



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO – SENSU EM
CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS – PPGCIFA

RÔMULO GEISEL SANTOS MEDEIROS

AVALIAÇÃO DO RENDIMENTO DA MADEIRA DE ÁRVORES DE FLORESTA
EM PÉ POR MEIO DE METODOLOGIA NÃO DESTRUTIVA

FINANCIAMENTO: INCT MADEIRAS DA AMAZÔNIA/CNPq/FAPEAM

MANAUS

2013

RÔMULO GEISEL SANTOS MEDEIROS

**AVALIAÇÃO DO RENDIMENTO DA MADEIRA DE ÁRVORES DE FLORESTA
EM PÉ POR MEIO DE METODOLOGIA NÃO DESTRUTIVA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

Orientador: Dr^a Claudete Catanhede do Nascimento

MANAUS

2013



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



PARECER

Defesa nº 146

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 do mestrando **RÔMULO GEISEL SANTOS MEDEIROS**, em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**AVALIAÇÃO DO RENDIMENTO DA MADEIRA DE ÁRVORES DE FLORESTA EM PÉ POR MEIO DE METODOLOGIA NÃO DESTRUTIVA**", é de parecer favorável à APROVAÇÃO do mestrando habilitando-o ao título de Mestre "*Magister Scientiae*" em Ciências Florestais e Ambientais, na área de concentração em **CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS (CIFA)**.

Doutora Claudete Catanhede do Nascimento
 Pesquisadora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
 Presidente da banca examinadora

Doutor Niro Higuchi
 Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
 Primeiro examinador

Doutor Joaquim dos Santos
 Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
 Segundo examinador

Manaus, 09 de dezembro de 2013.

Prof. Dr. Nabor da Silveira Pio
 Coordenador, em exercício, do Programa de Pós Graduação em
 Ciências Florestais e Ambientais – PPG-CIFA



*A DEUS, aquele que me guiou e
me guardou sob todas as coisas.*

Agradeço

*Aos meus pais Raimundo Nonato e Maria das
Graças pelos conhecimentos e exemplos de vida
que muito contribuíram em minha educação,
formação pessoal e profissional, graças aos
ensinamentos prestados ao longo da minha
caminhada.*

Meu reconhecimento

*Ao casal Rúbia Medeiros e Herman Santos
pelo apoio e acolhimento e todos os momentos
de alegria e carinho ao longo dessa jornada.*

Minha gratidão

*A Adilene Kroessin, pelo companheirismo,
paciência e compreensão dispensados ao
longo deste trabalho.*

Ofereço

AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao meu bom Deus por ter me concedido a dádiva da vida, dando-me coragem e sabedoria para vencer os desafios a mim impostos, com a certeza de que sem Ele nada poderia fazer. Agradeço por ter estado sempre ao meu lado em todas as horas, fáceis ou difíceis, jamais me desamparando ou me deixando esmorecer, sempre me dando coragem para seguir em frente.

Aos meus pais por terem confiado a mim parte de seus sonhos, por terem me dado o calor e amor de um verdadeiro lar e por jamais desistirem, mesmo nas maiores adversidades, nada me foi privado. E por essa dedicação a mim oferecida pude conseguir vitórias.

Aos meus irmãos e irmãs que estiveram sempre ao meu lado, nas realizações e frustrações, sempre me dizendo para seguir em frente e para nunca desistir, investindo em meus sonhos, que agora percebo; não era um sonho só meu.

A Dra. Claudete Catanhede do Nascimento por ter me dado à honra de ter sido seu orientado e por ter confiado a mim sua amizade. Uma pessoa fácil de admirar pela determinação e dedicação que faz parte de sua essência e que atinge todos a sua volta.

Ao Dr. Niro Higuchi e Estêvão Monteiro de Paula por ter me dado à oportunidade de participar do Projeto INCT Madeiras da Amazônia. Participação esta imprescindível para a realização deste trabalho.

Ao Dr. Celso Azevedo pelos valiosos ensinamentos, sempre com paciência e sabedoria.

Ao Dr. Moacir Campos (SIGLAB/INPA) pela ajuda na interpretação das imagens, e sua preocupação para uma correta análise.

Aos Amigos Sâmea Valéria, Roberto Daniel, Marta Brasil e Jair dos Santos, pela amizade e companheirismo ao longo deste trabalho, presentes desde o início até sua finalização. Sem vocês nada disso seria possível.

Ao Dr. Joaquim dos Santos pelo apoio na etapa inicial das atividades de campo.

Ao Francinilton Araújo (Chicó), Vanderlei Reis (Vandeco), Tertuliano Wessen, Haroldo Machado e José Bezerra (Zezão) pela ajuda e esforço nas atividades de campo.

