne da <i>Goupia glabra</i>	66
Tabela 6. Análise descritiva dos elementos anatômicos do alburno e cerne da espécie <i>Goupia glabra</i>	72
Tabela 7. Análise descritiva dos elementos anatômicos da <i>Ocotea neesiana</i>	74
Tabela 8. Faixas de variações da propagação de ondas de tensão para <i>Goupia glabra</i> e <i>Ocotea neesiana</i>	75

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS.....	17
2.1 Objetivo Geral.....	17
2.2 Objetivos específicos.....	17
2.3 PERGUNTA e HIPÓTESE.....	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1 Manejo Florestal.....	18
3.2 Inventário Florestal.....	19
3.3.1 Critérios de seleção de árvores.....	20
3.3 Exploração Florestal.....	20
3.3.1 Métodos de corte e derrubada.....	20
3.4 Ocosidade.....	21
3.5 Setor da Indústria Madeireira.....	22
3.6 Qualidade das toras e madeira.....	23
3.7 Rendimento da tora e madeira serrada.....	23
3.8 Caracterização Tecnológica.....	24
3.9 Métodos destrutivos para a caracterização tecnológica.....	24
3.10 Métodos não destrutivos para a caracterização tecnológica.....	26
3.11 Classificação visual.....	28
3.12 Tipo de testes não destrutivos.....	28
3.12.1 Método acústico.....	28
3.12.1.1 Ondas de tensão	28
3.12.1.2 Ultrassom.....	31
3.12.1.3 Frequência natural.....	31
3.13 Resistógrafo.....	32
3.14 Tomógrafo.....	32
3.15 Nir.....	33
3.16 Obtenção da qualidade por meio dos testes não destrutivos.	33
3.17 Anatomia e qualidade da madeira.....	33
3.17.1 Características anatômicas da madeira.....	34
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	38

4.1 Localização e características da área.....	38
4.2 Histórico da área de estudo.....	38
4.3 Amostragem e Seleção das espécies.....	39
4.3.1 Características gerais: <i>Goupia glabra</i> (Cupiúba).....	40
4.3.2 Características gerais: <i>Ocotea neesiana</i> (Louro preto).....	40
4.4 Avaliação não destrutiva.....	41
4.4.1 Aparelho <i>Stress Waver Timer</i>	41
4.5 Pintura nas árvores.....	46
4.6 Análise visual.....	46
4.7 Procedimento em laboratório.....	48
4.7.1 Determinação da densidade básica.....	48
4.8 Estudo anatômico.....	49
4.8.1 Corte Hitológico.....	49
4.8.2 Maceração.....	50
4.9 Análise dos dados.....	52
4.9.1 Variáveis obtidas.....	52
4.9.2 Testes estatísticos.....	53
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
5.1 Emissão de ondas de tensão na árvore em pé.....	54
5.2 Análise da densidade básica.....	64
5.3 Mensuração dos elementos anatômicos.....	68
5.3.1.1 Descrição macroscópica da <i>Goupia glabra</i>	68
5.3.1.2 Descrição microscópica da <i>Goupia glabra</i>	68
5.3.1.3 Descrição macroscópica da <i>Ocotea neesiana</i>	69
5.3.1.4 Descrição microscópica da <i>Ocotea neesiana</i>	70
5.4 Análise das variáveis anatômicas na relação com a variabilidade de emissão de ondas de tensão.....	71
5.5 Formação de classes de qualidade.....	74
6. CONCLUSÕES.....	76
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
8. APÊNDICE.....	86

1. INTRODUÇÃO

A madeira tropical do Brasil industrializada é distribuída da seguinte maneira: 96% de serrados, 2,2% de laminados e 1,8% de compensados, de acordo com o relatório da International Tropical Timber Organization – ITTO (2012). No Amazonas, apenas 30% da tora em madeira é aproveitada no processo de desdobro nas serrarias, sendo importante aumentar essa taxa de conversão (CLEMENTE; HIGUCHI, 2006).

Os 70% são descartados em forma de cascas, costaneiras, parte do tronco com ocosidade, aparas, serragem, sobra de desdobro e destôpo, o alburno é também descartado, por ser considerado um material de qualidade inferior ao cerne, além das árvores que são derrubadas, mas que devido à ocosidade, sequer chegam às serrarias. Este desperdício está associado às seguintes razões: utilização de equipamentos obsoletos, falta de mão-de-obra qualificada, layout precário das serrarias e falta de planejamento, também contribui a falta de informação tecnológica para espécies não comerciais aumentando a pressão de exploração sobre as espécies mais conhecidas com alto valor comercial (CAVALCANTI, 2005; NASCIMENTO, 2000).

A tecnologia da madeira pode ser um integrante em solução para melhorar esta taxa de conversão, pois para uma região que possui um potencial estimado de 4,5 bilhões de m³ de madeira em tora (MERRY et al., 2009). Assim, aumentar a taxa de conversão pode ser determinante na viabilização do manejo florestal sustentável. No entanto, existem entraves na realização do manejo florestal na Amazônia como a falta de tecnologia mais efetiva da matéria-prima para aumentar a produtividade e diminuir desperdícios em operações florestais e serrarias (SABOGAL et al., 2009).

O planejamento em longo prazo do abastecimento de matéria-prima da empresa é baseado no inventário florestal cujos resultados orientam o plano de manejo e na exploração florestal, permitindo conhecer os aspectos qualitativos e quantitativos dos recursos florestais (SOARES; NETO; SOUZA, 2010). Na exploração florestal, a qualidade da árvore em pé a ser cortada é realizada pelo teste do oco, sendo um processo que requer tempo e experiência do motosserrista, além de não obter uma reposta segura e eficaz da qualidade, influenciando o rendimento no processo de desdobro das toras em serrarias.

Um eficiente manejo e de operações de industrialização requer obter maior volume de material útil da tora e convertê-la em produtos (MARCHESAN, 2012) porém, são afetados pela qualidade das toras e madeira serrada que podem ajudar ou prejudicar o rendimento em madeira serrada. Por isso, são necessários estudos e técnicas que permitem

selecionar árvores de qualidade, sendo necessário conhecer a diversidade de espécies arbóreas amazônicas com grande variabilidade em propriedades tecnológicas e estrutura anatômica, no entanto existe a deficiência em obter a qualidade interna da árvore em pé e agrupá-las com essa característica e a realização de teste não destrutivo poderá fornecer esse conhecimento.

Na tecnologia da madeira, a caracterização da madeira para a obtenção das propriedades físicas e mecânicas, é determinada por método destrutivo que requer a exploração da árvore e adquirido corpo-de-provas com testes procedidos por normas. Com o avanço em novos estudos no campo da tecnologia da madeira surgiram os testes não destrutivos que usa alguma forma de propagação de energia através ou em volta de um material e para obter características importantes do material examinado por meio de vários aparelhos (SCHAD et al., 1996).

Os métodos não destrutivos são ferramentas alternativas e/ou complementares no processo de classificação das madeiras quanto às classes de resistência e categorias de qualidade, de fácil aplicação e rapidez na obtenção de dados, facilidade de operação custo relativamente baixo na aquisição, obtendo informações *in loco*. A qualidade da madeira influencia diretamente no rendimento e na qualidade final da madeira serrada, no mercado da indústria madeireira e na agregação de valor (MARCHESAN, 2012).

Entre as diversas tecnologias não destrutivas com aplicações por meio de diversos aparelhos para realizar os ensaios tem-se a emissão de ondas de tensão por meio do aparelho *Stress Waver Timer*, o qual classifica a madeira por meio da estimativa do módulo de elasticidade dinâmico que fornece a resistência mecânica, caracterizando-os em classes de qualidade por categoria de resistência a partir das ondas aplicadas (IWAKIRI, 2013) que pode ser usado pela empresa para obter a qualidade interna da árvore e tomar decisões.

A determinação da qualidade de árvore em pé por meio da caracterização tecnológica poderá auxiliar as tomadas de decisões com a efetivação dos métodos não destrutivos para obter a qualidade da matéria-prima, que pode gerar conhecimento prévio da qualidade dos indivíduos em área de manejo florestal a partir da aplicação de emissão de ondas de tensão, tendo como contribuição a realização de um inventário de qualidade tecnológico das espécies por método não destrutivo, sendo uma alternativa para verificar a qualidade e as características da árvore em pé antes de ser explorada.

Diante disso, o estudo visa analisar o lenho de árvores de espécies florestais por método não destrutivo para obter a qualidade em área de manejo florestal.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Analisar o lenho de árvores de espécies florestais por método não destrutivo para determinar a qualidade em área de manejo florestal.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Agrupar as árvores em função das propriedades obtidas por meio da emissão de ondas de tensão (aparelho *Stress Wave Timer*) dos indivíduos ocos e não ocos;

- Verificar o padrão da densidade básica e das características anatômicas para relacionar com a emissão de ondas de tensão;

- Determinar as variações do módulo de elasticidade dinâmico para criar faixas de qualidade por espécie.

2.3 PERGUNTA E HIPÓTESE

- Por meio do uso do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão poderão ser realizados os agrupamentos e classes de qualidade por propriedades determinadas dos indivíduos ocos e não ocos que fornecerão informações de forma mais prática e facilitar o rastreamento desses indivíduos?

H₀: O método não destrutivo de emissão de ondas de tensão não pode determinar agrupamentos e classes de qualidade de ocos e não ocos da madeira na árvore em pé.

H₁: O método não destrutivo de emissão de ondas de tensão pode determinar agrupamentos e classes de qualidade de ocos e não ocos da madeira na árvore em pé.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A Amazônia tem se tornado a maior região produtora de madeira processada do Brasil nos últimos vinte e cinco anos. Esse recurso madeireiro pode refletir nas questões socioeconômicas com estudos de caracterização tecnológica, uma vez que entre os recursos naturais da Amazônia, a madeira é o que tem a maior liquidez (SANTOS et al., 2012; GERWING et al., 2001; LIMA; SANTOS; HIGUCHI, 2005).

A produção de madeira em tora tropical do Brasil é, principalmente, concentrada nos estados do Pará, Amazonas e Mato Grosso. A produção manteve-se relativamente estável, em torno de 30,8 milhões de m³ em 2011 e 2012 (ITTO, 2012).

A diversidade de espécies de madeiras com propriedades diferentes induz ao agrupamento de espécies por similaridade de características (CAVALCANTI, 2005) levando a conhecer a caracterização de novas espécies para introduzi-las no mercado e inseri-las para exploração em área manejada para evitar a extinção de espécies já tradicionalmente exploradas.

No entanto, existe a ineficiência no que tange ao aproveitamento da matéria-prima em serrarias do Amazonas, ocasionando desperdícios. Segundo Cavalcanti (2005) existem dificuldades na qualificação da mão-de-obra, equipamentos obsoletos e espécies limitadas por despreparo técnico-científico, com limitações em mecanismos para inserção de tecnologia no pátio de desdobro ou de otimização da produção, sendo necessário o emprego eficaz de tecnologias.

3.1 Manejo Florestal

No manejo florestal sustentável ocorre a manutenção da cobertura florestal, produção de madeira, geração de renda, emprego e ganhos de mercado, ocorre de forma planejada para assegurar a manutenção da floresta para explorações futuras, além do monitoramento do desenvolvimento da floresta e aplicação de tratamentos silviculturais e atividades de responsabilidade social do uso da floresta (ANGELO et al., 2014; SABOGAL et al., 2009).

O artigo 3º, inciso VI, da Lei nº 11.284/06 especifica:

Manejo florestal sustentável: administração da floresta para a obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema objeto do manejo e considerando-se, cumulativa ou alternativamente, a utilização de múltiplas espécies madeireiras, de múltiplos produtos e subprodutos não madeireiros, bem como a utilização de outros bens e serviços de natureza florestal.

O plano de manejo florestal sustentável é um instrumento para o planejamento estratégico, de longo prazo para a produção sustentada da matéria-prima para a indústria florestal, contendo as operações que serão conduzidas na floresta, desde a delimitação da área a manejar, do inventário, exploração e pós – exploração e a proteção da floresta (SABOGAL et al., 2009).

A exploração ilegal e deficiências no manejo florestal têm persistido na Amazônia por várias razões, incluindo: infra-estrutura deficiente; o afastamento de muitas florestas de centros de comércio, declínio da capacidade de transformação da madeira na Amazônia. Logo, há a necessidade de tecnologias mais efetivas para aumentar a produtividade e diminuir desperdícios da matéria-prima desde as operações florestais até às serrarias (SABOGAL et al., 2006; ITTO, 2012).

3.2 Inventário Florestal

Dentro do manejo florestal é realizado o inventário florestal para o planejamento do abastecimento da matéria-prima, em que é avaliado a composição da floresta e a sua potencialidade para o manejo, fornecendo os subsídios necessários para o planejamento das atividades de exploração e do manejo (ARAÚJO, 2006).

É um dos itens obrigatórios de qualquer plano de manejo, sendo que a partir de suas estimativas podem-se estabelecer o nível de intervenção na floresta e as medidas para a manutenção da sua produção sustentável, fornecendo informações dos recursos florestais de forma quantitativa como abundância, área basal, volume e qualitativa como as espécies, além de obter outras características da floresta (SOARES; NETO; SOUZA, 2010).

O planejamento em longo prazo do abastecimento de matéria-prima da empresa é baseado no inventário florestal cujos resultados orientam o plano de manejo e conseqüentemente, na exploração florestal, em que a qualidade do inventário depende de muitos fatores, entre eles a amostragem, medições dendrométricas, identificação botânica (SOARES; NETO; SOUZA, 2010).

Existem vários tipos de inventários que são realizados para obter informações quali e quantitativas da floresta, como o inventário amostral ou diagnóstico, realizado em áreas onde se pretende implantar um plano de manejo e determinar seu potencial e aptidão para o manejo (ARAÚJO, 2006).

O inventário a 100% visa determinar o estoque de madeira existente nos compartimentos de manejo para o planejamento da exploração, são abordadas todas as árvores

adultas ocorrentes a partir de um DAP mínimo estabelecido, mapeando-as e classificando-as quanto ao estado de aproveitamento, destinação de uso, feito logo antes da exploração florestal, a fim de possibilitar a seleção das espécies a explorar e saber o volume (ARAÚJO, 2006).

Para avaliar a dinâmica da floresta é aplicado o inventário contínuo, para estudar o desenvolvimento estrutural de uma floresta ao longo do tempo por meio de mensurações sucessivas, em que são avaliados ingressos, mortalidade de árvores e crescimento volumétrico (ARAÚJO, 2006).

3.2.1 Critérios de seleção de árvores

A seleção das árvores será realizada para obtenção das listagens que serão utilizadas no desenvolvimento das atividades de planejamento, mapas pré - exploração e pós-exploração, com dados dendrométricos como número de indivíduos, diâmetros, áreas basais, volumes do fuste (ARAÚJO, 2006).

Existem os critérios de seleção de árvores que levam em consideração questões técnicas florestais, ecológicas e econômicas como a obtenção de todas as espécies que são inventariadas com seus respectivos nomes vulgar e científico, família, quantidade de árvores, diâmetros, altura média, área basal - G (m^2) e volume (m^3) e variáveis dendrológicas.

Árvores a serem exploradas, árvores remanescentes: contém todas as árvores que poderão ser exploradas na futura colheita (árvores remanescentes comerciais e potencialmente comerciais). Também são selecionadas árvores protegidas por lei, árvores porta-sementes, árvores em área de preservação permanente (SABOGAL et al., 2009).

Durante a realização das operações florestais, o planejamento de corte das árvores selecionadas fica sujeito a sofrer alterações por diversos motivos, sendo um deles a existência de oco, não aproveitáveis dentro do estoque selecionado para corte (SABOGAL et al., 2009) não havendo a obtenção da qualidade interna das árvores no inventário que poderá influenciar no rendimento final.

3.3 Exploração Florestal

3.3.1 Métodos de corte e derrubada

Na exploração florestal, a qualidade da árvore em pé selecionada para o corte no inventário florestal é realizada pelo teste do oco com motosserra por meio do operador. Ao localizar as árvores a serem exploradas a equipe verificará sua sanidade e técnicas apropriadas de corte direcionado para minimizar os danos causados na floresta e garantir a preservação das árvores remanescentes.

O motosserrista avaliará a direção de queda natural, o caminho de fuga, observará a disposição das árvores remanescentes e matrizes ao redor da árvore a ser derrubada, além do local em que a queda causaria menos danos à vegetação e facilitaria o arraste para o pátio de estocagem (SABOGAL et al., 2009).

Esta etapa demanda tempo e custo na localização das árvores a serem exploradas e por ainda haver o teste para saber se a árvore possui oco ou não e obtendo até diferente volume final em relação ao inicial. Por isso, técnicas e ferramentas para ter o conhecimento prévio da qualidade interna da árvore faz-se necessária.

3.4 Ocosidade

Madeiras ocas são descartadas devido ao comprometimento das propriedades físico-mecânicas da matéria-prima, influenciando no rendimento devido ao baixo aproveitamento e a falta de aplicação de tecnologia para obter a qualidade prévia das árvores que são exploradas (ULIANA, 2010). A ocosidade e lesões em um tronco podem resultar de ataque de organismos xilófagos, injúria por fogo, quebra de galhos e outros.

Os autores Foelkel e Busnardo (1986) indagam o porquê uma árvore viva, em plena ação de crescimento apresenta apodrecimento em regiões de seu cerne localizadas próximas à medula, sendo várias as características que podem ser observadas que tentam explicar essa ocorrência como interações dos seres vivos com o meio-ambiente/genótipo, a biodeterioração pode ser ocasionada por organismos xilófagos, que utilizam seus constituintes orgânicos como fonte de alimento, grupo de microrganismos associados, penetração dos microrganismos para o interior das árvores por galhos mortos constituindo-se em fonte de alimentos para os mesmos.

Foelkel e Busnardo (1986) estudaram o fenômeno a ocosidade detectado na região do cerne próxima à medula para *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*, referente à qualidade da madeira e suas possíveis interferências no uso industrial desse material. Observaram que o apodrecimento foi caracterizado em razão da ocorrência com típico apodrecimento fúngico, causado por himenomicetos e outros. Destacam que o volume de

madeira afetado em relação ao total é limitado, porém justifica esse interesse no sentido de eliminar o problema através do melhoramento e manejo florestal.

A durabilidade natural ou resistência natural entende-se o grau de suscetibilidade da madeira ao ataque de agentes destruidores como fungos, insetos, brocas marinhas e outros (BURGER; RICHTER, 1991). Com espécies amazônicas, apenas trabalhos referentes à durabilidade natural em contato com o solo são relacionados com ocosidade.

Desses trabalhos tem-se o De Jesus et al. (1998) que apresentam dados referentes à degradação, à susceptibilidade a organismos xilófagos e à durabilidade natural de 46 espécies de madeiras da Amazônia, expostas por mais de 8 e de 10 anos em ensaio de campo. Tanto os fungos como os térmitas participaram efetivamente na degradação das madeiras. Relatam que a resistência de muitas espécies florestais está relacionada à presença de substâncias repelentes aos térmitas no lenho. Algumas espécies de térmitas atacam madeira bastante umedecida, com moderado grau de degradação e outras, com alto grau de degradação.

Determinadas espécies arbóreas podem ter em sua constituição química substâncias (metabólitos secundários) que podem atrair ou repelir organismos xilófagos, sendo eles o terpeno que são tóxicos para insetos, usados na indústria como inseticidas naturais. Os compostos fenólicos tem como função a atração de insetos polinizadores e suporte mecânico. Tem-se os taninos que é tóxico e podem diminuir a taxa de predação por se tornarem impalatáveis afastando seus predadores naturais. Os compostos nitrogenados possuem efeito tóxico que funciona na proteção contra organismos xilófagos, tem-se os alcaloides que tem função de defesa contra pedradores (MONTEIRO; ALBUQUERQUE; ARAÚJO, 2005; METABÓLITOS SECUNDÁRIOS E DEFESA VEGETAL, 2013).

3.5 Setor da Indústria Madeireira

Os quatro primeiros países tropicais produtores de madeira em tora industrial tropical são: Indonésia, Brasil, Malásia e Índia. O Brasil continua sendo o maior consumidor madeira serrada tropical em mais de 15,3 milhões de m³ em 2011. O consumo interno tem sido relativamente estável em um nível relativamente elevado desde 2009, apoiada por uma forte demanda de madeira serrada no setor da construção civil em crescimento (ITTO, 2012).

Torna-se importante o conhecimento da produção de madeira na Amazônia desde a exploração na floresta até o produto final no mercado. Porém, existem lacunas quanto à organização da indústria de base florestal como: a exploração concentrada em poucas espécies conhecidas pelo mercado, a falta de infra-estrutura, a baixa qualidade da madeira devido ao

baixo nível tecnológico, tecnologias e equipamentos ultrapassados (CLEMENTE; HIGUCHI, 2006).

Necessita-se fortalecer esse segmento para maior competitividade no mercado, pois em termos de madeira, o Amazonas representa um potencial para o suprimento de matéria-prima para as indústrias florestais, sendo necessário o uso adequado para o aproveitamento da matéria-prima, promovendo o atendimento da demanda dos países consumidores e riqueza para os países produtores (LIMA; SANTOS; HIGUCHI, 2005).

3.6 Qualidade das Toras e madeira serrada

Tanto o rendimento em madeira serrada quanto a eficiência de uma serraria são afetados pela qualidade das toras, que também influencia na qualidade da madeira serrada. A qualidade da tora está ligada com a conicidade, tortuosidade, bifurcação, excentricidade, nós, inclinação de grã, rachaduras, tensões de crescimento (VITAL, 2008). Outros fatores podem ser importantes para verificar a qualidade da tora como presença de oco, conforme relatado no item, o estado fitossanitário da árvore, podendo comprometer seu aproveitamento no processo de desdobro.