Ao Sebastião Melo (Bico) e toda equipe da Estação Experimental de Silvicultura Tropical – Núcleo ZF – 2 pelo acolhimento e dedicação dispensados.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais e a Universidade Federal do Amazonas pela oportunidade.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA por todo apoio dispensado na realização desta pesquisa.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado concedida.

Ao Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas – IPAAM pela liberação e autorização da exploração madeireira.

A Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade – SEMMAS pela dispensa de trabalho durante a execução das atividades do Mestrado.

A Adilene Kroessin pela paciência, generosidade, carinho e amor, em todos os momentos compartilhados em mais esta jornada juntos.

Enfim, a todos aqueles que participaram de forma direta ou indireta na realização deste trabalho.

Muito Obrigado

“Nas grandes batalhas da vida, o primeiro passo para a vitória é o desejo de vencer”

Mahatma Gandhi

RESUMO

Nos últimos anos verificou-se, na tecnologia da madeira, um intenso desenvolvimento de pesquisas em atendimento as necessidades deste setor, principalmente, aquelas relacionadas com a qualidade da madeira. Um dos grandes avanços na caracterização de materiais é a aplicação de técnicas não destrutivas. A utilização de novas tecnologias para a caracterização tecnológica de madeiras tropicais, como os métodos não destrutivos, são essenciais para evitar desperdícios em todo seu processo produtivo, uma vez que haverá o uso adequado da matéria prima madeira nas indústrias de base florestal, aumentando o seu rendimento e produção. O objetivo deste trabalho foi o avaliar a utilização de técnicas não destrutivas de aplicação de ondas de tensão e de tomografia de impulso na identificação do estado de sanidade do lenho de árvores em pé na floresta. O estudo foi conduzido em uma área pertencente à Madeireira Itacoatiara Ltda. e em uma área de 01 hectare na Estação Experimental de Silvicultura Tropical – Núcleo ZF-2 - INPA. Na área da Mil Madeireira foi realizado o diagnóstico da ocorrência de ocos nas árvores exploradas. Na ZF-2 foram inventariadas todas as árvores no intervalo de $25 \text{ cm} \leq \text{DAP} \leq 60 \text{ cm}$, selecionando-se 20 indivíduos para aplicação de técnicas não destrutivas. A análise da árvore em pé foi realizada por meio da técnica emissão de ondas de tensão nas direções longitudinal, transversal e diagonal, e pela tomografia de impulso, a qual gerou uma imagem da secção transversal do lenho. Utilizou-se a cubagem rigorosa pela fórmula de Smallian para determinação do volume de madeira total, volume de madeira útil (volume de madeira sólida descontando o volume do oco) e volume de madeira útil utilizando os dados da tomografia de impulso. Foram retirados discos das árvores e posteriormente as toras foram desdobradas na serraria. Estes dados foram comparados com a classificação feita no software *Decision tree* verificando a relação entre essas variáveis. Na primeira etapa da pesquisa constatou-se que não há um padrão definido de ocorrência de ocos para as árvores estudadas, tanto entre espécies distintas quanto em indivíduos da mesma espécie. Na área da ZF-2 foram avaliados 19 indivíduos, sendo que em 05 detectou-se a ocorrência de oco. Para o Stress Wave Timer não foi possível estimar o estado de sanidade somente a partir da velocidade média. O tomógrafo demonstrou uma boa relação com o estado de sanidade real das árvores após exploração, sendo uma ferramenta útil para a decisão de tomada de decisão para corte das árvores. A tomografia de impulso demonstrou ser uma ferramenta útil para o planejamento da exploração florestal, sendo necessárias novas pesquisas nesse segmento para fortalecer o manejo florestal sustentável, diminuindo os desperdícios ao longo da cadeia deste setor produtivo.

Palavras – chave: Tomografia de impulso; Manejo florestal; Lesões e ocos.

ABSTRACT

In the last years, it has been found in wood technology an intensive development of research in service the needs of this sector , especially those related to wood quality. A main advance in the characterization of materials is the application of non -destructive techniques. The use of new technologies for technological characterization of tropical woods such as non-destructive methods are essential to prevent waste throughout the production process, since there will be proper use of raw wood in the forest-based industries , increasing their yield and production. The aim of this study was to evaluate the use of non-destructive techniques for applying stress wave and pulse tomography in identifying the state of health of the wood of standing trees in the forest. The study was conducted in an area belonging to Lumber Itacoatiara Ltda. and an area of 01 hectare at the Experimental Station of Tropical Forestry - Center ZF - 2 - INPA. In the area of Mil Lumber was performed diagnosis occurrence of the hollow exploited trees. In ZF - 2 were inventoried all trees within a range of $25 \text{ cm} \leq \text{DBH} \leq 60 \text{ cm}$, selecting 20 individuals to apply non-destructive techniques. The analysis of the standing tree was performed by issuing technique of stress waves in the longitudinal, transverse and diagonal directions, and the tomography pulse, which generated an image of the cross section of the wood. We used the cubed Smallian formula to determine the total volume of wood, wood working volume (volume of solid wood discounting the volume of the hollow) and volume of usable wood using data from Impulse tomography. Disks of trees and logs were subsequently deployed at the sawmill were removed. These data were compared with the classification made in Decision tree software verifying the relationship between these variables. In the first stage of the research, it was found that there isn't a definite pattern of occurrence of hollow for the trees studied, both between different species and in individuals of the same species. In the area of ZF - 2 19 subjects were evaluated, and 05 detected the occurrence of hollow. For Stress Wave Timer has not been possible to estimate the state of health only as average speed. The tomography showed a good relationship with the actual state of health of trees after operation, being a useful tool for decision - making decision to cut the trees. The Impulse tomography proved to be a useful tool for planning forestry, and more research was needed in this segment to strengthen the sustainable forest management, reducing waste along the chain of the productive sector.