É necessário conhecer a qualidade da madeira, indicando seu uso correto e tornando-a competitiva na indústria florestal. Segundo Gobe (2004) a qualidade do produto é definida em termos da capacidade de um produto para desempenhar suas funções tendo requisitos que satisfaçam seu uso, ou seja, as propriedades físico-mecânicos, químico e anatômico podem determinar a qualidade da madeira.

3.7 Rendimento da tora e madeira serrada

O processo de exploração florestal até o desdobro das toras são importantes para o rendimento e produtividade, além disso, a qualidade da matéria-prima influencia diretamente no rendimento e na qualidade final da madeira serrada. Por isso, são necessários estudos e técnicas que permitem selecionar com segurança árvores com toras de qualidade (MARCHESAN, 2012). Podendo enxergar possíveis problemas fitossanitários da árvore ainda na floresta por avaliação não destrutiva.

Na serraria, realizam-se o desdobro primário: blocos, semi-bloco, pranchões, pranchas, até tábuas. Desdobro secundário: redução das dimensões das peças e dimensionamento final.

Sendo utilizado nesses processos diversos tipos de maquinários como destopadeira e tipos de serras como serras circulares, serras fitas (CAVALCANTI, 2005).

Devido à diversidade de espécies madeireiras amazônicas, é necessário conhecer a matéria-prima, propriedades tecnológicas, tipos de ferramentas e máquinas, sendo que todo esse conhecimento deve ser introduzido em todo o processo de beneficiamento da madeira. É necessário conhecer todo o processo de produção, fatores que interferem na qualidade e produção de madeira serrada e para maximizar o rendimento das toras em madeira serrada está na avaliação da forma e qualidade das toras e otimização das decisões de corte (VITAL, 2008).

O rendimento é relação entre a madeira serrada por cada tora, mostra quanto uma serraria está aproveitando de cada tora beneficiada e vários são os fatores que podem ajudar ou prejudicar o rendimento como a falta de mão-de-obra qualificada, equipamentos obsoletos, matéria-prima de baixa qualidade, baixo rendimento de madeira serrada são problemas enfrentados por serrarias no Amazonas (CAVALCANTI; NASCIMENTO, 2012).

3.8 Caracterização Tecnológica

A caracterização tecnológica permite o conhecimento sobre as propriedades e acarreta na utilização adequada, uma vez que promovem a redução do desperdício da madeira e contribui para o manejo florestal.

Segundo Araújo (2007):

Combinados a outros fatores (resistência à degradação biológica e abiótica, facilidade de processamento com ferramentas, valor econômico de mercado, estético etc.), os parâmetros dessas propriedades permitem que as madeiras sejam classificadas em usos a que se mostram mais apropriadas, como, por exemplo, peças estruturais, ambientes internos e externos de habitações, mobílias, painéis e embalagens.

3.9 Métodos destrutivos para a caracterização tecnológica

Para a caracterização tecnológica da madeira são empregados estudos das propriedades físicas e mecânicas com diversos ensaios e geralmente, é determinada por método destrutivo que requer a necessidade da exploração da madeira.

As propriedades físicas mais estudadas são: teor de umidade, densidade básica e aparente, estabilidade dimensional (retração e inchamento) e resistência ao fogo. As propriedades mecânicas são: flexão estática, dureza janka, tração, compressão axial e perpendicular, cisalhamento. Os testes são realizados atendendo os procedimentos das normas existentes como a COPANT (Comissão Panamericana de Normas Técnicas), ASTM

(Standard Methods for Establishing Structural) e ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) etc.

A norma brasileira apresenta duas definições de densidade a serem utilizadas em estruturas de madeira: a densidade básica e a densidade aparente. A densidade básica da madeira é definida como a massa específica obtida pelo quociente da massa seca pelo volume verde em g/cm^3 . A densidade aparente é determinada para uma umidade padrão. A densidade pode ser utilizada para classificação da madeira e nos cálculos de estruturas.

A densidade reflete a quantidade de material lenhoso por unidade de volume. A variabilidade da densidade é decorrente de fatores como células com paredes espessas e rijas, fibras espessas, inclusões minerais como sílicas e cristais, vasos, diferentes tipos de células, causando variação da massa específica, além dos fatores ambientais (externos) como solo, clima, umidade e tratamentos silviculturais e genéticos da espécie (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968).

A densidade é uma propriedade física que mais fornece informações sobre a madeira e poder determinar o seu uso correto. Além de ser de mais fácil obtenção e indiscutivelmente, um dos principais parâmetros de qualidade da madeira utilizada nos setores florestais, devido estar relacionado com todas as propriedades mecânicas, conforme reporta Oliveira (2006). Conforme Padilha (2005) esta pode ser considerada boa indicadora da resistência mecânica da madeira e, de modo geral, quando a densidade aumenta a resistência mecânica também aumenta, entretanto, essa relação pode variar entre as diferentes propriedades e espécies (Rocha et al., 1988).

A densidade é correlacionada com todas as propriedades mecânicas, sendo que as variações podem ocorrer entre diferentes espécies, em uma mesma espécie e em madeiras de uma mesma árvore (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968). Existem vários tipos de métodos para determinar a densidade da madeira, como método máximo teor de umidade, medição direta por paquímetro entre outros, sendo um dos mais precisos o método de imersão em água (TRUGILHO et al., 1990).

A densidade é dividida entre baixa, média e alta, sendo, por exemplo, $0,13 \text{ g/cm}^3$ para o pau de balsa- *Ochroma pyramidale* (Cav. Ex Lam.) Urban. e $0,92 \text{ g/cm}^3$ para maçaranduba- *Manilkara Huberi* (Ducke) A. Chev. (INPA/CPPF, 1991).

O termo resistência aplicado a materiais como madeira, significa a habilidade que tem o material de resistir a forças externas ou cargas, tendendo a alterar seu tamanho e sua forma. A carga aplicada em um corpo sólido induz a uma força interna que tende a resistir às alterações no tamanho e forma, sendo essa força conhecida como tensão e expressa por

quilograma força por centímetro quadrado. As alterações do tamanho e forma são conhecidas como deformação (ROCHA et al., 1988).

A flexão estática é um ensaio destrutivo que permite determinar a propriedade mecânica da madeira por meio da obtenção do módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR). O ensaio consiste em aplicar uma carga em um corpo de prova apoiado nos extremos. A carga aplicada induz a uma força interna que tende a resistir às alterações no tamanho e forma, sendo essa força conhecida como tensão, sendo que a resistência mecânica é a capacidade de sustentação de cargas ou forças (tensão), chegando até a ruptura. A aptidão da madeira de resistir à deformação em razão da carga aplicada é expressa numericamente por meio do módulo de elasticidade (ROCHA et al., 1988).

O módulo de elasticidade (MOE) é calculado com valores obtidos do diagrama carga-deformação, no ponto do limite proporcional ou limite elástico e o módulo de ruptura (MOR) é utilizado para obtenção de tensões admissíveis para diversas formas de uso da madeira (MATOS, 1997). O MOE é a melhor propriedade que se relaciona com outras propriedades mecânicas da madeira e existe uma correlação da densidade básica entre o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade (ROCHA et al., 1988).

No método não destrutivo, a propriedade mecânica da madeira pode ser obtida por meio do módulo de elasticidade dinâmico (**MOEd**). Esse estudo é realizado a partir da correlação da velocidade de propagação da onda de tensão medida e da densidade do material.

Os resultados obtidos por ensaios destrutivos podem diferir por causa de uma amostragem mal efetivada, pelo custo econômico, no tempo de confecção do corpo de prova e a duração de execução metodológica, sendo que o material muitas vezes é inutilizado após o procedimento do estudo (PUEHRINGER, 2002).

Em face do avanço em novos estudos no campo da tecnologia da madeira surgiram os testes não destrutivos, sendo a ciência que identifica as propriedades físicas e mecânicas de um material para tomar decisões a respeito das aplicações apropriadas para o material a ser avaliado (ROSS; BRASHWA; PELLERIN, 1998; PUEHRINGER, 2002). As avaliações podem ser realizadas na condição que a matéria-prima se encontra como: árvore em pé, toras e madeira serrada.

3.10 Métodos não destrutivos para a caracterização tecnológica

A avaliação não destrutiva é a ciência que identifica as propriedades físicas e mecânicas de um material sem alterar sua capacidade de uso futuro (ROSS; BRASHWA;

PELLERIN, 1998). Os métodos não destrutivos proporcionam uma caracterização eficaz da madeira, sendo fundamental no manejo dos recursos florestais, assegurando a qualidade do produto final e seu uso mais adequado, podendo incrementar o nível de informação tecnológica sobre espécies de madeira conhecidas, bem como daquelas ainda não estudadas (PUEHRINGER, 2002; MINÁ et al., 2004; DEL MENEZZI; SILVEIRA; SOUZA, 2010).

As aplicações de ensaios não destrutivos apresentam importantes aspectos como: a possibilidade de utilização posterior da peça testada; rapidez na aplicação do método; confiabilidade dos resultados obtidos que permitem o sortimento peça a peça; garantia das suas propriedades físicas e mecânicas; é promissora em relação aos derivados de madeira como painéis; o reduzido custo; versatilidade para se adequar a uma rotina padronizada numa linha de produção; aplicação rápida e fornecimento de resultados para que as peças possam ser aceitas ou rejeitadas “on line” (PUEHRINGER, 2002; MINÁ et al., 2004).

Os métodos podem ser empregados para determinar propriedades mecânicas, avaliação do grau de ataque biológico, classificação de lâminas e de madeira, etc.(DEL MENEZZI; SILVEIRA; SOUZA, 2010). Todo método não destrutivo usa alguma forma de propagação de energia através ou em volta de um material para deduzir algumas características importantes do material examinado. Essa energia pode resultar de cargas estáticas ou dinâmicas, ou pode ser gerada por ondas eletromagnéticas ou elásticas (SCHAD et al., 1996).

O desenvolvimento de técnicas não destrutivas de materiais se deu a partir de 1959, quando Jayne lançou a hipótese fundamental da teoria de aplicação desses testes para a madeira. Conseguiu demonstrar uma relação entre a energia potencial e as propriedades de dissipação na madeira. Propôs que a armazenagem e dissipação de energia e as propriedades da madeira, que podem ser obtidas não destrutivamente, são controladas pelo mesmo mecanismo que determina o desempenho mecânico desses materiais e estabelecidas relações matemáticas entre essas propriedades mecânicas (PUEHRINGER, 2000). Na forma microscópica da madeira, compreende-se que as propriedades de armazenamento de energia são controladas pela orientação das células e por sua composição estrutural, que influenciam as características elásticas da madeira. Essas propriedades são frequência de oscilação na vibração ou transmissão da velocidade de propagação da onda (STANGERLIN, 2010).

Em relação à umidade, a velocidade de propagação diminui com o aumento da umidade até o ponto de saturação das fibras, a partir deste ponto, a variação da velocidade torna-se pequena. A atenuação é praticamente constante em baixos valores de umidade, mas

aumenta a partir de um ponto crítico no qual as paredes da células começam a reter água livre (OLIVEIRA; SALES, 2000).

Existem diversas técnicas que são aplicadas para a realização dos testes não destrutivos como: ondas de tensão e ondas de ultrassom ou raios-x (IWAKIRI et al., 2013). Os testes podem ser realizados por meio de aparelhos, sendo eles: o resistógrafo, tomógrafo, Nir e stress wave.

3.11 Classificação visual

A observação visual é um método considerado não destrutivo. A avaliação visual é o primeiro e o mais tradicional método de classificação da madeira em interpretações subjetivas de observações, sendo que em muitas situações as observações visuais são necessárias para a tomada de decisão sobre a gravidade das condições dos componentes de determinado produto (NOGUEIRA, 2007; PUEHRINGER, 2000). A qualidade é analisada mediante a identificação de madeira livre de defeito, nó, rachaduras, ataques de organismos xilófagos, cerne e alborno distintos ou não entre outros.

3.12 Tipo de testes não destrutivos

3.12.1 Método acústico

Os métodos acústicos são reportados na literatura em diferentes tipos como: ultrassom, ondas acústicas ou de tensão e vibração transversal. Iwakiri et al (2013) explanam que a utilização deste método permite a partir das ondas aplicadas classificar a madeira em classes de qualidade por meio da estimativa do MOEd.

A aplicação de técnicas que utilizam a propagação de ondas é um dos grandes avanços obtidos nos últimos anos na caracterização de materiais, tanto do ponto de vista mecânico quanto da qualidade (PUCCINI et al., 2002).

3.12.1.1 Ondas de tensão

Consiste na aplicação de uma onda de tensão (impacto) no material e análise do fenômeno de propagação desse estímulo. A velocidade de propagação de uma onda de tensão

induzida e sua atenuação no material são os principais parâmetros analisados nesses casos (NOGUEIRA; BALLARIN, 2008).

No método não destrutivo, a propriedade mecânica da madeira pode ser obtida por meio do módulo de elasticidade dinâmico (**MOEd**). A velocidade de propagação da onda é convertida em MOEd por meio de equação.

O aparelho *Stress Wave Timer* Modelo 239A (METRIGUARD,1997) tem como princípio de funcionamento a emissão de ondas acústicas na madeira emitida por um impacto, obtendo-se o tempo de propagação da onda de tensão na madeira para se calcular a velocidade de propagação da onda (cm/s) e o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd). Consiste na onda de tensão induzida por meio de um impacto, a onda percorre todo o material até atingir o segundo transdutor que envia um sinal elétrico para o receptor que interrompe a contagem. O tempo percorrido é mostrado em tela de cristal líquido no formato de microssegundos (DEL MENEZZI; SILVEIRA; SOUZA,2010).

O tipo da grã, falhas, rachaduras, nó e outros elementos podem influenciar na onda emitida, pois como afirma Del Menezzi, Silveira e Souza (2010), os caracteres anatômicos macroscópicos e a microestrutura da madeira são a fonte da anisotropia da madeira e portanto, da dissipação das ondas acústicas.

Trabalhos relacionados

Van Der Slooten e De Paula (1984) realizaram o primeiro trabalho do método não destrutivo com espécies amazônicas com a técnica de emissão de ondas de tensão com a utilização do aparelho *Stress Wave* na avaliação das propriedades mecânicas de nove espécies.

Rocha (2003) estudou 48 madeiras para dormentes ferroviários divididas em dois agrupamentos, sendo de madeiras nativas e madeiras de espécies *Qualea* sp., *Ocotea* sp ou *Nectandra* sp., *Eucaliptus citriodora* e *Enterolobium* sp. de reflorestamento para avaliação por uso de ondas de tensão e ultrassom. Os resultados evidenciaram essa sensibilidade para os métodos de ondas de tensão e ultrassom. Os coeficientes de determinação das regressões lineares obtidas entre as principais variáveis dos ensaios não-destrutivos da velocidade de propagação da onda de ultrassom e módulo dinâmico e dos destrutivos convencionais como o módulo de elasticidade e resistência à compressão paralela às fibras foram sempre superiores a 70%.

Puehringer (2002) avaliou a eficiência da utilização do Método não destrutivo de emissão de ondas de tensão na qualificação de 25 árvores de *Pinus taeda*, toras, tábuas e lâminas de madeira. Concluiu que há eficiência no sortimento em classes de qualidade das

árvores primeiramente, pelo método não destrutivo, resultando na correlação entre estas e seus produtos: toras, tábuas e lâminas.

Shimoyama (2005) realizou um estudo sobre estimativas de propriedades da madeira de 25 árvores selecionadas de *Pinus Taeda* e de cada árvore retirados discos e avaliado através do método não destrutivo emissão de ondas de tensão. As toras foram desdobradas para avaliação das propriedades, como diâmetro, frequência de nós e propriedades acústicas. Concluiu que a técnica de aplicação de ondas de tensão pode ser utilizada para determinação das propriedades da madeira com rapidez e eficiência e obteve fortes correlações entre as variáveis tempo e velocidade de propagação das ondas e as propriedades avaliadas em árvores em pé, toras, tábuas e lâminas. Veiricou ser possível determinar a qualidade dos produtos com atécnica de ondas em árvore em pé e toras.

Castelo (2007) estudou os efeitos de diferentes sítios de crescimento e espaçamentos na qualidade da madeira de *Pinus taeda* e estimou características da madeira como ferramenta para seleção de árvores em pé e toras. Relata que a qualidade do sítio não afetou a propagação das ondas de tensão e sim à madeira produzida, evidenciando a eficiência do método para a qualificação não destrutiva de árvores em pé. Em relação ao espaçamento, obteve-se redução na velocidade das toras com o aumento do espaçamento devido a diminuição da massa específica, tendo fibras menos largas, com menores diâmetros de lume e menores espessuras da parede. Encontrou correlações significativas entre o tempo e a propagação das ondas e as demais características avaliadas nas árvores em pé e em toras.

Em relação a trabalho estudando a umidade da madeira, Cruz et al. (2009) avaliaram a estimativa da umidade da madeira a partir da variação da velocidade de propagação de ondas de tensão em duas espécies de *Eucalyptus*. Foram feitos ajustes de equações e a umidade das madeiras pode ser estimada pelo método de propagação das ondas de tensão.

Del Menezzi, Silveira e Souza (2010) usaram o aparelho *Streets Wave Timer* e avaliaram as propriedades de flexão estática de seis espécies de madeiras amazônicas, sendo pau-marfim (*Balfourodendron riedelianum* (Engl)), cedro (*Cedrela fissilis* Veli.), freijó (*Cordia goeldiana* Huber), cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Wild), sucupira (*Bowdichia virgilioides* H.B.K.) e ipê (*Tabebuia* sp.) por meio da utilização da técnica de ondas de tensão. Os modelos de regressão obtidos foram altamente significativos para a predição das propriedades de flexão, concluindo-se que o método é adequado para predizer as propriedades de flexão.

Teles et al. (2011) estudaram três métodos não destrutivos de ondas de tensão, vibração transversal e flexão estática para a estimativa da rigidez de peças de madeira de louro-vermelho (*Sextonia rubra*). Concluíram que os três métodos estudados são adequados para se estimar a rigidez da madeira amazônica.

Iwakiri et al. (2013) avaliaram a variação do módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) no sentido longitudinal e radial com a aplicação de ondas de tensão utilizando o aparelho Stress Wave timer de árvores de *Tectona grandis* e suas correlações com a massa específica aparente da madeira. Foram coletadas cinco árvores com 18 anos de idade e retirados pranchões. Constatou-se um aumento no MOEd nos sentidos longitudinal (base, meio e topo) e no sentido radial (medula a casca) das árvores. Evidenciaram boas interações nos coeficientes de correlações entre a massa específica aparente e MOEd para as lamelas retiradas da base e meio das árvores e das regiões próximas à medula.

3.12.1.2 Ultrassom

As ondas acústicas de frequência superior a 20.000 Hz são chamadas de ultrassom. Consiste em gerar, no interior de um corpo de prova, uma ou várias ondas elásticas com a ajuda de uma sonda "piézo-elétrica". As ondas se propagam com velocidades que dependem da direção de propagação e das constantes elásticas do material. A medição do tempo de propagação da onda, isto é, de sua velocidade, permite determinar estas constantes (GONÇALEZ; VALLE; COSTA, 2001).

Gonçalez, Valle e Costa (2001) estimou as constantes elásticas da madeira por meio de ondas ultrassônicas (ultrassom) com madeiras de Fava Amargosa (*Vataireopsis speciosa*), Jequitiba Rosa (*Cariniana micrantha*), Peroba d'Água (*Rauwolfia paraensis*) e Peroba Mico (*Aspidosperma macrocarpum*) e relatou que a utilização da propagação das ondas ultrassônicas é uma alternativa para determinar as propriedades mecânicas da madeira, principalmente as constantes elásticas.

3.12.1.3 Frequência natural

Consiste na análise da vibração de um exemplar de madeira, com obtenção do módulo de elasticidade do material a partir da análise das frequências principais de vibração e é associada à rigidez na flexão (NOGUEIRA; BALLARIN, 2008; SEGUNDINHO et al., 2012).

Segundinho et al. (2012) avaliaram a eficácia dos métodos de ensaios de frequências naturais de vibração comparando-os aos resultados obtidos na flexão estática na obtenção das propriedades elásticas em peças estruturais de madeira de 24 vigas de *Eucalyptus sp.* e 14 vigas de *Pinus oocarpa*. Evidenciou boa correlação quando comparados aos resultados obtidos de flexão estática, dando destaque ao ensaio da frequência de vibração longitudinal.

3.13 Resistógrafo

Mede a resistência da madeira à penetração por meio de uma broca especial de 3 mm de diâmetro e comprimento variável, é introduzida no lenho, ao atravessar a madeira, a broca encontra intensidades diferentes de resistência, refletindo a condição estrutural das paredes celulares. A queda abrupta na energia necessária para a penetração a certa profundidade do tronco pode indicar a presença de tecido lesionado naquele ponto (ROLLO, 2009; RINN; SCHWEINGRUBER; SCHAR, 1996).

A medição é denominada amplitude, expressa em porcentagem, que indica o consumo energético para a broca vencer a resistência à perfuração na madeira. Essa resistência pode ser correlacionada com a densidade básica da madeira, podendo prever a sua densidade básica. O aparelho possui também um acessório em forma de impressora térmica que emite os resultados da perfuração instantaneamente em campo (ROLLO, 2009; RINN; SCHWEINGRUBER; SCHAR, 1996).

O resistógrafo permite estimar a densidade básica, a sanidade (ataque de brocas e cupins) e as propriedades mecânicas da madeira cuja aplicação tem sido crescente para a avaliação do lenho de árvores no Brasil (LIMA et al., 2007; GOUVÊA et al., 2011).

3.14 Tomógrafo

A tomografia de impulso baseia-se no princípio da cronometragem de ondas mecânicas, cuja velocidade do impulso no interior da árvore está altamente correlacionada com a densidade, módulo de elasticidade e umidade do tecido, para reconstrução de seções das árvores, originando uma imagem tomográfica de velocidade das ondas mecânicas que permite observar áreas de maior e menor densidade correlacionadas à existência de lesões e processos de apodrecimento, também chamado de imagem tomográfica (ROLLO et al., 2013).