Keywords: Impulse tomography; Forest management; Lesions and hollow.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa da área maneja pela Empresa Precious Woods Amazon	39
Figura 2 – Localização geográfica da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (E.E.S.T./INPA) - Núcleo ZF-2	40
Figura 3 – Mapa com a localização geográfica das árvores das unidades de campo H 13 e I 13.	42
Figura 4 – Seleção e identificação das espécies arbóreas na Estação Experimental de Silvicultura Tropical - ZF-2. (A): Identificação da árvore e (B) Medição do diâmetro a 1,30 m do solo.	42
Figura 5 – Mapa com a localização geográfica das árvores inventariadas.....	43
Figura 6 - (A) Stress Wave Timer, (B) transdutor piezoelétrico e (C) martelo de impacto	44
Figura 7 – Determinação da velocidade de propagação de ondas de tensão com utilização do Stress Wave Timer. (A) Medição no sentido longitudinal e (B) Sentido transversal e (C) Sentido diagonal	44
Figura 8 – Etapas do estudo prévio para a calibração do Tomógrafo de Impulso no Laboratório de Engenharia de Artefatos de Madeira do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – LEAM/INPA. A: Encaixe dos leitores no torete, B: Vista da secção transversal com sensores, C: Pancadas com martelo para emissão das ondas e D: Recepção dos dados via computador.	46
Figura 9 – (A) Coleta de dados na árvore em pé na altura do DAP, (B) Encaixe dos sensores e conexão dos cabos, (C) Pancadas com o martelo para emissão das ondas, (D) Recepção dos dados via computador.	47
Figura 10 – Árvore 105 – <i>Eschweilera coriacea</i> (A.DC.) Mori. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C e D); e desdobro das toras na serraria (E e F)	63
Figura 11 – Árvore 106 – <i>Eschweilera coriacea</i> (A.DC.) Mori. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C e D); e desdobro das toras na serraria (E e F)	65
Figura 12 – Árvore 223 – <i>Eschweilera coriacea</i> (A. DC.) Mori. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C e D).....	66
Figura 13 – Árvore 236 – <i>Eschweilera coriacea</i> (A.DC.) Mori. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C e D); e desdobro das toras na serraria (E e F)	68

- Figura 14 – Árvore 116 – *Eschweilera odora* (Poepp.) Miers. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C e D)..... 69
- Figura 15 – Árvore 125 – *Eschweilera odora* (Poepp.) Miers. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C e D)..... 70
- Figura 16 – Árvore 128– *Eschweilera odora* (Poepp.) Miers. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C) e imagem das peças desdobradas (D)..... 71
- Figura 17 – Árvore 89 – *Protium puncticulatum* J. F. Macbr. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C e D)..... 72
- Figura 18 – Árvore 220 – *Protium tenuifolium* Engl. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C e D)..... 73
- Figura 19 – Árvore 239 – *Protium tenuifolium* Engl. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C e D)..... 74
- Figura 20 – Árvore 92 – *Byrsonima crispera* Juss. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da seção transversal da árvore (C e D)..... 75
- Figura 21 – Árvore 94 – *Byrsonima crispera* Juss. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da seção transversal da árvore (C e D)..... 76
- Figura 22 – Árvore 97 – *Byrsonima crispera* Juss. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C e D)..... 77
- Figura 23 – Árvore 130 – *Inga alba* (Sw.) Willd. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C) e imagem das peças desdobradas (D). 78
- Figura 24 – Árvore 210 – *Inga paraenses* Ducke. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C e D)..... 79
- Figura 25 – Árvore 217 – *Inga sp.* Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C e D)..... 80
- Figura 26 – Árvore 140 – *Manilkara amazonica* (Huber.) Standley. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C e D)..... 81

Figura 27 – Árvore 160 – *Pouteria guynensis* Aubl. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C e D)..... 82