3.15 Nir

É um ensaio de espectroscopia no infravermelho próximo ou NIRS. Essa técnica baseia-se na radiação eletromagnética de 750 nm a 2.500 nm. Surgiu como uma técnica de avaliação não invasiva para materiais orgânicos e fornece calibrações robustas, os parâmetros do modelo não se alteram de maneira significativa quando novas amostras são acrescentadas ou retiradas do conjunto de calibração. O objetivo da calibração é encontrar um modelo que melhor represente ou relacionar os dados espectrais com os dados obtidos pelo método de referência. Após o modelo ser calibrado para uma determinada propriedade, a acurácia de calibração deve ser testada em um processo denominado validação (ANDRADE et al., 2010).

3.16 Obtenção da qualidade por meio dos testes não destrutivos.

Os testes não destrutivos na caracterização dos materiais são importantes para a determinação da qualidade pela resistência, sendo reportado na literatura como uma classificação mecânica. Estudos mostram a correlação dos testes não destrutivos com as propriedades mecânicas e físicas adquiridas pelo método destrutivo, sendo importante sua utilização.

Del Menezzi, Silveira e Souza (2010) evidencia que um dos usos mais consagrados das técnicas NDT é na determinação da rigidez de peças de madeira sólida e de produtos compostos visando sua classificação. Gonzalez, Valle e Costa (2001) relata que os métodos empregando a frequência de ressonância, ultrassom, emissão acústica conseguem avaliar a integridade estrutural e funcional de diversos produtos à base de madeira.

Os ensaios não destrutivos são uma ferramenta alternativa e/ou complementar no processo de classificação das madeiras quanto às classes de resistência e categorias de qualidade, podendo ser utilizados na otimização no processo produtivo em uma linha de produção, promovendo a qualidade e homogeneidade do lote (NOGUEIRA, 2007).

3.17 Anatomia e qualidade da madeira

Conhecer as propriedades tecnológicas da madeira proporciona meios para garantir a qualidade e a sustentabilidade da floresta e sua melhor aplicabilidade, sendo este estudo com as propriedades físicas, mecânicas, química e anatômica. A caracterização da estrutura

anatômica é importante para ter o entendimento da complexidade estrutural dos elementos de uma espécie de madeira, evidenciando sua influência em relação a propriedades físicas e mecânicas da árvore, sua identificação para órgãos ambientais e estudos científicos, é de fundamental importância no que tange à sua qualificação, contribuindo para sua melhor utilização e alternativas de uso (MOTTA et al., 2014).

A anatomia da madeira está relacionada com sua estrutura, com as dimensões e disposições dos elementos anatômicos que também contribuem para o estudo das madeiras (MOTTA et al., 2014). Estudos realizados vislumbram o emprego do estudo de parâmetros anatômicos, como fibras e vasos, para qualificação de madeira para geração de energia e produção de papel, evidenciando a importância da caracterização anatômica da madeira para diversos usos (DE PAULA, 2003).

Pelo estudo macroscópico e microscópico de madeiras, é possível identificar características direcionadas ao uso comercial da espécie e complementar estudos botânicos com uso de equipamentos como o micrótomo e microscópio e materiais como lâminas de cortes histológicos da madeira e lupa (MADY, 2007). Estudos realizados vislumbram o emprego do estudo de variáveis anatômicas, como fibras e vasos, para qualificação de madeira para geração de energia e produção de papel, evidenciando a caracterização anatômica da madeira para diversos usos (DE PAULA, 2013) sendo importante também esse estudo na sua relação com os métodos não destrutivos.

3.17.1 Características anatômicas da madeira

A madeira é um material heterogêneo, composto de células produzidas por uma árvore viva para suportar a copa, conduzir água e nutrientes dissolvidos do solo à copa, como também armazenar materiais de reserva. É um tecido complexo devido a sua formação por diferentes tipos de células (BURGER; RICHTER, 1991).

A madeira possui três eixos perpendiculares de simetria. O eixo longitudinal da árvore é ao longo do eixo do tronco. O eixo radial segue uma linha de medula para a casca da árvore. O eixo tangencial é localmente definido como a direção perpendicular ao eixo radial e o eixo longitudinal da árvore (FEENEY et al., 1998)

Devido as suas alterações dimensionais da madeira diferir nos planos anatômicos no sentido transversal, radial e tangencial devido à perda e ganho de água, sofrendo retração e inchamento, a madeira caracteriza-se por ser um material anisotrópico (Figura 2-A), (BURGER; RICHTER, 1991). É um material higroscópico, que sob diferentes condições de

umidade relativa e temperatura, adquire diversos teores de umidade, sendo que este exerce influência nas propriedades físicas e mecânicas (TRUGILHO et al., 1990).

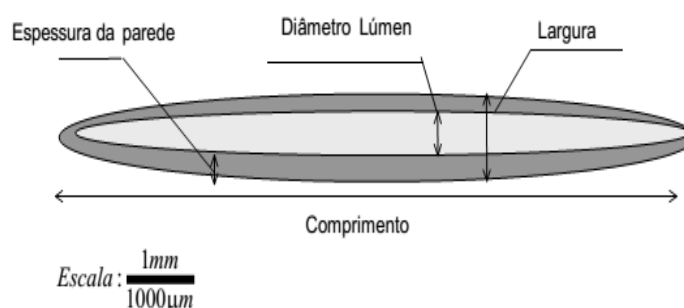
A *grã* da madeira consiste na orientação dos elementos verticais constituintes do lenho em relação ao eixo da árvore ou de peças de madeira e influi nas propriedades mecânicas da madeira. Em virtude do processo de crescimento com diversas influências como solo, clima e outros, acarreta-se em vários tipos de grãs: grã direita, grã espiral (torcida), grã inter cruzada (revessa), grã ondulada (crespa) e grã inclinada (BURGER; RICHTER, 1991).

A madeira também é um material poroso, característica que reflete na disposição e diâmetro de vaso, melhor observada no sentido transversal da madeira (BURGER; RICHTER, 1991; MADY, 2000). Os vasos são formados por células normalmente axial perfuradas sobrepostas nas extremidades chamadas de elementos de vasos que se comunicam entre si por meio das placas de perfuração que permitem a passagem de líquidos (Figura 3-A,B,C).

Os vasos apresentam pontoações em suas laterais para comunicação com células vizinhas (Figura 2-D). As pontoações são pequenas aberturas na parede das células da madeira unidas aos pares e separadas por uma membrana permeável por onde ocorre a difusão de gases e líquidos. Quando estabelecem contato de vaso para vaso são denominadas pontoações vasculares e quando a comunicação é de vaso para raio chama-se raio-vasculares. Os vasos, devido a sua dimensão e às paredes delgadas, são estruturas fracas e sua abundância, dimensão e distribuição influem na resistência mecânica da madeira (BURGER; RICHTER, 1991; MADY, 2000).

Madeiras com muitas fibras têm contribuição no aumento da massa específica e resistência mecânica juntamente com a lignina, sendo indicadas para construção civil, móveis e outros. As fibras (Figura 1) são células peculiares às angiospermas que constituem de 20 a 80% do lenho sua porção no volume total e sua função é de sustentação e influenciam nas propriedades físicas e mecânicas da madeira (BURGER; RICHTER, 1991).

Figura 1 - Composição da fibra.



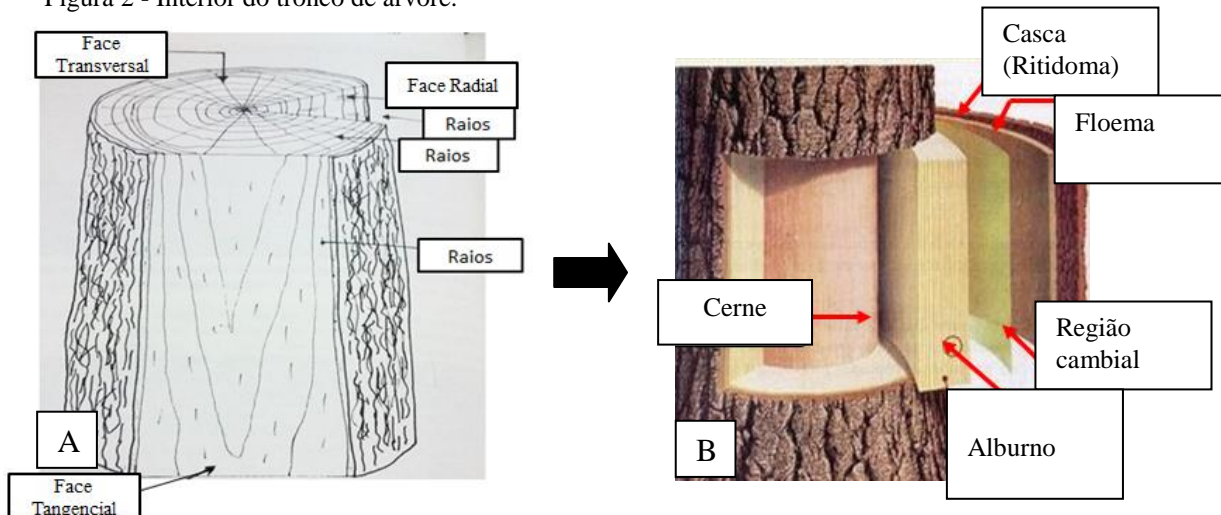
Fonte: Shimoyama, V.R. S (2005)

Canais secretores são espaços intercelulares que possui função de secretar resina, látex e gomas. Algumas espécies possuem células oleíferas e geralmente voláteis (MADY, 2000). Enquanto, as inclusões minerais: são células que possuem cristais e sílica de origem mineral. Espécies que possuem estas inclusões são difíceis de trabalhar devido ao atrito com as ferramentas (BURGER; RICHTER, 1991).

Madeiras com alta massa específica apresentam células com paredes espessas e rijas, fibras espessas, maior resistência a ataques de xilófagos e possui maior dureza e madeiras com baixa massa específica são mais leves, são susceptíveis a ataques de xilófagos e possuem baixa resistência mecânica (BURGER; RICHTER, 1991). A massa específica reflete a composição química e o volume de matéria lenhosa por peso e existe uma correlação entre o volume das fibras da massa específica e da resistência mecânica. O grau de resistência mecânica que se pode deduzir da massa específica é modificado pela estrutura histológica, que se manifesta no comprimento, espessura das membranas, quantidade de pontuações nas paredes e outros.

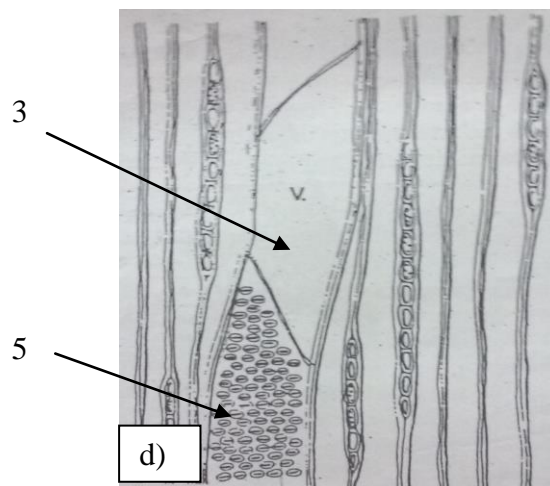
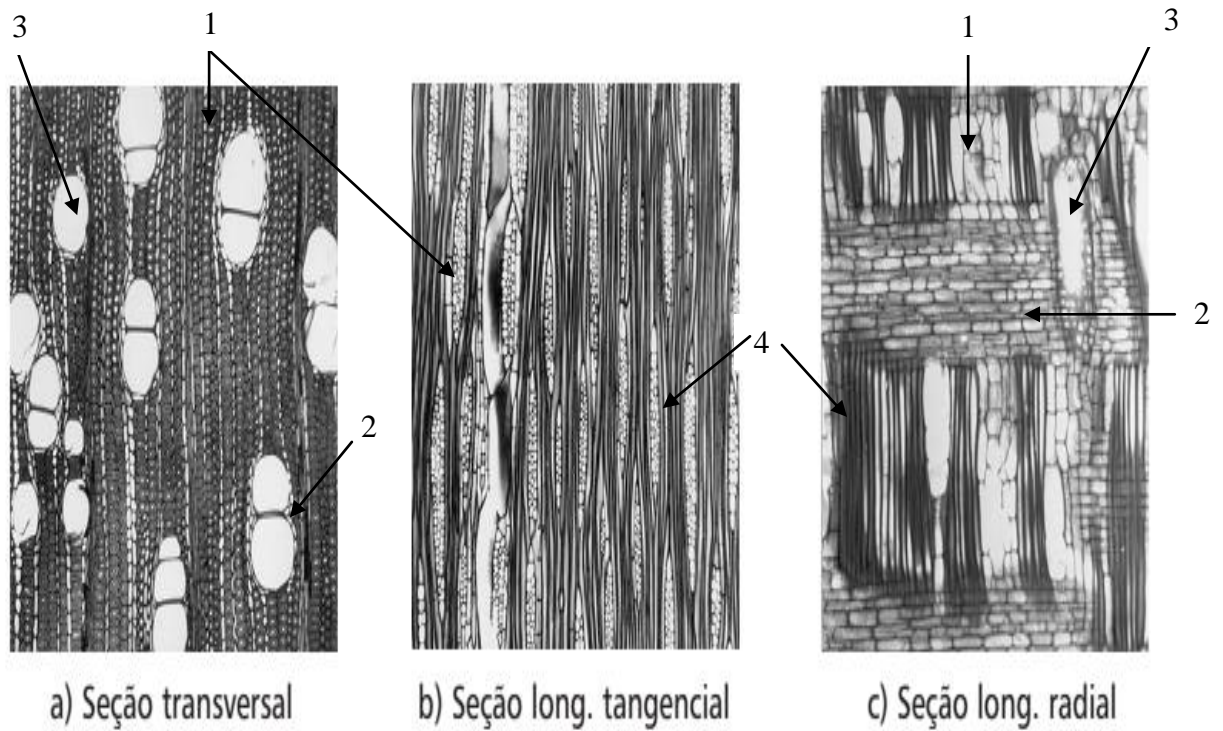
O cerne e alburno constituem a madeira e são fisiologicamente distintas (Figura 2-B). O alburno, local onde ocorre maior atividade fisiológica, caracteriza-se por possuir coloração clara, sendo menos resistente e mais susceptível ao ataque de microrganismos devido aos materiais nutritivos contidos. O cerne é a parte mais interna de uma tora de madeira geralmente mais resistente, mais compactada e menos susceptível ao ataque de microrganismos, apresentando maior durabilidade natural, apresenta cor escura devido à presença de taninos, resinas, gorduras, carboidratos e outras substâncias resultantes da transformação das reservas existentes nas células parenquimáticas do alburno (BURGER e RICHTER, 1991; MADY, 2000).

Figura 2 - Interior do tronco de árvore.



A. Faces da madeira. Modificado de Brown. W.H. 1988. B- Regiões do tronco. Modificado de <http://slideplayer.com.br/slide/5318530/>

Figura 3 - Planos anatômicos em microscopia



a),b),c) Microscopia dos planos anatômicos. Fonte: Coradin e Camargos (2002). A Estrutura Anatômica da Madeira e Princípios para a sua Identificação; d) Pontoações na face tangencial. Fonte: Burger e Richter (1991).

Legenda:

- 1-Parênquima axial
- 2- Parênquima radial
- 3-Vaso
- 4-Fibras
- 5- Pontoações

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e características da área

A pesquisa foi desenvolvida na área de manejo florestal da empresa Mil Madeiras Preciosas Ltda – Precious Woods Amazon - PWA. A sede da empresa certificada pelo FSC (*Forest Stewardship Council*), localizada a 45 km do município de Itacoatiara com as coordenadas 02°30'S 59°00'W e 03°00'S e 58°30'W e faz divisa com os municípios de Itacoatiara, Silves e Itapiranga.

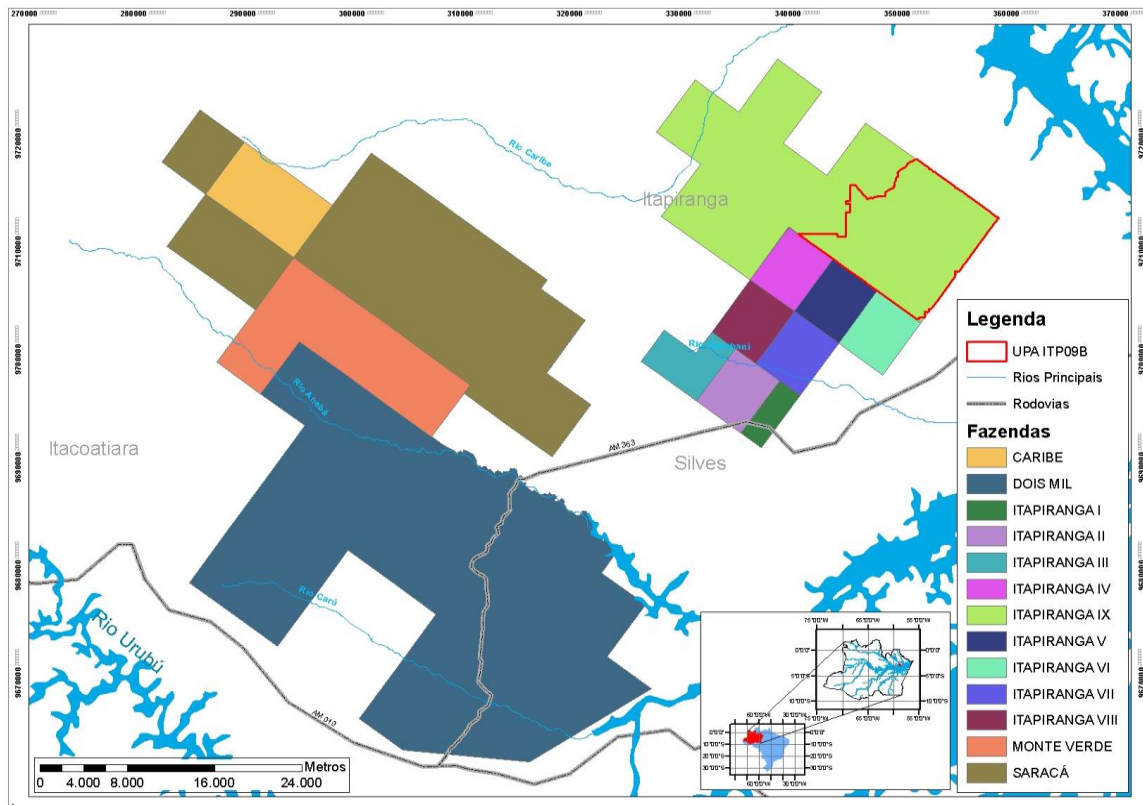
A área que abrange o plano de manejo florestal- PMFS é caracterizada pela formação de Floresta Ombrófila Densa, Floresta de Igapó e Campinarana. O clima na região está classificado, segundo Köppen-Geiger, pertencente ao Grupo A (Clima Tropical Chuvoso). Os solos da área estão classificados no grupo dos Latossolos Amarelos Distróficos e solos encontrados nos platôs apresentam-se argilosos, enquanto os das encostas são argilosos e recobertos por uma camada arenosa.

4.2 Histórico da Área de Estudo

O Plano de Manejo Florestal possui 07 unidades de Manejo Florestal, denominadas de Dois Mil, Fazenda Saracá, Fazenda Rio Caribe, Fazenda Monte Verde, Fazendas Itapirangas (ITP23) que compreende Itapiranga II e III, Fazendas Itapirangas (ITP14) que compreende Itapiranga I, IV, V, VI, VII, VIII e Fazendas Itapiranga (ITP 09) pertencentes aos municípios de Itacoatiara, Silves e Itapiranga no Estado do Amazonas.

A unidade de produção anual/UPA- UPA ITP 09-B possui uma área total de 13.014,31 hectares, localizada no município de Itapiranga e faz divisa com o município de Silves. É dividida em 107 unidades de campo (UC) com área de efetivo manejo de, aproximadamente, 100 hectares.

Figura 4 - Mapa da área de manejo florestal



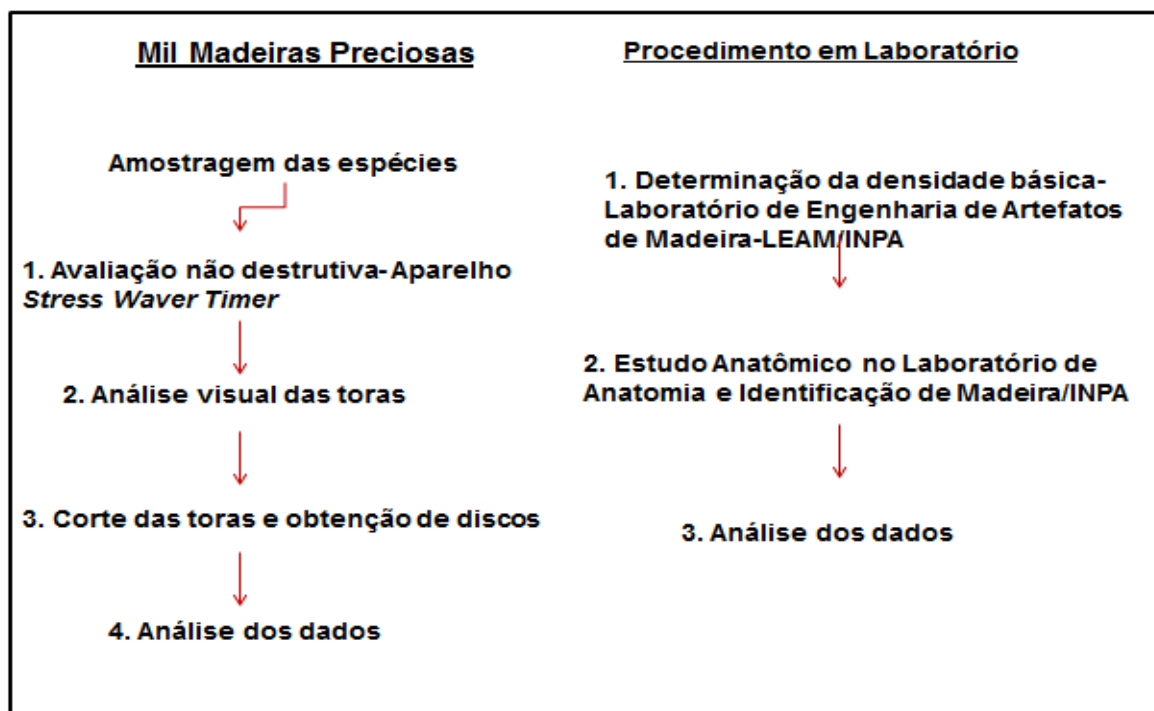
Fonte: POA/Mil Madeiras (2014).

4.3 Amostragem e Seleção das Espécies

A escolha das espécies comerciais para este estudo foi realizado a partir do maior número de indivíduos que constavam no mapa das árvores a serem exploradas com localizações próximas às estradas nas unidades de campo- UC com as identificações dos indivíduos de cada espécie por meio de código estabelecido no inventário florestal. Esse processo facilitou o rastreamento de cada indivíduo em virtude da logística e operacionalidade em campo para a realização dos testes não destrutivos, sendo 4 indivíduos da espécie cupiúba (*Goupia glabra* Aubl.) e 5 indivíduos de louro-preto (*Ocotea neesiana*).

Tem-se o conhecimento prévio das espécies deste trabalho por meio da literatura, o qual atende a norma COPANT 458, 1972a. que determina que para caracterizar uma espécie desconhecida é necessário retirar uma amostra de cerne e alborno para cada cinco árvores e quando houver o conhecimento prévio da espécie é necessária uma amostra a cada três árvores. O trabalho foi desenvolvido na área e manejo florestal com a avaliação não destrutiva e em laboratório, conforme amplificado na figura 5.

Figura 5 - Etapas desenvolvidas no estudo.



Fonte: Lira, J.N (2015)

4.3.1 Características gerais: *Goupia glabra* (Cupiúba)

Árvore com casca escamosa, marrom avermelhada. Cerne castanho-rosado, alburno bege-rosado, grã revessa/inclinada, textura média, cheiro/odor desagradável, brilho moderado. Ocorre em matas de terra-firme nos estados do Pará, Amazonas, Minas Gerais e Rondônia.

Madeira pesada, alta resistência ao ataque de organismo xilófago. Madeira moderadamente permeável às soluções preservantes. Por apresentar retratibilidade e resistência mecânica médias é indicada para construção civil: vigas, caibros, assoalhos, postes, pontes, embalagens pesadas, ripas e móveis comuns (LOUREIRO, 1979).

4.3.2 Características gerais: *Ocotea neesiana* (Louro preto)

Árvore com casca rugosa; cor castanho levemente amarelo. Cerne e alburno pouco distinto com cor castanho amarelado, grã direita, textura média, cheiro/odor imperceptível, brilho acentuado. Abrange todo o território brasileiro, com maior ocorrência de espécie na região amazônica.

Madeira moderadamente pesada e macia ao corte. Resistente ao ataque de organismo xilófago. Bastante permeável às soluções preservantes. Por apresentar propriedades mecânicas médias, ser de cor agradável e de boa trabalhabilidade é indicada para móveis de alta

classe e folhas faqueadas e decorativas. Indicada para construção civil: assoalhos, trelias, tabuas, venezianas e construção naval (CALVINO; CHIMELO, 1980; LOUREIRO, 1979).

4.4 Avaliação Não Destrutiva (Pré-exploração)

A primeira fase do trabalho consistiu na avaliação não destrutiva por método de emissão de ondas tensão com o *Stress Wave Timer* em árvores em pé e realizadas medições do diâmetro à altura do peito a 1,30 m do solo de todos os indivíduos selecionados com DAP ≥ 50 cm, conforme consta no quadro 1. Os maiores DAP's foram para os indivíduos da espécie *Goupia glabra* e menores para *Ocotea neesiana* e a maioria possuíam fustes retilíneos das duas espécies e não continham exsudação ao corte da casca.

Quadro 1 - Valores de DAP's de cada indivíduo.

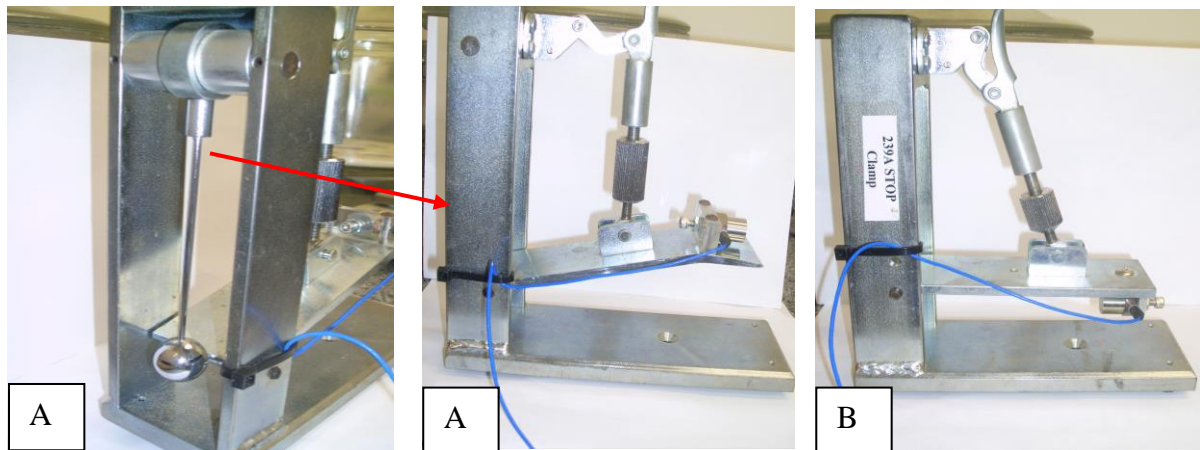
Espécie	Nº	DAP (cm)
<i>Goupia glabra</i>	1	67
<i>Goupia glabra</i>	2	70,5
<i>Goupia glabra</i>	3	61,7
<i>Goupia glabra</i>	4	73
<i>Ocotea neesiana</i>	5	53,3
<i>Ocotea neesiana</i>	6	56,3
<i>Ocotea neesiana</i>	7	57,5
<i>Ocotea neesiana</i>	8	54,7
<i>Ocotea neesiana</i>	9	75

Fonte: Lira, J.N (2015)

4.4.5 Aparelho *Stress Wave Timer*

O aparelho é constituído do 1º transdutor com pêndulo de impacto e o 2º transdutor (Figura 6) que são usados em avaliações de peças de madeira, laminados, tábuas e pranchões. Na figura 7 constam os sensores e o martelo que são utilizados nos testes em árvore em pé e toras e a caixa receptora com tela de cristal líquido que recebe o tempo de propagação da onda (Figura 8).

Figura 6 – A. 1º transdutor com pêndulo de impacto. B. 2º transdutor.



Fonte: Lira, J.N (2015)

Figura 7 - Martelo e sensores.



Fonte: Lira, J.N (2015)

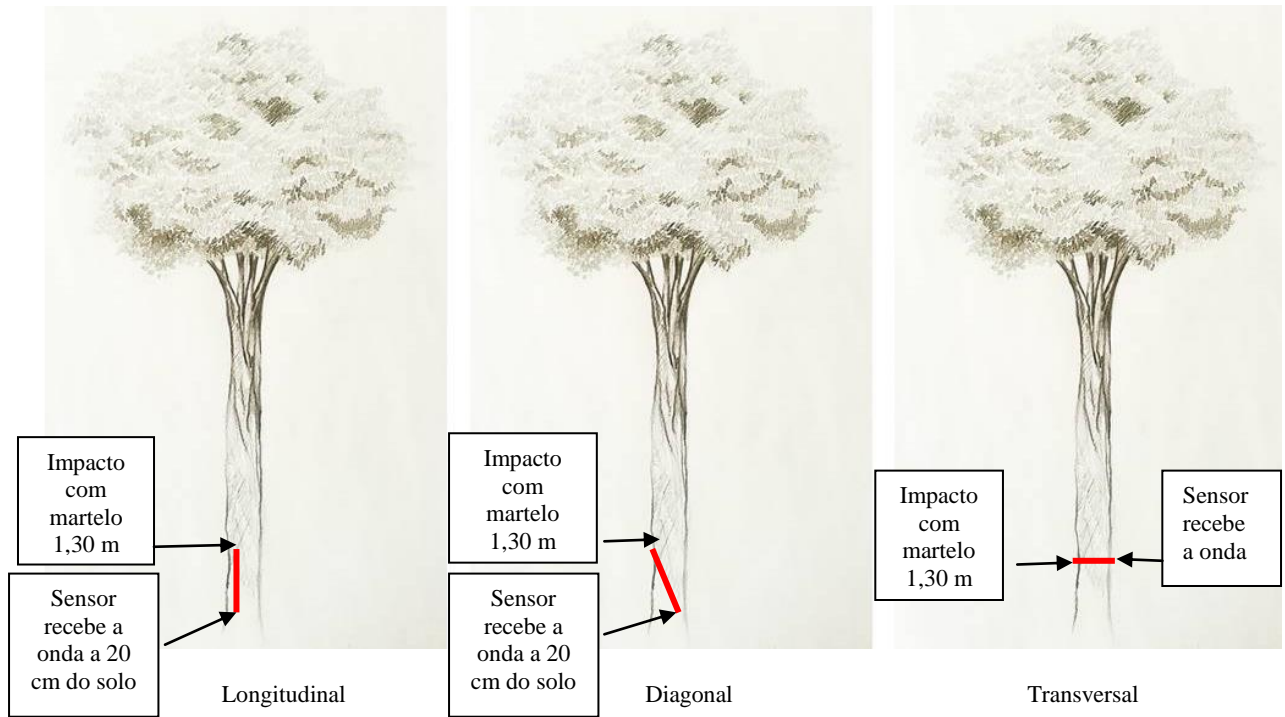
Figura 8 - Caixa receptora.



Fonte: Lira, J.N (2015)

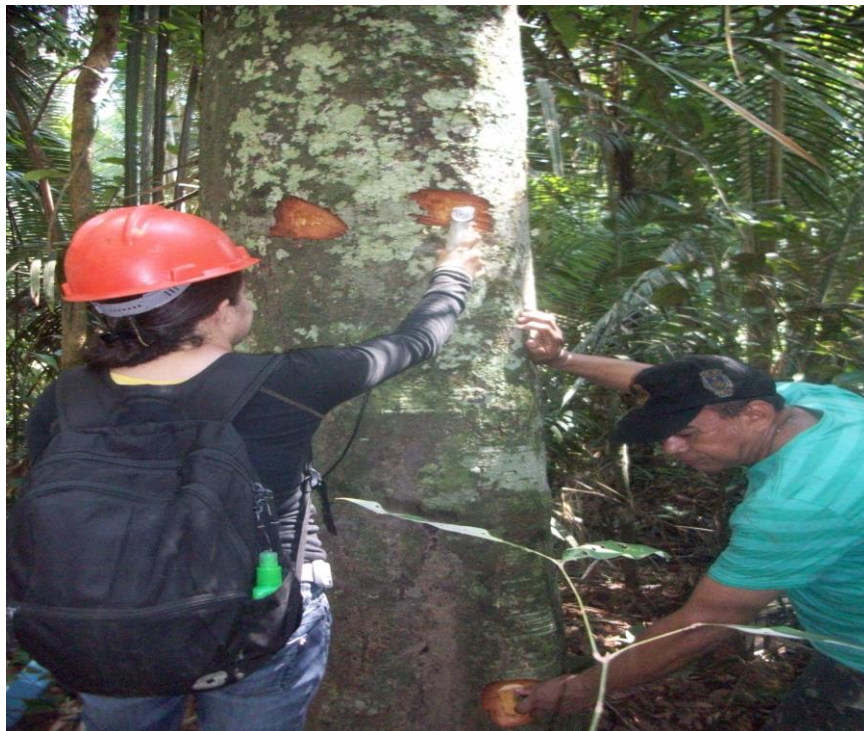
De cada árvore selecionada foram retiradas cascas do tronco com dimensões 3 cm x 3 cm para alocar o martelo e sensor a 1,30 m do solo e 20 cm da base diagonal e longitudinal e no sentido transversal (ou radial) apenas a 1,30 m do solo (Figuras 9,10,11 e 12). O processo decorreu no impacto com o martelo no fuste para emitir a onda de tensão para percorrer o material lenhoso, sendo recebida pelo sensor na outra extremidade do fuste que envia o tempo de propagação da onda para o receptor em microssegundos.

Figura 9 - Sentidos de leitura da propagação de onda em árvore em pé.



Fonte: Franco, A (2015)

Figura 10 - leitura da propagação de onda em árvore em pé no sentido longitudinal.



Fonte: Brasil, M.M. (2015).

Figura 11 - leitura da propagação de onda em árvore em pé no sentido diagonal.



Fonte: Brasil, M.M. (2015).

Figura 12 - leitura da propagação de onda em árvore em pé no sentido transversal.



Fonte: Brasil, M.M.(2015).

Com os dados obtidos do tempo de propagação da onda foram calculadas as velocidades de propagação da onda e o módulo de elasticidade dinâmico segundo as equações 1 e 2.

Equação 1- Velocidade de propagação da onda de tensão:

Com o tempo de propagação obtido pelo *Stress Wave* foi calculada a velocidade de propagação da onda (METRIGUARD, 1997) pela equação:

$$v_o = \frac{L}{t \times 10^{-6}} \quad (1)$$

Onde,

V_0 = velocidade de propagação da onda (cm/s)

L =distância percorrida pela onda (cm)

t =tempo de propagação (μs)

Equação 2- Módulo de elasticidade dinâmico

Com a obtenção da velocidade de propagação da onda de tensão percorrida e da densidade do material, foi calculado o módulo de elasticidade (METRIGUARD, 1997) pela equação:

$$MOEd = DBx v_o^2 x (1/g) \quad (2)$$

Onde,

$MOEd$ =módulo de elasticidade dinâmica (kgf/cm^2)

DB = densidade (g/cm^3)

V_0^2 =velocidade da onda longitudinal (cm/s)

g =aceleração da gravidade (980,4 cm/s)

4.5 Pinturas em Fuste nas Árvores em Pé

Após os ensaios não destrutivos, realizou-se uma pintura de tinta óleo cor vermelha em forma de uma faixa no fuste na altura do DAP em cada indivíduo selecionado para possibilitar o rastreamento da árvore pela equipe de corte da empresa, os quais efetuaram os cortes das árvores e de discos de 5 cm de espessura de cada tora na distância de 40 cm da base de cada indivíduo (Figuras 13 e 14).

Figura 13 - Pintura no fuste dos indivíduos para identificação da equipe de corte



Figura 14 - Corte da árvore e posterior análise visual e retirada do disco



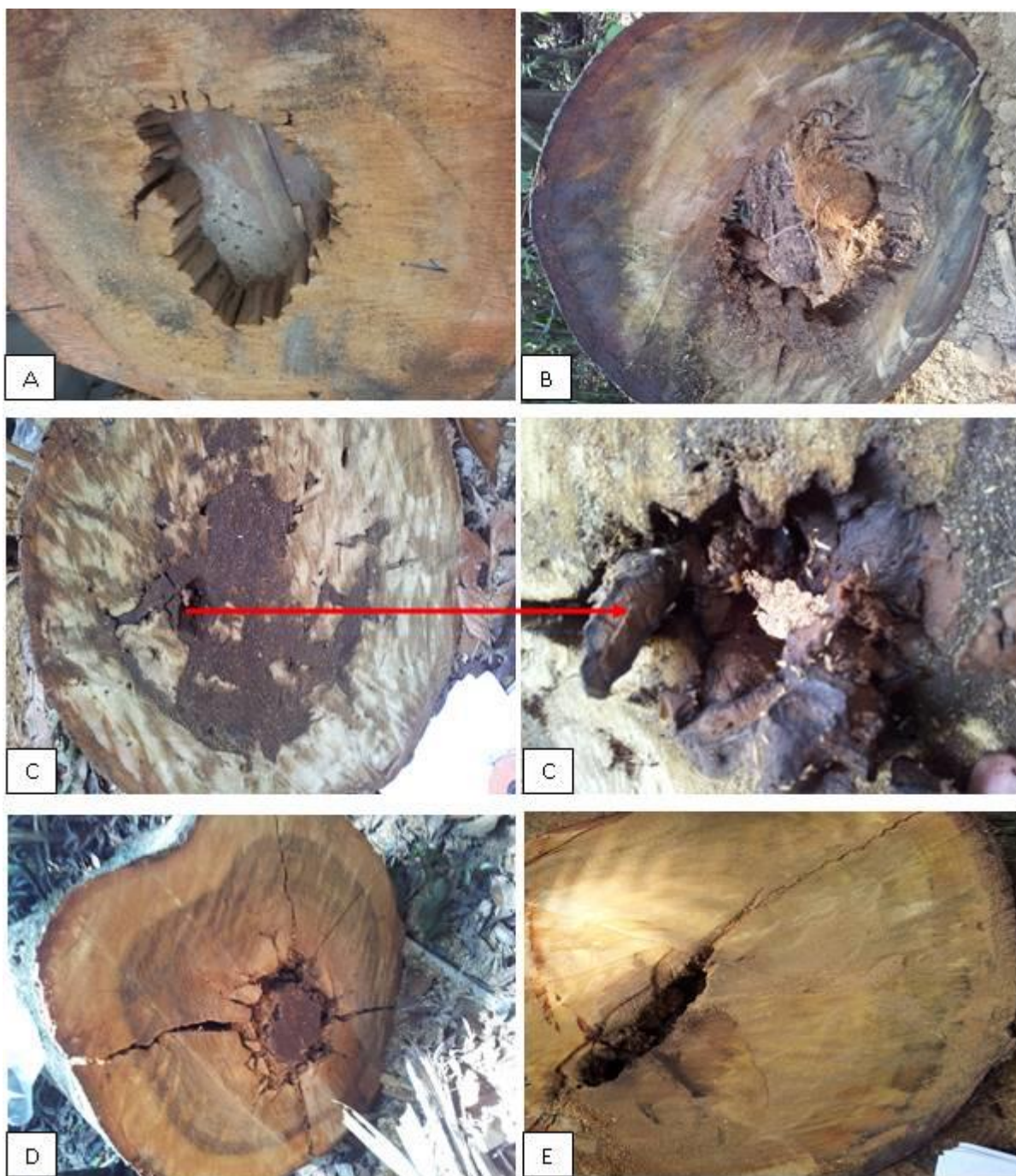
4.5 Análise Visual

Após o corte das árvores selecionadas, constatou-se que determinadas toras possuíam ocosidade nas suas extremidades (Figura 15), não sendo possível mensurar todo o comprimento do oco na tora devido as mesmas ainda serem encaminhadas ao pátio de toras na floresta sem traçamento, por isso foram feitas medidas da altura e largura do oco na extremidade da tora e realizadas duas medidas cruzadas para adquirir a média do diâmetro aproximado da tora, pois a tora foi cortada a 20 cm do solo, não podendo utilizar o DAP a 1,30 m. Com essas informações, foi calculado o percentual do oco.

Verificou-se se os indivíduos apresentavam cerne e alborno distintos ou indistintos. Após esse procedimento, efetuou-se o corte de discos de cada indivíduo e os mesmos foram

acondicionados em saco de rafia, para posterior determinação da densidade básica por método destrutivo e estudo anatômico. Os resultados obtidos da existência de oco pela análise visual foram comparados com os valores obtidos no método não destrutivo, para verificar se a ocosidade interferiu na propagação de ondas da árvore em pé.

Figura 15. Identificação de ocosidade nos indivíduos selecionados.

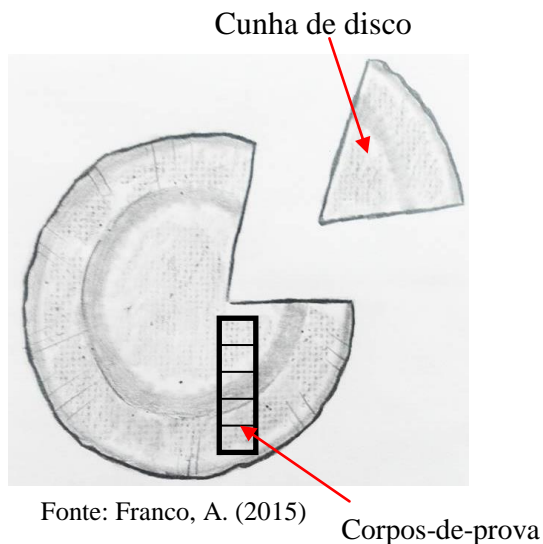


A- Indivíduo 1 de *Goupia glabra* do. B- Indivíduo 6 de *Ocotea nessiana*. C - Indivíduo 7 de *Ocotea nessiana*. D- Indivíduo 8 de *Ocotea nessiana*. E- Indivíduo 9 de *Ocotea nessiana*.
Fonte: Lira, J.N. 2015.

4.7 Procedimento em Laboratório

Na serraria do Laboratório de Engenharia de Artefatos de Madeira-LEAM do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA, foram cortados corpos-de-prova dos discos de dimensões 2 cm x 2 cm x 5 cm de todos os indivíduos selecionados, abrangendo a madeira do albarno e cerne no sentido radial para determinar a densidade básica e o corte de uma cunha de disco compreendendo a casca, cerne e albarno para estudo anatômico (Figura 16 e 17).

Figura 16 - Representação da retirada de amostras do disco na direção radial.



Fonte: Franco, A. (2015)

Corpos-de-prova

Figura 17 - Corte do discos em cunhas e corpos-de-prova.



Fonte: Nascimento, C.C. (2015)

4.7.1 Determinação da densidade básica

Os corpos de prova foram saturados e posteriormente, determinada a densidade básica pelo método de deslocamento de líquido com imersão em água com o corpo-de-prova fixado em um suporte. Em seguida, foi feita a secagem dos corpos de prova na estufa em temperatura a $\pm 105^{\circ}\text{C}$ até atingirem peso constante, para obter o peso seco (Figura 18). Com o peso seco e o volume verde foi calculada a densidade básica pela equação 3.

$$DB = \frac{\text{Peso seco}}{\text{Volume verde}} \text{ g/cm}^3 \quad (3)$$

Figura 18- Determinação da densidade básica



A-Saturação das amostras. B- Método do deslocamento de líquido do peso verde. C- Pesagem do peso seco.
Fonte: Lira, J.N. 2015.

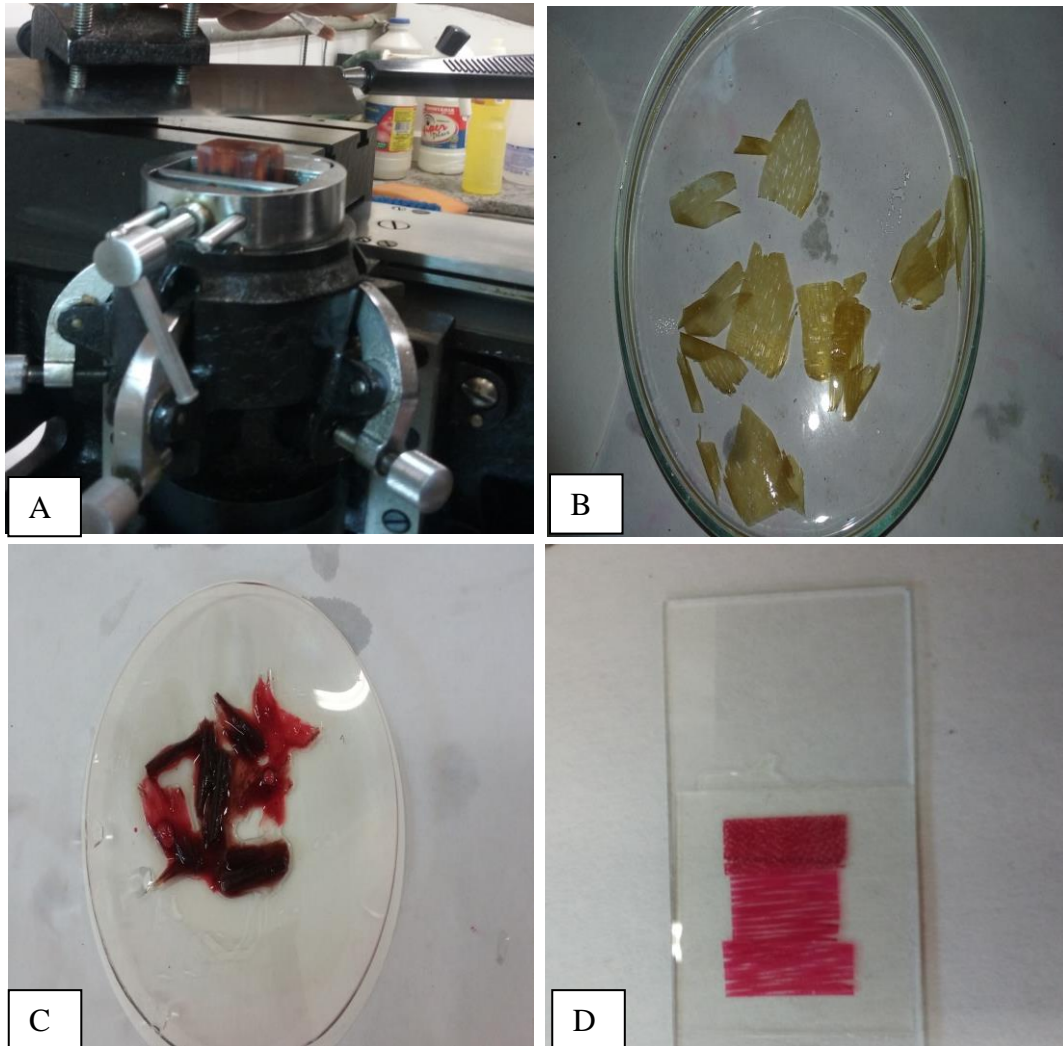
4.8 Estudo anatômico

De cada cunha de disco foram retiradas amostras do cerne e alburno separado da *G. glabra* e de todo o material lenhoso cerne/alburno da *O. neesiana* por ter essas regiões indistintas para a realização de corte histológico e maceração. Seguiram-se as recomendações em Normas de procedimentos em Estudos de Anatomia de Madeiras: I. Angiospermae e Gimnospermae II (IBAMA/DIRPED/LPF 1992) e Comissão Pan-americana de Normas Técnicas-COPANT (1973).

4.8.1 Corte Histológico

O material foi imerso em solução de glicerina e água destilada na proporção 1:1 para facilitar o átrito da amostra na navalha do micrótomo de precisão deslizante American Optical (Figura 19-A). Foram obtidos cortes histológicos nos sentido transversal, tangencial e radial (Figura 19-B). Os cortes foram alvejados com água sanitária e destilada (1:1), tratadas com corante safranina hidralcoólica (Figura 19-C) e preparadas as lâminas e lamínulas em permount (Figura 19-D).

Figura 19- Etapas do processo de corte histológico



A- Corte do corpo de prova no micrótomo. B- Cortes do corpo de prova feita no micrótomo. C - Cortes em corante safranina. D- Cortes histológicos em lâminas para leitura.
Fonte: Lira, J.N. 2015.

4.8.2 Maceração

Foram colocadas lascas finas do material coletado em frasco contendo solução macerante calculada para a composição: ácido acético (35%), peróxido de hidrogênio-H₂O₂ (26,6%) e água destilada-H₂O (8,4%). Soluções macerantes são usadas com a finalidade de dissolver a lamela média que une as células, desagregando-as e tornando possível a visualização das células separadamente, permitindo medições dos elementos celulares (MADY, 2007).

Posteriormente, o frasco foi levado à estufa com temperatura entre 50° C e 60° C por 48 horas. Após esse período foi lavado em água corrente (Tabela 20-A) submetido em

desidratação com série alcoólica de 50, 70, 96 e 100%, onde aplicou-se o corante safrina hidralcoólica entre 20 e 30 minutos (Figura 20-B). Foi retirado o excesso com série alcoólica de 50, 70, 96 e 100% e fixado com o xilol (Figura 20-C).

Com esse material em lâmina, foi realizada a dissociação dos elementos de fibras e vasos com o auxílio de um microscópio estereoscópio Carl Zeiss, mod.47, com objetivas de 2,5-6,3-16-40 e 100x (Figura 20-D). A mensuração foi realizada com projetor universal com a objetiva de 100x e microscópio. Os resultados são apresentados de acordo com os padrões da norma técnica utilizada.

Figura 25 - Etapas do processo de maceração.



A- Lavagem do material em água corrente. B- Material sem corante em tubos e em corante em placa de vidro. C- Material com corante a ser colocado em lâmina para leitura anatômica. D- Leitura do elementos anatômicos no microscópio estereoscópio.

Fonte: Fonte: Lira, J.N. 2015.

A descrição microscópica foi realizada com 25 leituras para cada variável obtida do método de maceração e de corte histológico, considerando o material cerne/alburno para *O. neesiana* por conter essas regiões indistintas e cerne e alburno separado para *G. glabra*, conforme registrado no Quadro 2. A descrição macroscópica foi efetivada com a identificação do tipo de grã, parênquima, raio e registrada a macrofotografia: do corpo de prova (a) e microfotografias dos cortes histológicos em lâminas.

Quadro 2 - Variáveis anatômicas a serem obtidas.

Elementos anatômicos		Plano de observação
Vasos	Diâmetro tangencial do vaso (DTV)	(Corte histológico)
	Comprimento do vaso (CV)	(Maceração)
	Espessura da parede do vaso (EPV)	(Corte histológico)
	Diâmetro/Pontoações Intervasculares (PI)	(Corte histológico)
Fibras	Comprimento da fibra (CF)	(Maceração)
	Diâmetro tangencial da fibra (DTF)	(Maceração)
	Espessura do Lúmen (EL)	(Maceração)
	Espessura da parede da fibra (EPF)	(Maceração)

4.9 Análise dos dados

4.9.1 Variáveis obtidas

Quadro 3 - Resumo das variáveis obtidas em árvore em pé (avaliação na floresta) e disco (avaliação em laboratório).

<u>Avaliação na floresta</u>	Tempo (μs) Árvore em pé	Velocidade de propagação da onda (cm/s) Árvore em pé	Moed (kgf/cm^2) Árvore em pé	Mensuração do oco (cm)
	L/R/T*	L/R/T*	L/R/T*	-
<u>Laboratório</u>	Vasos	Fibras	Pontoações	Densidade básica (g/cm^3)
	Frequência	Comprimento	Intervasculares	
	Diâmetro tangencial	Diâmetro	Raio-vasculares	
	Comprimento dos elementos	Espessura do lúmen	-	
	Espessura da parede	Espessura da parede	-	

*Legenda: L- longitudinal/D- diagonal/T- transversal

4.9.2 Testes estatísticos

Os testes foram realizados no programa estatístico **R (R Development Core Team)** para atingir cada objetivo:

- Agrupar as árvores em função das propriedades obtidas por meio da emissão de ondas de tensão (aparelho stress wave) para formação de classes de qualidade.

Realizou-se a estatística descritiva da velocidade de propagação da onda e módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) com a obtenção da média, desvio padrão, coeficiente de variação, mínimo e máximo. A análise de variância ANOVA tendo os sentidos como tratamentos com a propriedade MOEd para cada espécie a um nível de significância de 5% ($p < 0,05$) e aplicado o teste de *Tukey* na comparação de médias quando F for significativo (Quadro 4).

Quadro 4 - Resumo do delineamento da ANOVA.

Espécies	Propriedade	Sentidos	N
<i>Goupia glabra</i>	MOEd	Longitudinal	3
		Diagonal	
		Transversal	
<i>Ocotea neesiana</i>	MOEd	Longitudinal	3
		Diagonal	
		Transversal	

O agrupamento foi realizado por meio do PCA- Análise de Componentes Principais, por propriedades não destrutivas da árvore a partir da velocidade e MOEd.

-Analisar as influências das características anatômicas com a emissão de ondas de tensão.

Realizou-se a estatística descritiva dos elementos de vaso e fibra e densidade básica considerando todo o material lenhoso do disco das duas espécies e para o material cerne e albarno separado somente da *G. glabra* (Quadro 5).

Quadro 5 - Resumo da análise descritiva para as duas espécies.

Espécies	Média	(S)	CV (%)	Mínimo	Máximo
<i>Goupia glabra</i>	Densidade básica e elementos de vaso e fibra de todo material lenhoso do disco (cerne/alburno)				
	Densidade básica e elementos de vaso e fibra do material lenhoso do disco do cerne e alburno separado				
<i>Ocotea neesiana</i>	Densidade básica e elementos de vaso e fibra de todo material lenhoso do disco (cerne/alburno)				

Foi aplicado o teste t a um nível de significância de $p < 0,05$ entre as medias do cerne e alburno da *G. glabra* devido os mesmos serem distintos para observar o comportamento da densidade básica nessas regiões (Quadro 6).

Quadro 6 - Resumo do delineamento do teste t da *Goupia glabra*.

Espécies	Teste t
<i>Goupia glabra</i>	Densidade básica do cerne e alburno

- Avaliar as variações para criar faixas de qualidade por espécie.

Foram criadas faixas de variações do módulo de elasticidade dinâmico com os valores dos mínimos e máximos obtidos na estatística descritiva para árvore em pé por espécie com todos os indivíduos ocados e não ocados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises desta etapa foram compostas com a avaliação não destrutiva por emissão de ondas de tensão na árvore em pé, influência da ocosidade, densidade básica e anatomia da madeira.

5.1 Emissão de ondas de tensão na árvore em pé

Realizou-se a análise descritiva para verificar a variabilidade os valores da velocidade e MOEd obtidas com as leituras nos sentidos longitudinal, diagonal e transversal por espécie (Tabela 1). Verificou-se que para as variações das médias da

velocidade e MOEd entre as espécies e o intervalo entre o mínimo e máximo apresentaram maiores variações em relação ao transversal. Para visualização ilustrativa, no Apêndice A do item 8 e figura 29, consta as variações das médias das leituras em box plot da velocidade e MOEd.

Tabela 1 - Análise descritiva no sentido longitudinal (L), Diagonal (D) e Transversal (T) da velocidade de propagação da onda (cm/s) e módulo de elasticidade dinâmico- MOEd (kg/cm^2) das espécies *Goupia glabra* e *Ocotea neesiana*.

Variáveis	Espécies	Sentidos	Média	Desvio Padrão (S)	Coefficiente de variação (%)	Mínimo	Máximo
Velocidade	<i>Goupia glabra</i>	L	48.992	12.609	25,74	39.040	67.237
		D	48.159	16.690	34,66	24.946	64.737
		T	30.635	15.011	49	13.743	49.995
	<i>Ocotea neesiana</i>	L	38.382	8.126	21,17	26.251	46.424
		D	36.459	12.375	33,94	23.104	51.164
		T	18.557	3.528	19,01	14.058	22.825
MOEd	<i>Goupia glabra</i>	L	2.006	1.055	52,6	1.348	3.567
		D	2.157	1.159	53,76	478	1.423
		T	971	976	100,49	153	2.380
	<i>Ocotea neesiana</i>	L	992	395	39,8	430	1.423
		D	923	573	62,14	337	1.580
		T	239	102,5	42,88	128,6	209,61

Com a leitura transversal foi possível verificar um padrão de variação, o que pode ser observado no intervalo entre o mínimo e máximo da velocidade de 13.743 cm/s a 49.995 cm/s e MOEd de 153 kg/cm^2 a 2.380 kg/cm^2 para *Goupia glabra*, velocidade de 14.05 cm/s a 22.825 cm/s e MOEd 128,6 kg/cm^2 a 209,61 kg/cm^2 para *Ocotea neesiana*. Esse padrão de variação encontrado para o sentido transversal acarretaram em características ideais para a realização das leituras de propagação da onda em árvore em pé com as espécies estudadas e por isso as faixas de classes de qualidade dessas variações, para esse sentido, serão consideradas neste trabalho.

As maiores variações das médias para *G. glabra* da velocidade e MOEd nas leituras podem ser explicadas individualmente, em que o indivíduo 1 apresentou maior velocidade e MOEd entre os demais e o indivíduo 4 continha maior DAP, proporcionando maior conteúdo lenhoso para a onda percorrer, contribuindo mais na variação (Tabela 1). Para *O. neesiana* o indivíduo 5 apresentou maior velocidade e MOEd entre os demais, contribuindo mais nas variações (Tabela 1).

De forma geral, detectou-se que quanto maior a velocidade maior é o MOEd para *G. glabra* (Figura 21) e quanto menor a velocidade menor é o MOEd para *O. neesiana* (Figura 22). As variabilidades encontradas neste trabalho provavelmente podem estar relacionadas a fatores como presença de oco, material de cerne e alburno indistintos ou não, sendo regiões diferentes em sua complexidade anatômica, densidade básica e anatomia.

Figura 21 - Relação da velocidade com o MOEd da *Goupia glabra*.

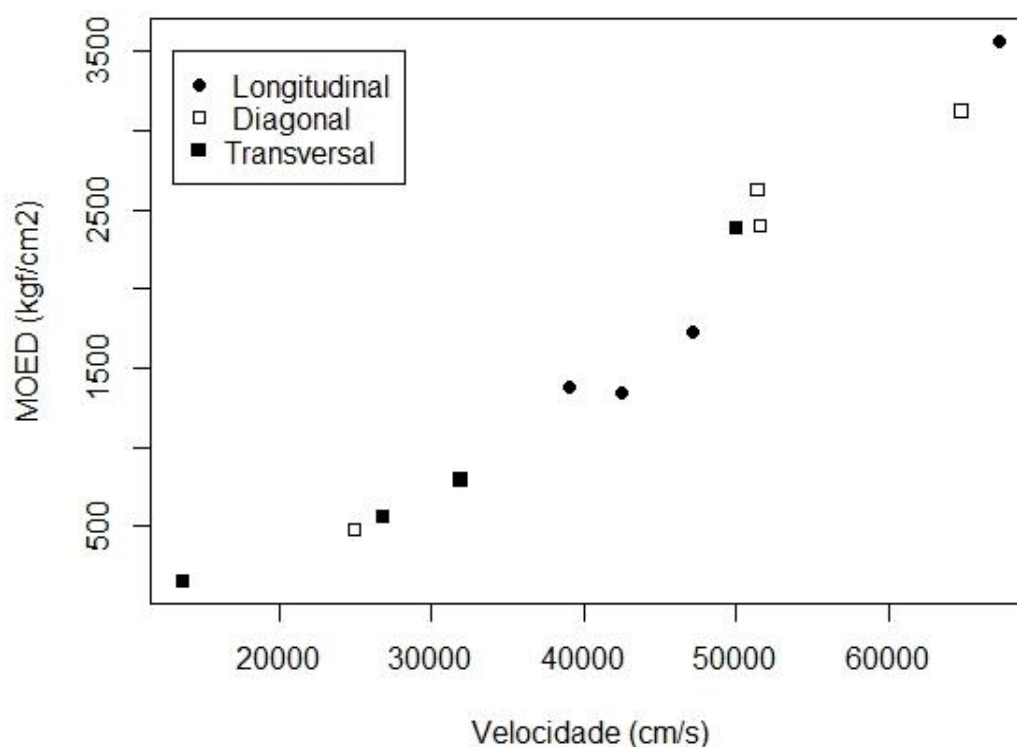
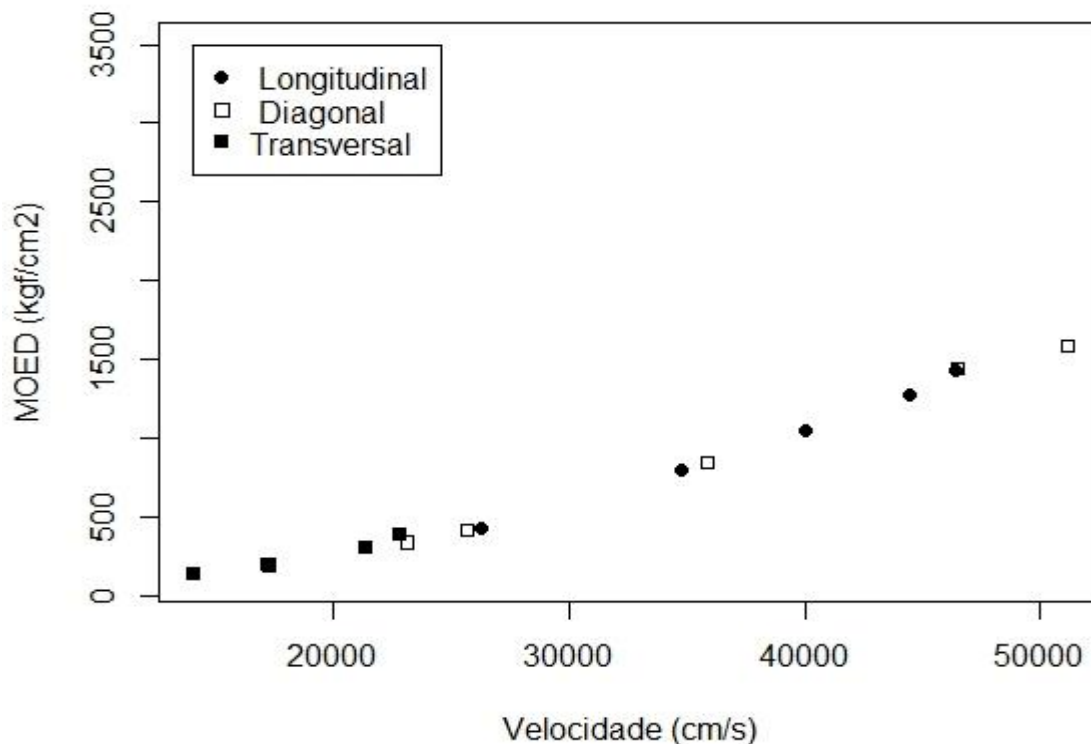


Figura 22 - Relação da velocidade com o MOEd da *Ocotea neesiana*.



Os estudos de avaliação não destrutiva são mais relacionados à madeira serrada e toras do que com árvores em pé. As árvores em florestas tropicais possuem um desenvolvimento e arquitetura de forma heterogênea atribuídas às características das espécies, locais e idades, por isso mostra-se importante a realização de estudos que permitam conhecer essa variabilidade para melhor manejá-la (Nascimento, 1993).

Com estudos relacionados à emissão de ondas de tensão nas árvores em pé, Castelo (2007) relata que no sentido longitudinal e transversal são inferiores aos valores obtidos nas toras, sendo as barreiras para propagação do som maiores na árvore em pé, devido à complexidade da estrutura interna de uma árvore, ocasionando assim esses parâmetros.

Medeiros (2013) estudando 11 espécies de madeiras da Amazônia por meio de emissão de ondas de tensão, indicou que o sentido diagonal foi o que apresentou resultados mais consistentes no uso deste método. Entretanto afirma que somente a velocidade não é capaz de estimar o estado de sanidade de árvores em pé na floresta. Sugere-se que outras pesquisas sejam desenvolvidas para o ajuste deste método em árvores em pé,

com a formação de grupos de espécies para que se possa determinar o comportamento da velocidade de propagação de ondas no interior do lenho da árvore.

As variações encontradas na tabela 1 são menores ao obtido por Shimoyama (2005) que encontrou valor médio do MOEd variando de 11.372 kgf/cm² a 16.274 kgf/cm² em testes com árvore em pé de *Pinus taeda* com o uso de emissão de ondas de tensão. Estudou a correlação moderada da velocidade avaliada na árvore em pé e nas toras indicando que para esta propriedade pode ser estimada nas toras e correlação entre toras secas e úmidas, sugerindo que o teste pode ser realizado nas tábuas úmidas, não requerendo secagem da madeira.

Puehringer (2002) no uso de emissão de ondas de tensão em árvores *Pinus taeda*, obteve valores de velocidade para leituras no sentido horizontal 368,69 m/s, diagonal com 205,98 m/s e no vertical 279,03 m/s e para MOEd encontrou no horizontal 733,56 kgf/cm², no diagonal 226,60 kgf/cm² e no vertical 438,47 kgf/cm².

Por meio da ANOVA com os dados obtidos do MOEd com os sentidos de leitura de propagação da onda, obteve-se para *G. glabra* o valor de “p” não significativo, o que mostra que não houve influência nos tipos de leitura (tratamentos), conforme consta na tabela 2 e figura 23. O valor de “p” para *O. neesiana* foi significativo (Tabela 2), havendo efeito dos tratamentos e detectado entre eles que o transversal que se diferenciou, observado com o teste tukey (Figura 24).

Tabela 2 - Resultados obtidos na ANOVA com o MOEd em função dos sentidos de leitura de propagação da onda (longitudinal, diagonal e transversal) da espécie *Goupia glabra* e *Ocotea neesiana*.

Espécies	FV	GL	F	Valor de p
<i>Goupia glabra</i>	Sentidos	2	1.466 ns	0.281 ns
	Resíduo	9		
<i>Ocotea neesiana</i>	Sentidos	2	5.247*	0.0231*
	Resíduo	12		

*Significativo ao nível de 0,05.

ns: não significativo

Figura 23 - Representação do MOEd em função dos sentidos com valor de **p** não significativo para *Goupia glabra*.

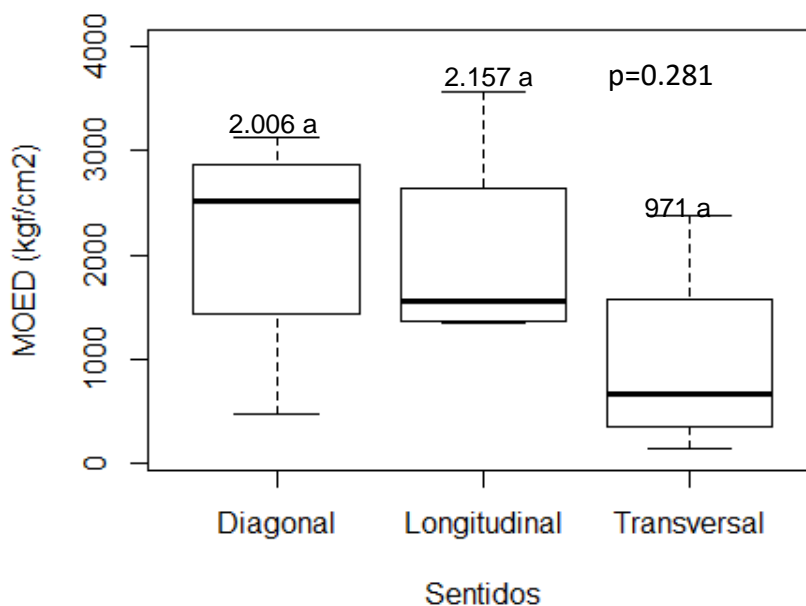
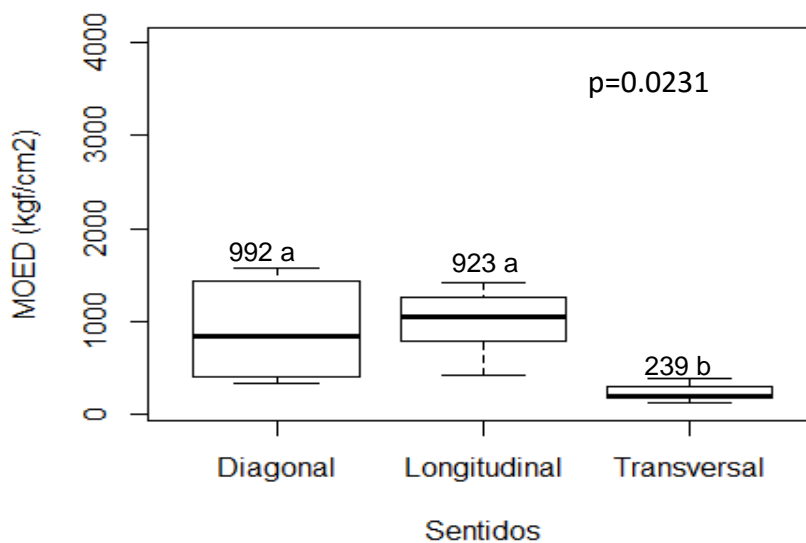


Figura 24 - Representação das médias do MOEd em função dos sentidos com valor de “p” significativo com o teste *Tukey* para *Ocotea neesiana*



Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 0,05 de significância pelo teste *Tukey*.

Após o corte das árvores selecionadas, realizou-se a identificação visual do estado físico das toras, o que permitiu realizar uma classificação de níveis de ocosidade na madeira, sendo que o percentual de oco foi determinado para se ter uma visualização geral dessa característica na tora (Quadro 7). Identificou-se cerne e alborno para verificar se eram distintos ou não e também foram incluídas informações das decisões

de corte ou rejeição pós corte repassadas pela empresa após a exploração (Quadro 7). Esses dados foram armazenados para análise dos resultados, pois poderiam interferir na leitura do tempo de propagação das ondas.

Quadro 7 - Níveis de ocosidade na madeira de cada indivíduo das espécies *Goupia glabra* e *Ocotea neesiana*.

Indivíduo	Níveis de ocosidade	Cerne e albarno	Diâmetro aproximado	Oco (%)	Destino
<i>Goupia glabra</i> 1	Oco no cerne	Distintos	43,4	25,57	Cortada
<i>Goupia glabra</i> 2	Sem oco	Distintos	-	-	Cortada
<i>Goupia glabra</i> 3	Sem oco	Distintos	-	-	Cortada
<i>Goupia glabra</i> 4	Sem oco	Distintos	-	-	Cortada
<i>Ocotea neesiana</i> 5	Sem oco	Indistintos	-	-	Cortada
<i>Ocotea neesiana</i> 6	Oco no cerne	Indistintos	50,85	55,55	rejeitada pós corte
<i>Ocotea neesiana</i> 7	Ocosidade total	Indistintos	54,95	69,15	rejeitada pós corte
<i>Ocotea neesiana</i> 8	Oco no cerne	Indistintos	51,5	21,5	rejeitada pós corte
<i>Ocotea neesiana</i> 9	Faixa de oco do cerne a casca	Indistintos	66,5	21,05	Cortada

De acordo com a análise visual, do total de 4 indivíduos da espécie *G. glabra*, somente 1 indivíduo estava com oco e apresentou o menor percentual de oco, por isso todos os indivíduos desta espécie foram cortados, além de conterem cerne e albarno distintos (Figura 15-A e Quadro 7).

A *O. neesiana* possuía apenas 1 indivíduo sem oco e 4 indivíduos com ocosidade em diferentes estágios e todos apresentaram cerne e albarno indistintos (Quadro 7). Esta espécie possui cerne e albarno indistinto e pesquisas desenvolvidas por Nascimento (2000) com espécies florestais da Amazônia tem revelado que grande porcentagem destas possui cerne e albarno indistinto.

O indivíduo da *O. neesiana* 7 teve ocosidade total na madeira, compreendendo o maior percentual de oco obtido, sendo rejeitada pós corte (Figura 15-C Quadro 7) seguido dos indivíduos 6 e 8 que pela a ocosidade no cerne foram rejeitadas pós corte (Figura 15-B e D) e o indivíduo 9 apresentou apenas uma faixa de oco do cerne a casca, o que não impossibilitou seu corte (Figura 15 -E Quadro 7).

Vale ressaltar que determinados ocos não desqualificam as toras para o desdobro em serraria, levando-se em consideração a decisão de corte ou rejeição pós corte pela empresa e o volume do oco e os indivíduos rejeitados para o corte pode cumprir o papel de conservação com função ecológica como produtoras de semente entre outros.

Danielli (2013) realizou um estudo sobre modelagem do rendimento no desdobro de toras de *Manilkara* spp (Maçaranduba) constatou que o rendimento médio em madeira serrada no desdobro de toras foi de 30,1 % e não apresentou diferenças estatísticas entre as classes diamétricas estudadas e entre as toras ocadas e não-ocadas, pois durante o processo de desdobro do cerne da maioria das toras não-ocadas não pôde ser aproveitada devido a trincas e rachaduras e explana que a tomada de decisão quanto ao aproveitamento de árvores ocadas deve considerar os aspectos ecológicos e econômicos envolvidos.

Com essas amostragens foi possível verificar as variabilidades encontradas para as duas espécies, tendo parâmetros diferentes de análises, mostrando as diversas situações que se pode encontrar na floresta, sendo que esta parte do trabalho tem como ênfase apenas a influência da ocosidade na emissão de ondas de tensão, conforme as leituras em aparelho *Stress Wave Timer*.

Estudou-se apenas o comportamento por indivíduos ocos e não ocos para verificar possível formação de grupos considerando a velocidade e o MOEd com os 3 sentidos de leitura por meio da aplicação da PCA, com a finalidade de caracterizar por espécie com a emissão de ondas de tensão, o teste foi feito de forma separada. A PCA realiza um ordenamento e reduz a dimensionalidade de dado (GOTELII; ELLISON, 2011). Os indivíduos mais distantes do eixo zero estão mais dispersos e contribuem mais na variação enquanto que os indivíduos mais próximos um do outro formando agrupamentos estão mais relacionados (SHIMOYAMA, 2005).

Cada ponto significa um indivíduo, os mesmos indivíduos constam para cada leitura (Figura 25 e 26). Os resultados para *G. glabra* indicaram que o único indivíduo oco e os 3 indivíduos não ocos se mantiveram dispersos entre si não havendo agrupamentos, tanto no longitudinal quanto no diagonal. No sentido transversal ocorreu a separação do único indivíduo oco em relação aos demais, estando alocados em quadrantes diferentes (Figura 25).

Para *O. neesiana* os indivíduos do diagonal e longitudinal também ficaram dispersos e o transversal se diferenciou agrupando os 4 indivíduos ocos do único não oco, evidenciando que as leituras do sentido trasnversal proporcionou melhor resposta e

conseqüentemente, a formação de agrupamentos (Figura 26). Assim, observou-se que a aplicação da PCA pôde responder o agrupamento dos indivíduos ocos e não ocos, aceitando a hipótese do estudo.

Figura 25 - Agrupamento dos indivíduos com oco e não oco por sentido de leitura de *Goupia glabra*.

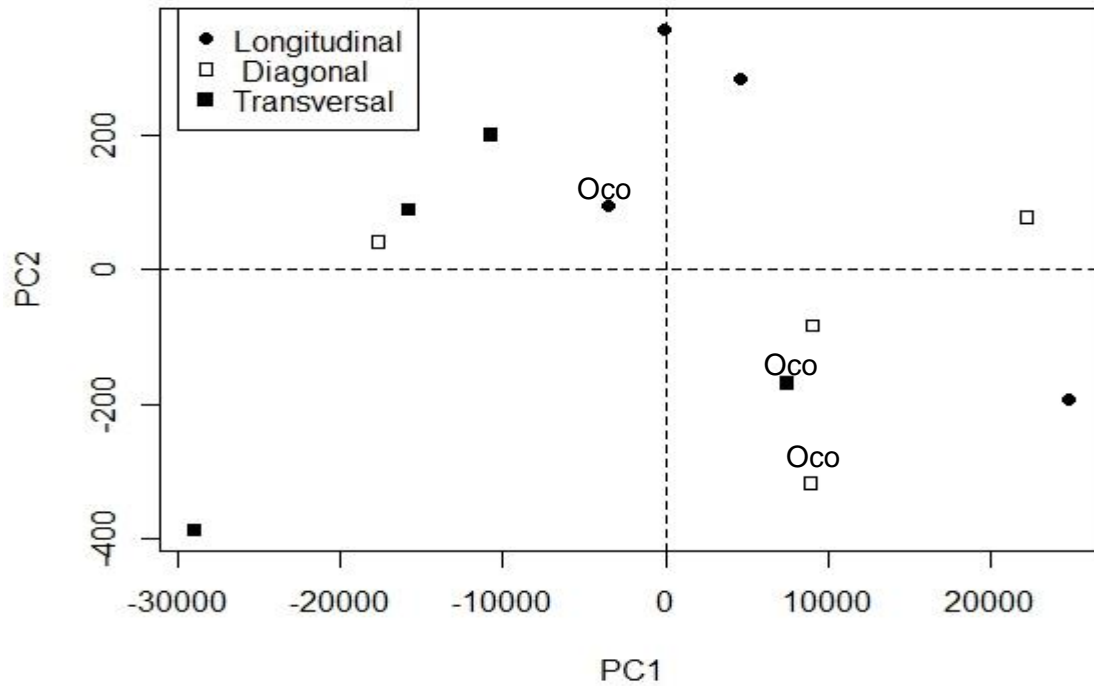
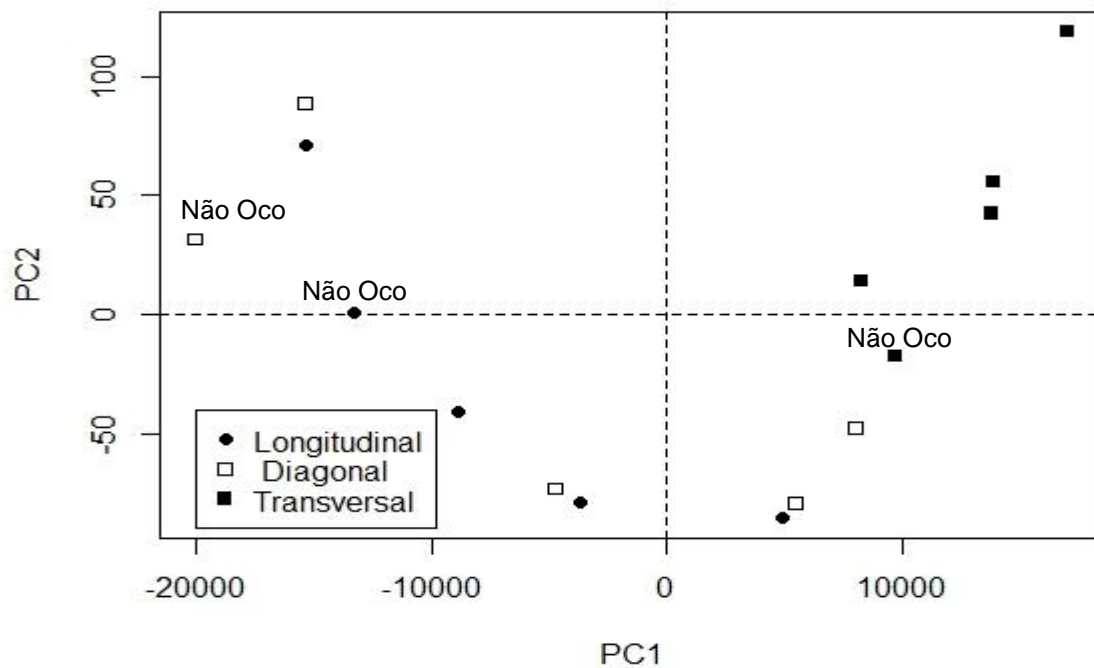


Figura 26 - Agrupamento dos indivíduos com oco e não oco por sentido de leitura de *Ocotea neesiana*.



como madeira juvenil, nó e camadas de baixa massa específica como o alburno (CASTELO, 2007).

Menor velocidade e menor o MOEd verificado para *O. neesiana* foi em decorrência da ocosidade presente nos indivíduos, o que contribuiu em maior tempo para a onda se propagar na madeira desviando dessas áreas, conforme observado na (Tabela 1). A ocosidade na madeira promove menor resistência da parte atacada, além de promover áreas descontínuas nos lenhos das árvores, afetando a resistência mecânica da madeira por haver a biodeterioração (CORASSA et al., 2014).

A ocosidade ocasiona maior tempo de propagação da onda, conseqüentemente, menor será a velocidade e o MOEd. Trabalhos desenvolvidos com o método não destrutivo não tiveram esse enfoque, apenas relatam discontinuidades como nós na madeira. Cruz et al. (2009) descrevem que a velocidade de propagação das ondas de tensão na madeira variou em função da área de nós nas tábuas, da densidade da madeira e da orientação anatômica das tábuas. Shimoyama (2005) observou que os nós, caracterizados por áreas descontínuas, aumentaram o tempo e reduziram a velocidade das ondas.

Pesquisando a emissão de ondas de tensão em madeira de pisos da espécie *Couratari guianensis* (Tauari) Lira, Nascimento e De Paula (2012) encontraram densidade aparente de $0,73 \text{ g/cm}^3$, a velocidade decorreu de uma variação mínima de 340.000 cm/s e máximo de 480.000 cm/s e o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) variou de 100 a 160 kgf/cm^2 e esses resultados estão dentro do intervalo de variação do módulo de elasticidade- MOE, obtido por método destrutivo de espécies amazônicas na faixa de 72 kgf/cm^2 a 191 kgf/cm^2 , conforme reportado na literatura. Observou que o tempo de propagação da onda variou de forma mais acentuada nas amostras com alburno e cerne, nó e com ataques de organismos xilófagos.

De acordo com figura 23, o valor de “p” 0,281 encontrado do MOEd para os sentidos de leituras da *G. glabra* possivelmente podem ser decorrentes da não ocosidade na maioria dos indivíduos, não influenciando de forma evidente a propagação da onda. Apesar disso, o sentido transversal para *G. glabra* pode ser utilizado para o ensaio por ocorrer uma padronização da leitura conforme evidenciado na análise descritiva da tabela 1 e figura 29 do apêndice A. Para *O. neesiana*, com “p” 0,0231, possivelmente a detecção do oco no sentido transversal fez com que essa leitura se diferenciasse dos demais, conforme figura 24.

O conhecimento da presença de ocosidade pode representar os parâmetros que a empresa pode possuir em relação à variabilidade de qualidade das espécies a serem exploradas devido a diversidade de espécies, sendo importante a realização de um inventário de qualidade tecnológico por método não destrutivo, por meio de uma avaliação do material com esta técnica para poder selecionar e classificar quanto à qualidade de árvores em pé com sua análise interna a serem exploradas. Assim, poder-se-á ter um conhecimento prévio da qualidade das espécies que foram selecionadas para exploração, podendo ser obtido durante o inventário florestal e que servirá como base para o manejo das espécies.

Poderá contribuir no conhecimento se árvores possuem características de qualidade considerando o MOEd para ser exploradas detectando indivíduos que podem estar ocos ou não por meio do inventário de qualidade tecnológica auxiliando no melhor planejamento. Assim, a obtenção dessa qualidade pode influenciar no aproveitamento e rendimento da matéria-prima, verificando se existe a necessidade de corte da árvore a ser explorada, dependendo das tomadas de decisões da empresa. Esses fatores podem prover critérios e métodos confiáveis que possam fornecer informações mais precisas sobre o estado dos indivíduos avaliados (Rolo et al., 2013).

5.2 Análise da densidade básica

Após a exploração obteve-se os discos de madeira para analisar a estrutura interna de cada indivíduo estudado em campo com a determinação da densidade básica e variáveis anatômicas no sentido radial (transversal).

Na densidade básica ocorreram maiores variações entre os indivíduos da *G.glabra* entre o mínimo $0,68 \text{ g/cm}^3$ e máximo $1,05 \text{ g/cm}^3$, sendo que o indivíduo 1 conteve o maior coeficiente de variação de 10,71% (Tabela 3). Para *O. neesiana* o indivíduo 5 apresentou maior coeficiente de variação de 8,14% e maior variação entre o mínimo $0,50 \text{ g/cm}^3$ e máximo $0,69 \text{ g/cm}^3$. De forma geral, a variação foi de média a alta densidade para *G.glabra* e *O. neesiana* com variação de $0,78 \text{ g/cm}^3$ a $0,62 \text{ g/cm}^3$ respectivamente (tabela 3).

Tabela 3 - Análise descritiva da densidade básica da *Goupia glabra* e *Ocotea neesiana*.

Espécies	Média	(S)	CV (%)	Mínimo	Máximo
<i>Goupia glabra</i> 1	0,87	0,07	10,71	0,71	1,05
<i>Goupia glabra</i> 2	0,77	0,03	4,25	0,71	0,82
<i>Goupia glabra</i> 3	0,75	0,04	5,22	0,7	0,85
<i>Goupia glabra</i> 4	0,74	0,03	4,02	0,68	0,81
<i>Ocotea neesiana</i> 5	0,59	0,05	8,14	0,5	0,69
<i>Ocotea neesiana</i> 6	0,59	0,02	4,11	0,55	0,62
<i>Ocotea neesiana</i> 7	0,64	0,04	5,62	0,6	0,71
<i>Ocotea neesiana</i> 8	0,64	0,04	5,59	0,58	0,69
<i>Ocotea neesiana</i> 9	0,62	0,03	5,3	0,57	0,67
<i>Goupia glabra</i> (por espécie)	0,78	0,07	9,61	0,68	1,05
<i>Ocotea neesiana</i> (por espécie)	0,62	0,04	6,89	0,5	0,71

A variabilidade da densidade básica encontrada em cada indivíduo de espécies era esperada em razão da estrutura intrínseca da madeira (Tabela 3). É correlacionada com todas as propriedades mecânicas e possui variação no sentido longitudinal e radial, e essas variações podem ocorrer entre diferentes espécies, em uma mesma espécie e em madeiras de uma mesma árvore (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968).

Nascimento (1993) estudou a variabilidade da densidade básica e as propriedades mecânicas de madeiras da Amazônia e reporta que os coeficientes de variações da densidade básica variaram de um local a outro, indicando que os extrativos podem contribuir para essas variações, além de outros fatores. A densidade básica é usada como indicadora de qualidade, possuindo boas relações com as propriedades mecânicas.

Analisando a variabilidade densidade básica do cerne e alborno de *G. glabra* (Tabela 4) verificou-se que o cerne do indivíduo 1 obteve maior média com $0,91 \text{ g/cm}^3$ e coeficiente de variação com 8,69%. De forma geral, observou-se que as médias para o alborno e cerne foram $0,75 \text{ g/cm}^3$ e $0,79 \text{ g/cm}^3$, respectivamente e os valores entre o mínimo e máximo também foram próximos entre os indivíduos das duas regiões.

Tabela 4. Análise descritiva da densidade básica do alburno e cerne separados para *Goupia glabra*.

Espécies	Alburno					Cerne				
	Média	(S)	(CV)	Mínimo	Máximo	Média	(S)	(CV)	Mínimo	Máximo
<i>Goupia glabra</i> 1	0,78	0,06	8,54	0,71	0,87	0,91	0,07	8,69	0,79	1,05
<i>Goupia glabra</i> 2	0,75	0,03	4,63	0,71	0,80	0,77	0,03	4,17	0,71	0,82
<i>Goupia glabra</i> 3	0,76	0,04	6,25	0,69	0,82	0,74	0,03	4,13	0,71	0,84
<i>Goupia glabra</i> 4	0,72	0,03	4,36	0,67	0,77	0,75	0,02	3,1	0,72	0,8
<i>Goupia glabra</i> (por espécie)	0,75	0,04	6,10	0,67	0,87	0,79	0,08	10,5	0,71	1,05

Tabela 5. Teste t do alburno e cerne da *Goupia glabra*.

Espécie	Material	Teste t	
		t	Valor de p
<i>Goupia glabra</i>	Cerne e Alburno	-1,99	0,05072

Observou-se que não houve diferença pelo teste “t” nas regiões do alburno e cerne de *G.glabra* (Tabela 5) demonstrando que a onda percorreu um mesmo material de alta densidade tanto no alburno quanto o cerne. Nascimento (2000) encontrou densidade básica de *Scleronema micranthum* (cardeiro) semelhante a madeira retirada do alburno da espécie *Brosimum rubescens* (pau rainha) de $0,58\text{g/cm}^3$ comprovando sua utilização em outros produtos, evidenciando que o alburno pode apresentar propriedades tecnológicas semelhantes ao cerne, sendo imprescindível o estudo desse potencial. Lira e Nascimento (2009) verificaram que a densidade básica de 3 espécies de madeiras amazônicas do alburno possui semelhança a determinadas madeiras do cerne comercializadas na cidade Manaus.

Para o cálculo do módulo de elasticidade dinâmico foi usado a densidade básica concernente a cada indivíduo com as amostras contendo cerne e alburno, pois não foi realizado o teste não destrutivo em tora nessas regiões. A *G. glabra* continha apenas 1 indivíduo com oco e tem alta densidade básica e devido a diferença do cerne e alburno a passagem da onda pôde ter sido dificultada com essas barreiras, o que pode ter colaborado para maiores velocidades e MOE. A *O.neesiana* apresentou ocosidade na maioria dos indivíduos estudados e baixa densidade, nos quais podem ter contribuído de forma mais evidente na menor velocidade e menor MOEd.

Madeiras que apresentam alta massa específica geralmente possuem maiores velocidades (BUCUR, 2006). Avaliando a emissão de ondas em árvores em pé de *Pinus Shimoyama* (2005) explanou que madeiras com maior densidade, ou seja, maior massa por volume possui menor quantidade de espaço vazio, que promove maior velocidade de propagação das ondas de tensão em um tempo menor em dado percurso.

Entretanto, Testoni et al. (2009) encontraram para *Plathymenia reticulata* maior densidade e menor a velocidade de propagação do som. Esses aspectos reportados na literatura podem depender de várias características como a estrutura da madeira e a saúde interna da árvore.

IWAKIRI et al. (2013) detectaram que os coeficientes de correlação indicaram que a velocidade afetou muito mais o MOEd do que a massa específica, indicando a existência de outro fator, como a velocidade, originada pela razão entre distância percorrida pela onda e o tempo necessário para esta onda completar o seu percurso e que a orientação dos elementos celulares da madeira e ocorrência de pequenos nós desviam a passagem da onda e aumentam o tempo de propagação da onda, afetando em maior magnitude a velocidade.

Cunha e Matos (2010) estabeleceram estimativa do módulo de elasticidade de vigas laminadas coladas a partir do módulo de elasticidade das lamelas (laminados) com o aparelho *Stress Wave Timer* e verificaram que as variações dos valores de módulo de elasticidade dinâmico das lamelas foram afetadas diretamente pela amplitude dos valores de massa específica e de velocidade de propagação da onda.

5.3 Mensuração dos elementos anatômicos

Esta etapa foi realizada para obter a variabilidade anatômica para caracterizar cada espécie e relacionar com a emissão de ondas. Efetivou-se a caracterização anatômica macroscópica e microscópica para cada espécie. A densidade básica da madeira é dependente do comprimento das fibras, espessura da parede das fibras e diâmetro dos vasos (SANTOS et al., 2011). Por isso, foram as variáveis principais estudadas nessa etapa.

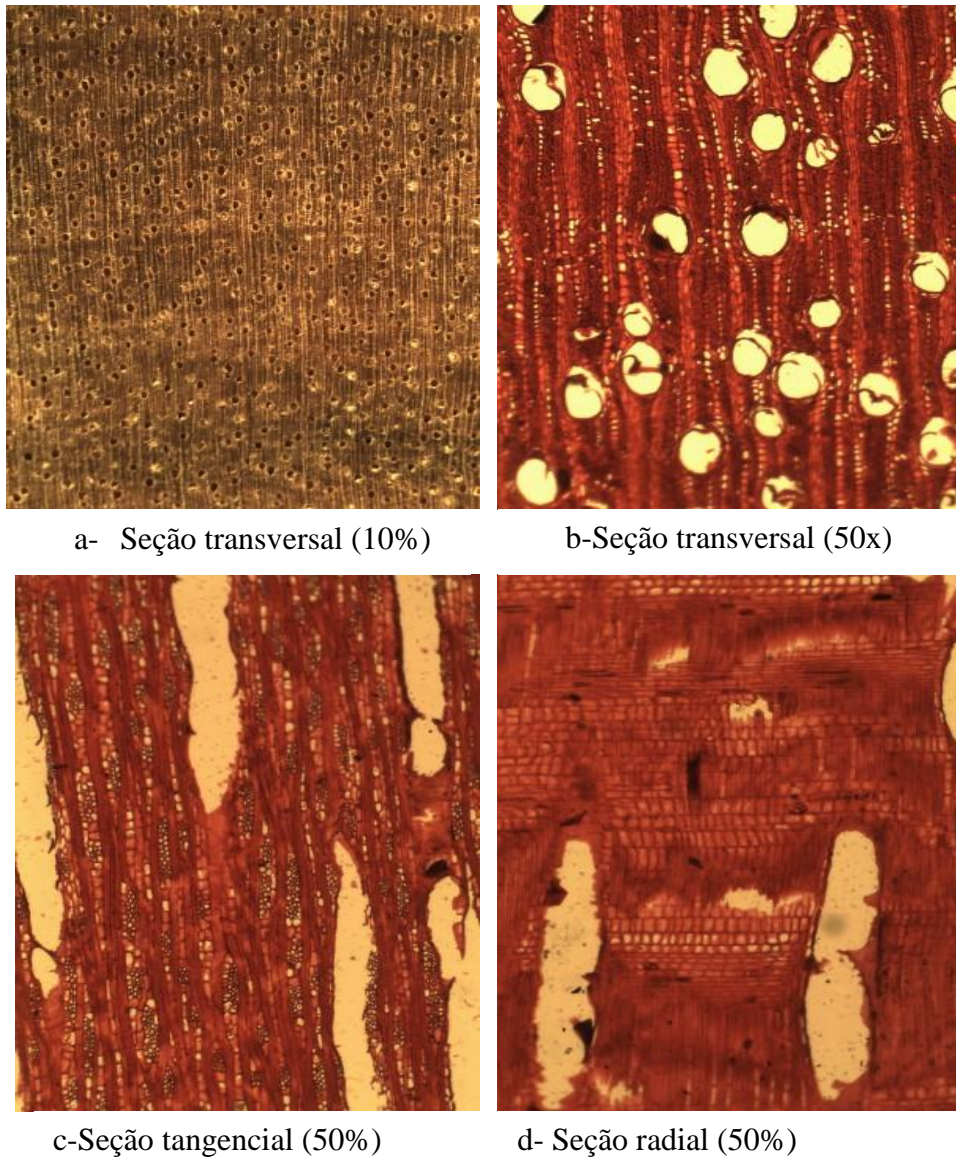
5.3.1.1 Descrição macroscópica da *Goupia glabra*

Parênquima apotraqueal difuso e paratraqueal escasso. Poros ocasionalmente múltiplos, predominantemente solitários com distribuição difusa. Raios visíveis sob lente de 10x; não estratificado, baixo, retilíneo, conteúdo óleo/resina.

5.3.1.2 Descrição microscópica da *Goupia glabra*

De acordo com a análise anatômica, obtiveram-se as seguintes características: **Vasos**-de forma arredondada, dispostos em arranjo tangencial, agrupados de forma predominantemente solitários e ocasionalmente múltiplos de dois e placas de perfuração do tipo escalariforme. **Fibras** do tipo libriforme múltiplas. **Pontoações intervasculares**-alternas, poligonais e semi-areoladas. Pontoações raio-vasculares do mesmo tipo, forma e tamanho das intervasculares.

Figura 27. Macrofotografia e microfotografia do corpo de prova da *Goupia glabra*



Macrofotografia: do corpo de prova (a); microfotografias dos cortes histológicos em lâminas (b,c,d).

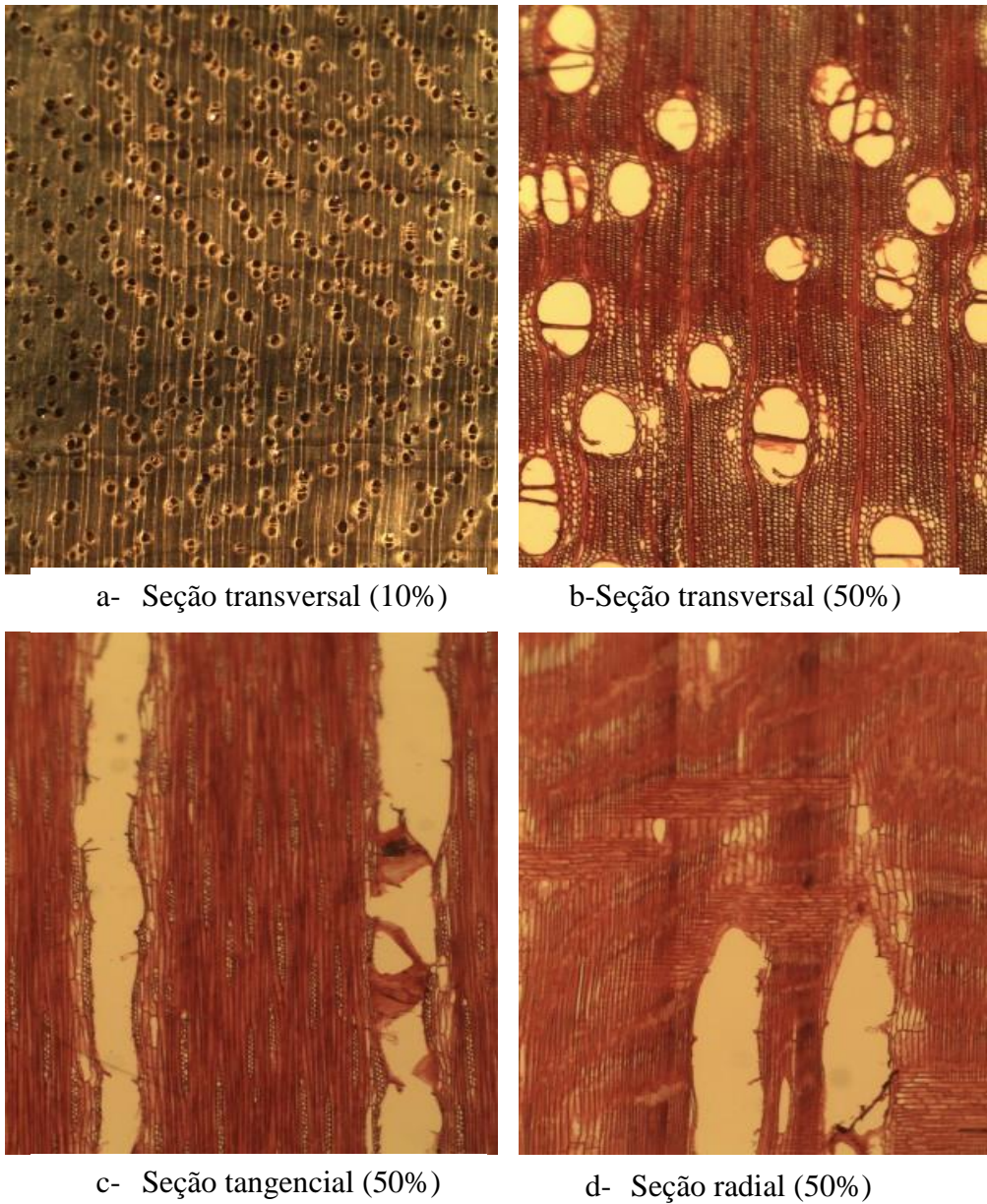
5.3.1.3 Descrição macroscópica da *Ocotea neesiana*

Parênquima vasicêntrico escasso. Poros predominantemente solitários e múltiplos de 2-4. Raios pouco notados a olho nu no topo e na face tangencial.

5.3.1.4 Descrição microscópica da *Ocotea neesiana*

Vasos- de forma arredondada, dispostos em arranjo tangencial, agrupados de forma e placas de perfuração do tipo simples. **Fibras-** do tipo libriforme múltiplas. **Pontoações intervasculares-** alternas, arredondadas e inclusa. Pontoações raio-vasculares do mesmo tipo, forma e tamanho das intervasculares.

Figura 28. Macrofotografia e microfotografia do corpo de prova da *Ocotea neesiana*



Macrofotografia: do corpo de prova (a); microfotografias dos cortes histológicos em lâminas (b,c,d).

5.4 Análise das variáveis anatômicas na relação com a variabilidade de emissão de ondas de tensão

As variabilidades das propriedades físicas e mecânicas encontradas nos sentido radial e longitudinal em determinadas madeiras da Amazônia está relacionada com a quantidade do cerne, alburno e dos elementos fibrosos (Nascimento, 2000). O estudo da variação individual dentro da árvore no sentido radial ou axial é importante na utilização tecnológica da madeira (Santos et al., 2011).

Em relação às variabilidades da velocidade da onda em toras, a propagação é maior na direção longitudinal devido à orientação das células ao longo deste eixo, como fibras contínuas, proporcionando um caminho ininterrupto para as ondas. Na direção radial, ele teria que atravessar camadas de lignina e hemicelulose para alcançar a celulose, o que resulta na atenuação das ondas devido às regiões amorfas e não elásticos destes compostos, além de as fibras não serem contínuas (OLIVEIRA; CAMPOS; SALES, 2002).

Esses fatores corroboram com os resultados provenientes das análises descritivas no item 5.1 em que a velocidade e MOEd foram menores no sentido transversal para as duas espécies em razão da disposição dos elementos anatômicos apresentando maiores barreiras na propagação da onda, sendo que no sentido longitudinal ocorreu maior velocidade devido a um caminho contínuo, assim como o diagonal, no transversal a onda não atravessa as regiões de cerne e alburno e camadas de lignina e celulose aumentando as variações.

Para obter o padrão de variabilidade da estrutura anatômica das duas espécies foi feito a análise descritiva. Na tabela 6 constam as análises descritivas dos elementos anatômicos do alburno e cerne da espécie *G. glabra* no sentido radial (transversal) por serem distintos. Para os elementos de vaso, observou-se variações das médias e coeficientes de variação próximos nessas duas regiões.

Tabela 6. Análise descritiva dos elementos anatômicos do albarno e cerne da espécie *Goupia glabra*.

Elementos anatômicos	Albarno					Cerne					
	Média (µm)	Mínimo (µm)	Máximo (µm)	S (µm)	CV (%)	Média (µm)	Mínimo (µm)	Máximo (µm)	S (µm)	CV (%)	
Vasos	DTV	180,11	95,8	239,52	30,04	21,41	165,74	119,76	215,56	17,78	13,78
	CV	894,84	550,89	1293,4	158,42	22,03	936,04	598,8	1437,12	168,7	23,28
	EPV	6,46	4,61	9,2	0,83	18,1	6,46	4,61	7,69	0,88	16,83
	PI	6,7	4,61	10,7	1,52	27,99	6,39	4,61	9,23	1,31	25,66
Fibras	CF	1411,3	862,27	1796,4	169,15	15,25	1513,76	1173,6	1844,3	200,4	14,68
	DTF	25,35	16,92	35,38	3,65	17,35	23,69	16,92	30,76	1,91	11,55
	EL	7,32	3,07	10,76	1,42	24,46	6,76	3,07	10,76	1,4	27,05
	EPF	9,78	7,69	13,84	1,2	15,64	9,41	7,69	10,76	0,86	11,85

Na tabela 6 destacam-se maiores variações do diâmetro e comprimento do vaso, com o cerne apresentando menor diâmetro aumentando no alburno. O comprimento foi maior no cerne e menor no alburno. As espessuras dos vasos e pontoações são praticamente iguais entre as duas regiões. Quanto às fibras, o comprimento da fibra foi maior no cerne aumentando no alburno. O diâmetro da fibra, as espessuras do lúmen e espessuras das fibras foram próximas nas duas regiões. Esses aspectos demonstram que a onda percorreu um mesmo material anatômico entre o alburno e cerne devido a baixa variação entre as variáveis anatômicas.

Em um estudo da variação dos elementos celulares de *Astronium lecointei* Ducke (Muiracatiara) de cerne e alburno distintos no sentido medula-câmbio nas regiões radiais da árvore a 1,30 m do solo, próximo à medula, nas regiões intermediárias e próximas ao câmbio, por isso essas delimitações. Verificaram uma estabilidade dos valores no diâmetro dos vasos e o comprimento das fibras, nas posições intermediária e próxima ao câmbio, podendo ser considerados como formação de madeira adulta a partir dessa posição no lenho (MELO et al., 2013).

Cury e Filho (2011) estudaram a variação anatômica de cinco espécies usadas em construção civil e concluíram que as espécies do estudo podem ser separadas pela anatomia do lenho. Santos et al. (2011) explanam que muitos autores reportam que as fibras e vasos são usados em alguns casos para explicar a separação da madeira juvenil da adulta. E diversos autores concluíram que o comprimento das fibras foi o melhor parâmetro para separar a madeira juvenil da adulta. Os elementos de vasos devido a sua dimensão e às paredes delgadas são estruturas fracas e sua abundância, dimensão e distribuição influem na resistência mecânica.

Considerando a análise descritiva do cerne da *G.glabra*, verificou-se fibras longas, com paredes mais espessas e baixa espessura do lúmen que conferem características de alta resistência mecânica e influi na massa específica. Madeira com maior densidade implica em maior velocidade de propagação do som (OLIVEIRA et al., 2001; TESTONI et al., 2009). Santos et al. (2011) informa que a densidade básica da madeira é altamente dependente do comprimento das fibras e espessura da parede das fibras.

O material cerne e alburno indistintos da *O.neesiana* possui comportamento semelhante do cerne e alburno separado da *G.glabra*, pois a *O.neesiana* apresentou desvio padrão homogêneos entre as variáveis, ou seja, a onda percorreu um mesmo material anatômico independente do cerne e alburno não distintos (Tabela 7).

Para *O. neesiana* identificou-se vasos de diâmetros médios grande espessura do lúmen e baixa espessura da fibra, como também baixo comprimento da fibra e diâmetro (Tabela 7). Shimoyama (2005) reporta que o diâmetro do lúmen considerado vazio e como área descontínua reduziu a velocidade da onda, fato verificado na menor velocidade da onda e maior espessura do lúmen da *O. neesiana*. Testoni et al. (2009) relatam em seus estudos que o lúmen das fibras foi o que mais contribuiu para as variações na densidade e o aumento do lume implicou em diminuição da densidade pois não contribuem para a massa específica, o que se obtém menores densidades.

Tabela 7. Análise descritiva dos elementos anatômicos da *Ocotea neesiana*.

Elementos anatômicos		<i>Ocotea neesiana</i>				
		Média (μm)	Mínimo (μm)	Máximo (μm)	S (μm)	CV (%)
Vasos	DTV	168,6	71,8	263,47	0,21	36
	CV	684,4	287,4	1640	0,32	219,3
	EPV	6,7	4,6	10,7	0,2	1,37
	PI	11,8	7,6	29,2	0,2	2,45
Fibras	CF	1353,9	598,8	1868,2	0,16	229,3
	DTF	17,95	10,7	32,3	0,19	3,47
	EL	10	4,6	16,9	0,26	2,6
	EPF	5,48	3,07	7,6	0,19	1,05

Possui grandes pontoações intervasculares, as mesmas são uma membrana permeável por onde ocorre a difusão de gases e líquidos e na seção transversal a sua distribuição, abundância e tamanho e agrupamento são características importantes nas propriedades tecnológicas da madeira como a massa específica, comportamento na secagem e outros (BURGER; RICHTER, 1991).

5.5 Formação de classes de qualidade

As formações de faixas para classe de qualidade mostram as variações da propriedade do módulo de elasticidade dinâmico para cada espécie para a classe que compreende os indivíduos ocos e outra classe com os indivíduos não ocos, proveniente da análise descritiva dos valores do mínimo e máximo no sentido transversal (Tabela 8).

Tabela 8. Faixas de variações da propagação de ondas de tensão para *Goupia glabra* e *Ocotea neesiana*.

Espécie	Moed (kgf/cm ²)	
	Classe de indivíduos não ocos	Classe de indivíduos ocos
<i>G. glabra</i>	153 — 790,94	2.380
<i>O. neesiana</i>	295,67	128,6 — 209,61

Essas classes de qualidade possibilita sua utilização pela empresa de forma mais prática, fornecendo de forma mais simplificada informações para análises e tomadas de decisão, tendo como parâmetro informações com realizações de futuros testes não destrutivos com essas espécies em inventários florestais. Com o MOEd, obtém-se a resistência mecânica, podendo formar classes de qualidade pela resistência, pois avaliam a integridade estrutural de diversos produtos à base de madeira, caracterizando-os.

A obtenção da variabilidade *in loco* nas avaliações na floresta do tempo de propagação da onda já pode fornecer um indicativo de comprometimento da sanidade (oco e não oco) da árvore quando comparada com outras da mesma espécie e tendo como resultado de comprovação do estado interno o MOEd e se este está compreendido no intervalo de classe, o que poderá facilitar o rastreamento de forma individual de cada árvore.

Os ensaios não destrutivos são uma ferramenta alternativa e/ou complementar no processo de classificação das madeiras quanto às classes de resistência e categorias de qualidade, atribuindo ao MOEd característica importante de avaliação e utilização pela empresa (NOGUEIRA, 2007).

Foi possível caracterizar para as duas espécies neste trabalho pelo método não destrutivo de emissão de ondas de tensão, evidenciando a avaliação na árvore em pé com suas características encontradas como ocosidade, regiões de cerne e alburno distintos e não distintos, densidade básica e fortalecendo o conhecimento do padrão de variabilidade da estrutura anatômica que podem se relacionar com a propagação de ondas, tendo um conhecimento desses parâmetros contidas nas variações das classes de qualidade.

Demonstra-se a necessidade de contribuir com estudos de tecnologias para o segmento da utilização da madeira, para auxiliar setores que visam obter maior

rendimento e qualidade desde o manejo florestal, no beneficiamento e nos produtos de madeira. Por isso, torna-se importante aplicar estudos não destrutivos de qualidade para árvore em pé, toras e madeiras serradas com espécies amazônicas que possam contribuir para esses cenários mencionados, sendo esta pesquisa consistindo na formação de classes de qualidade que precisam ser fortalecidas com a incorporação e desenvolvimento de mais estudos com outras espécies e mais indivíduos.

6. CONCLUSÕES

- A técnica de emissão de ondas de tensão foi sensível ao detectar diferenças entre as espécies na qualidade da madeira com oco e sem oco na árvore em pé;

- A detecção possibilitou o agrupamento e a formação de classes de qualidade dos indivíduos oco e não ocos a partir do MOEd que poderão ser utilizados pela empresa para tomadas de decisões;

- Os parâmetros anatômicos obtidos devido à heterogeneidade das espécies contribuíram no conhecimento do padrão da estrutura anatômica com variabilidade da propagação de ondas.

Recomenda-se:

- As tomadas de decisões podem ser quanto ao planejamento no inventário de qualidade tecnológica e a exploração, podendo diminuir custo e tempo com o conhecimento prévio de qualidade da madeira ainda na floresta, o qual vislumbra contribuir no aumento do rendimento;

- É necessário o desenvolvimento de pesquisas com maior variabilidade de espécies considerando densidade e sanidade (oco e não oco).

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, C.R.; TRUGILHO, P.F.; NAPOLI, A.; QUINHONES, R.; LIMA, J.T. Calibrações NIRS para três propriedades químicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. *Cerne*, v.16, p. 9-14, 2010.

ANGELO, H.; SILVA, J. C.; ALMEIDA, A. N.; POMPERMAYER, R. S. Análise estratégica do manejo florestal na Amazônia Brasileira. **Floresta**, v. 44, n. 3, p. 341 - 348, 2014.

ARAUJO, H. J. G. Inventário florestal a 100% em pequenas áreas sob manejo florestal madeireiro. **Acta amazonica**. v. 36, n. 4, p. 447 – 464, 2006.

ARAUJO, H. J. G. Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. **Floresta**, v. 37, n. 3, p. 399-416, 2007.

BURGER, L.M; Richter, H.G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p. ISBN: 85-213-0669-5.

BUCUR, V. Environment modifiers of Wood structural parameters detected with ultrasonic waves. **Acoustics of Wood**. 2.ed. Berlin: Springer- Verlag, p. 242-270, 2006.

CALVINO, M.; CHIMELO, P. Fichas de características das madeiras brasileiras. 2 ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Madeiras 1980.

CAVALCANTI, M. A. **Desenvolvimento de modelos para quantificação de rendimento de madeiras amazônicas**. Manaus, 2005. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais)- Universidade Federal do Amazonas.

CAVALCANTI, M. A.; NASCIMENTO, C. C. N. Avaliação do rendimento de duas espécies de madeiras da Amazônia. In: **Potencial tecnológico de madeiras e resíduos florestais da Amazônia Central**. Ed. INPA, 2012. 236 p.

CASTELO, P. A. R. **Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus taeda* em diferentes sítios de crescimento e espaçamentos, através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão**. 2007. 151 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná.

CLEMENTE, C, R.; HIGUCHI, N. A floresta amazônica e o futuro do Brasil. **Ciência e Cultura**, v. 58, n. 3, 2006.

CORASSA, J.N.; PIRES, E.M.; NETO, V.R.A.; TARIGA, T.C. Têmicas associados à degradação de cinco espécies florestais em campo de apodrecimento. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n.1, p 78-84, 2014.

CUNHA, A.B.; MATOS, J.L.M. Determinação do módulo de elasticidade em madeira laminada colada por meio de ensaio não destrutivo (“stress wave timer”). **Árvore**, v.34, n. 2, p.345-354, 2010.

CRUZ, C. R.; MUNIZ, G. I. B.; LIMA, J. T.; FERREIRA, D. F. Application of stress waves to estimate moisture content in Eucalyptus wood. **Cerne**, v. 15, n. 4, p. 430-438, 2009.

DANIELLI, F.E. **Modelagem do rendimento no desdobro de toras de *Manilkara* spp. (sapotaceae) em serraria na nova fronteira madeireira do estado de Roraima, Brasil**. 2013. 82 f. Dissertação (Mestre em Ciências de Florestas Tropicais). Área de concentração em Manejo Florestal. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA, Manaus, Amazonas.

DE JESUS, M.A.; MORAIS, J.W.; ABREU, L.S.; CARDIAS, M.F.C. Durabilidade natural de 46 espécies de madeira amazônica em contato com o solo em ambiente florestal. **Scientia Forestalis**, v. 54, p. 81-92, 1998.

DEL MENEZZI, C. H. S.; SILVEIRA, R. R.; SOUZA, M. R. Estimativa das propriedades de flexão estática de seis espécies de madeiras amazônicas por meio da técnica não-destrutiva de ondas de tensão. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 2, p 325– 332, 2010.

DE PAULA, J.E. Caracterização anatômica da madeira de sete espécies da amazônia com vistas à produção de energia e papel. **Acta Amazonica**, v.33, n. 2, p 243-262, 2003.

FEENEY, F.E.; CHIVERS, R.C.; EVERTSEN, J.A.; KEATING, J. The influence of inhomogeneity on the propagation of ultrasound in wood. **Ultrasonics**, v. 36, p. 449-453, 1998.

FOELKEL, E.B.; BUSNARDO, C.A. O fenômeno de apodrecimento central do cerne de árvores vivas de *Eucalyptus*: qualidade da madeira. **IPEF**, n.33, p 31-38, 1986.

GERWING, J.; VIDAL, E.; VERÍSSIMO, A.; UHL, C. **Rendimento no processamento de madeira no estado do Pará**. 2001. 38 p. Série Amazônia nº 18. Belém. Imazon.

GOUVÊA, A. F. G.; TRUGILHO, O. F.; GOMIDE, J. L.; SILVA, J. R.M.; ANDRADE, G. R.; ALVES, I. C. N. Determinação da densidade básica da madeiras de *Eucalyptus* por diferentes métodos não destrutivos. **Árvore**, v.35, n. 2, p.349-358, 2011.

GOBE, A. C. et al. **Gerencia de produtos**. São Paulo: Saraiva, 2004.

GONÇALEZ, J. C.; VALLE, A. T.; COSTA, A. F. Estimativas das constantes elásticas da madeira por meio de ondas ultra-sonoras (ultra-som). **Cerne**, v.07, n. 02, p. 811-92. 2001.

GOTELI, N.J.; ELLISON, A.M. **Princípios de estatística em ecologia**. Porto Alegre: Artmed, 2011. 528 p. ISBN: 978-85-363-2432-6.

INPA/CPPF- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA-COORDENAÇÃO DE PESQUISAS EM PRODUTO FLORESTAIS. **Catálogo de madeiras da Amazônia**. Características tecnológicas: área da hidrelétrica de Balbina. Manaus, AM, 1991. 88 p.

ITTO: INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION. **ANNUAL REVIEW AND ASSESSMENT OF THE WORLD TIMBER SITUATION**. 2012 Yokohama, Japan, 2012. 82 p. Disponível em <<http://www.itto.int/>>. Acesso em: 26 de nov. 2014.

IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; TRIANOSKI, R.; Prata, J. G.; ROCHA, V. Y.; IWAKIRI, V. T. Estimativa do módulo de elasticidade dinâmico nas diferentes posições do tronco das árvores de *Tectona grandis* utilizando método de ondas acústicas. **Scientia Florestalis**, v. 41, n. 100, p. 523-532, 2013.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ JUNIOR, W. A. **Principles of wood science and technology**. 1968. Berlin: Springer, v. 2, 674 p.

BRASIL. Lei nº 11.284, de 2 de Março de 2006. Dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável; institui, na estrutura do Ministério do Meio Ambiente, o Serviço Florestal Brasileiro - SFB; cria o Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal - FNDF; altera as Leis n.ºs 10.683, de 28 de maio de 2003, 5.868, de 12 de dezembro de 1972, 9.605, de 12249 de fevereiro de 1998, 4.771, de 15 de setembro de 1965, 6.938, de 31 de agosto de 1981, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973; e dá outras providências. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=485>>. Acesso em: 08 de out. 2014.

LIMA, J R. A.; SANTOS, J.; HIGUCHI, N. Situação das indústrias madeireiras do estado do Amazonas em 2000. **Acta amazonica**, v. 35, n. 2, p. 125 – 132. 2005.

LIMA, J. T.; SARTÓRIO, R. C.; TRUGILHO, P. F.; CRUZ, C. R.; VIEIRA, R. S. Uso do resistógrafo para estimar a densidade básica e a resistência à perfuração da madeira de *Eucalyptus*. **Scientia Florestalis**, v. 75, p. 85-93, 2007.

LIRA, J.N.; NASCIMENTO, C.C. Avaliação da densidade básica do cerne e alburno de oito espécies de madeira da Amazônia. In: SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 62., 2010, Natal. **Anais eletrônicos...** Natal: UFRN, 2010. Disponível em: <<http://www.sbpcnet.org.br/livro/62ra/resumos/resumos/877.htm>>. Acesso em: 08 set. 2014.

LIRA, J.N.; NASCIMENTO, C.C. DE PAULA, E.V.M. Avaliação da qualidade da madeira do setor produtivo por método não destrutivo. In: 4º CONGRESSO FLORESTAL PARANAENSE, 4., 2012, Paraná. **Anais...** CIETEP/UFPR, 2012. CD-ROM.

LOUREIRO, A. **Essências madeireiras da Amazônia**. Manaus: INPA, 1979.

MADY, F.R.M. **Microscopia da Madeira**. Manaus: UFAM, 2007. 80 p. ISBN: 85-7401-185-1.

MADY, F.R.M. **Conhecendo a Madeira**. Manaus: Sebrae/AM, 2000. 212 p.

MATOS, J. L. M. Estudos sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L. Curitiba: 1997. 117 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MARCHESAN, R. **Rendimento e qualidade de madeira serrada de três espécies tropicais**. Curitiba: 2012. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MEDEIROS, R.G. **Avaliação do rendimento da madeira de árvores de floresta em pé por meio de metodologia não destrutiva**. Manaus: 2013. 103 f Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais), Universidade Federal do Amazonas.

MELO, L.E.M.; SILVA, C.J.; URBINATI, C.V.; SANTOS, I.S.; SOARES, W.F. Variação Anatômica no Lenho de *Astronium lecointei* Ducke. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 1, p-135- 142, 2013.

MERRY, F.; Filho, B. S.; Nepstad, D.; Amacher, G.; Rodrigues, H. Balancing Conservation and Economic Sustainability: The Future of the Amazon Timber Industry. **Environmental Management**, n. 44, p. 395-40, 2009.

METABÓLITOS SECUNDÁRIOS E DEFESA VEGETAL. 2013. Disponível em <<http://www.fisiologiavegetal.ufc.br/Aulas%20em%20PDF%20PG/Unidade%20X.pd>>. Acesso em 14 de jul. 2014.

METRIGUARD. Metriguard Model 239A Stress Wave Timer. **Manual care and instructions, theory and data reduction**, 1997.

MINÁ, A. J. S.; OLIVEIRA, F.G.R.; CALIL, C. J.; DIAS, A.A.; SALES, A. Avaliação não destrutiva de postes de madeira por meio de ultrassom. **Scntia Florestalis**, v.65, p.188-196, 2004.

MONTEIRO, J.M.; ALBUQUERQUE, U.P.; ARAÚJO, E.L. Taninos: uma abordagem da química à ecologia. **Quim. Nova**, vol. 28, n. 5, p. 892-896, 2005.

MOTTA, J.P.; OLIVEIRA, J.T.S.; BRAZ, R.F.; DUARTE, A.P.C.; ALVES, R.C. Caracterização da madeira de quatro espécies florestais. **Ciência Rural**, v .44, n. 12, 2014.

NASCIMENTO, C. C. **Variabilidade da densidade básica e de propriedades mecânicas de madeiras da Amazônia**. 1993. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, São Paulo.

NASCIMENTO, C. C. **Variabilidade e desenvolvimento de modelos para estimar propriedades de madeiras de quatro espécies arbóreas da Amazônia**. 2000. Manaus: 154 f. Tese (Doutorado em Tecnologia da Madeira)- Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia- INPA/ FUA.

NOGUEIRA, M. **Classificação de peças de madeira serrada de dimensões estruturais de *Eucalyptus* sp. com uso de ensaios não-destrutivos**. 2007. 168 f. Tese (Doutorado em Agronomia)- Universidade Estadual Paulista, Botucatu, São Paulo.

NOGUEIRA, M.; BALLARIN, A. V. Efeito da idade na qualificação mecânica da madeira serrada de *Eucalyptus* sp. com uso de ensaios não-destrutivos. **Energia na Agricultura**, vol. 23, n. 3, p.74-94, 2008.

OLIVEIRA, L.B. **Avaliação da qualidade da madeirada da espécie florestal *Scleronema micranthum* Ducke através de metodologia destrutiva e não destrutiva**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais)- Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas.

OLIVEIRA, F.G.R.; CAMPOS, J.N.O.; SALES, A. Ultrasonic Measurements In Brazilian Hardwood. **Materials Research**, v.5, n.1, p. 51-55, 2002.

OLIVEIRA, F.G.R.; SALES, A. Caracterização de propriedades físicas de dicotiledôneas nativas por meio de técnicas de ultra-som. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 14., **Anais...** São Pedro- SP, 2000.

PADILHA, C. **Avaliação da qualidade da madeira de *Eucalyptus* para utilização em pisos**. 2005. 59 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais.

PUCINI, C. T. **Avaliação de aspectos de qualidade da madeira utilizando o ultra-som**. 2002. 139 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

PUEHRINGER, C. A. **Uso de emissão de ondas de tensão para avaliação não destrutiva de árvores e da madeira de *Pinus taeda* L.** 2002. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná.

RINN, F.; SCHWEINGRUBER, F.H.; SCHAR, E. Resistograph and X-ray density charts of wood comparative evaluation of drill resistance profiles and X-ray density charts of different wood species. **Holzforschung**, Berlin, v.50, n. 4, p.303-311, 1996.

ROCHA, J.S. DE PAULA, E.V.M. SIQUEIRA, M.L. Flexão estática em amostras pequenas livres de defeitos. **Acta Amazonica**, v.18, p. 147-162, 1988.

ROCHA, R. R. **Avaliação não destrutiva de madeiras para dormentes ferroviários**. Botucatu. 2003. 133 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Universidade Estadual Paulista, Botucatu, São Paulo.

ROLLO, F. M. A.; JUNIOR, M. A. S.; VIANA, S. M.; ROLLO, L. C. P.; COUTO, H. T. Z.; FILHO, D. F. S. Comparação entre leituras de resistógrafo e imagens

tomográficas na avaliação interna de troncos de árvores. **Cerne**, v. 19, n. 2, p. 331-337, 2013.

ROLLO, F. M. A. **Identificação de padrões de resposta à tomografia de impulso em tipuanas (Tipuana tipu (Benth.) O. Kuntze)**. 2009. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciências)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo Piracicaba, São Paulo.

ROSS, R.J.; BRASHWA, B.K.; PELLERIN, R.F. Non-destructive evaluation of wood. **Forest Products Journal**, v. 48, n.1, p.14-19. 1998.

SABOGAL, C.; LENTINI, M.; POKORNY,P.; SILVA, J.N.M.; ZWEEDE, J.; VERÍSSIMO, A.; BOSCOLO, M. **Manejo florestal empresarial na Amazônia brasileira**. Belém: CIFOR, 2006. 72 p.

SABOGAL, C.; POKORNY, B.; SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. O.; ZWEEDE, J.; PUERTA, R. **Diretrizes técnicas de manejo para produção madeireira mecanizada e florestas de terra firme na Amazônia Brasileira**. Belém, Pará: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. 217 p.

SANTOS, J.; SOUZA, C. A.S.; SILVA, R.P.; PINTO, A. C. M.; LIMA, A. J. N.; HIGUCHI, N. Amazônia: características e potencialidades. In: HIGUCHI, N.; HIGUCHI, M. I. G. (Eds.). **A floresta amazônica e suas múltiplas dimensões: Uma proposta de educação ambiental**. Manaus: [s.n.], 2012. 424 p.

SANTOS, C.M.; LIMA, I.L.; LONGUI, E.L.; ROMEIRO, D.; ZANATTO, A.C.S.; MORAIS, E. ZANATA, A.C.S.; FLORSHEIM, S.M.B. A densidade básica e características anatômicas variam radialmente na madeira de *Astronium graveolens* Jacq. (Anacardiaceae). **Inst. Flor**.v. 23, n.2, p. 191-201, 2011.

SCHAD, K.C. Stress wave techniques for determining quality of dimensional lumber from switch ties. USDA Forest Service, **Research Paper FPL**, n. 265, p 11, 1996.

STANGERLIN, D.M.; GATTO, D.A.; MELO, R.R.; CALEGARI, L.; VIVIAN, M.A.; CASTELO, P.A.R.; BELTRAME, R. Uso do ultrassom para estimativa das propriedades mecânicas da madeira de *Peltophorum dubium*. **Ciência da Madeira**, v. 01, n. 2, p. 44-53, 2010.

SEGUNDINHO, B. G. A.; COSSOLINO, L. C.; PEREIRA, A. H. A.; JUNIOR, C.C. Aplicação do método de ensaio das frequências naturais de vibração para obtenção do módulo de elasticidade de peças estruturais de madeira. **Árvore**, v.36, n. 6, p.1155-1161, 2012.

SHIMOYAMA, V.R. S. **Estimativas de propriedades da madeira de *Pinus taeda* através do método não destrutivo emissão de ondas de tensão, visando a geração de produtos de alto valor agregado**. Curitiba: 2005. 151 f. Tese (Doutor em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SOARES, C.P.B.; NETO, F. P.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2010. 276 p.

SOUZA, C. I. F. **Rendimento do desdobro de toras, utilização dos resíduos e otimização do tempo de trabalho com uma serraria portátil (lucas mill) numa comunidade rural na Amazônia**. 2006. 83 f. Dissertação (Mestrado Ciências de Florestas Tropicais)- Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas.

TELES, R. F.; DEL MENEZZI, C. S.; SOUZA, F.; SOUZA, M. R. Nondestructive evaluation of a tropical hardwood: interrelationship between methods and physical-acoustical variables. **Ciência da Madeira**, v. 02, n. 1, p. 01-14, 2011.

TESTONI, L.; LONGUI, E.L.; LIMA, I.L.; FLORSHEIM, S.M.B.; MELO, A.C.G. Anatomia, densidade aparente e velocidade de propagação do somna madeira de *Plathymenia reticulata*. **IF Sér. Reg.** n. 40, p. 125-130, 2009.

TRUGILHO, P.F; SILVA, D.A; FRAZÃO, F.J.L; MATOS, J.M.L.1990. Comparação de métodos de determinação da densidade básica em madeiras. **Acta amazonica**, v.20, p. 307-319, 1990.

ULIANA, L. R. **Aplicação da tomografia de impulso na avaliação da qualidade de árvores de maçaranduba, *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier**. 2010. 157 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo Piracicaba, São Paulo.

VITAL, B.R. **Planejamento e operação de serrarias**. 2008. Viçosa, MG Ed. UFV.

VAN DER SLOOTEN, H. J.; DE PAULA, E. V. C. M. Evaluation of non destructive test methods in stress grading of Amazonian timber species. **In: International Union of Forest Research (IUFRO)** p. 5.01. Properties and Utilization of Tropical Timbers, Manaus, 1984.

WEGST, U. G. K. **Wood for sound**, v. 93, p. 1439-1448, 2006.

8. APÊNDICE

APÊNDICE A- Variações dos sentidos de leitura

Figura 29. Variações das médias dos sentidos de leitura da velocidade e MOEd para *Goupia glabra* e *Ocotea neesiana*.