Figura 28 – Árvore 136 – *Swartzia recurva* Poepp. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C) e imagem das peças desdobradas (D)..... 83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ocorrência de ocos em 06 espécies arbóreas da área de Manejo da Madeireira Itacoatiara Ltda.	52
Tabela 2 – Identificação botânica dos 19 indivíduos arbóreos selecionados	54
Tabela 3 – Médias e Coeficientes de variação das velocidades obtidas para os três sentidos avaliados nos indivíduos selecionados.	55
Tabela 4 – Comparação do estado de sanidade do lenho obtido pela análise visual e pela imagem tomográfica	58
Tabela 5 – Análise da tomada de decisão do corte das árvores a partir da tomografia de impulso e situação real de corte.....	60
Tabela 6 – Rendimento de duas espécies arbóreas selecionadas na ZF-2.....	84
Tabela 7 – Médias das velocidades observadas para o Stress Wave Timer e velocidades mínimas e máximas velocidade observada para a Tomografia de Impulso.	86

SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS	xii
SUMÁRIO	xiii
1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GERAL.....	18
2.1.1 Objetivos específicos.....	18
2.2 HIPÓTESE DA PESQUISA	18
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	19
3.1 MANEJO FLORESTAL NA AMAZÔNIA BRASILEIRA	19
3.2 RENDIMENTO EM MADEIRA SERRADA	22
3.3 QUALIDADE DA MADEIRA	23
3.4 BIODEGRADAÇÃO DA MADEIRA	24
3.4.1 Biodegradação por fungos apodrecedores	24
3.4.2 Podridão Parda	25
3.4.3 Podridão Branca	25
3.4.4 Biodegradação do lenho por cupins.....	25
3.5 PROPRIEDADES DA MADEIRA	26
3.5.1 Densidade básica.....	27
3.5.2 Teor de umidade	28
3.5.3 Retratibilidade	29
3.6 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA MADEIRA	29
3.6.1 Metodologia destrutiva	30
3.6.2 Metodologia não destrutiva	30
3.6.2.1 Método da Classificação Visual	32
3.6.2.2 Método da Vibração Transversal.....	33
3.6.2.3 Método do Resistógrafo	33
3.6.2.4 Método do Ultrassom	34
3.6.2.5 Método da Emissão de Ondas de Tensão	35

3.6.2.6 Método da Tomografia de Impulso	37
4 MATERIAL E MÉTODOS	39
4.1 ÁREA DE ESTUDO	39
4.1.1 Localização	39
4.2 COLETA DE DADOS	41
4.2.1 Diagnóstico na Mil Madeireira.....	41
4.2.2 Seleção das árvores na ZF-2	42
4.2.3 Avaliação das árvores selecionadas por método não destrutivo	43
4.2.3.1 Método de emissão de ondas de tensão	44
4.2.3.2 Avaliação da árvore em pé pelo método da tomografia de impulso	45
4.3 DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE MADEIRA POR ÁRVORE	48
4.4 DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO DAS ÁRVORES	49
4.5 ANÁLISE DOS DADOS	50
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
5.1 AVALIAÇÃO DAS TORAS NO PÁTIO MADEIREIRA ITACOATIARA LTDA.....	51
5.2 AVALIAÇÃO DO ESTADO DE SANIDADE DE ÁRVORES EM PÉ NA FLORESTA POR METODOLOGIA NÃO DESTRUTIVA	53
5.2.1 Avaliação da velocidade de propagação de ondas de tensão nas árvores em pé	54
5.2.2 Avaliação do estado de sanidade das árvores por meio da imagem tomográfica e da análise visual	57
5.3 AVALIAÇÃO DO RENDIMENTO DAS ÁRVORES POR METODOLOGIA DESTRUTIVA	84
5.4 COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS UTILIZADOS.....	85
6 CONCLUSÃO.....	88
7 CONSIDERAÇÕES	89
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
ANEXOS	98

1 INTRODUÇÃO

Amazônia é a região que possui a maior reserva florestal contínua, cobrindo uma área de, aproximadamente, 250 milhões de hectares. Além disso, esta região é mundialmente conhecida por possuir uma das maiores reservas de recursos naturais do planeta (CLINEBELL et al.,1995) abrigando grande diversidade de espécies madeireiras que representam o patrimônio florestal amazônico.

Diversas espécies madeireiras com cores e resistência diferenciadas são exploradas a cada ano na Amazônia, umas consagradas e outras desconhecidas. Entretanto, seu potencial ainda não é valorizado como pode ser comprovado pelo baixo rendimento constatado desde a área de exploração, processo de desdobro e setor de classificação dos produtos para comercialização.

Este fato pode ser explicado pela falta de tecnologia adequada que possibilite identificar e estimar a qualidade da madeira da árvore em pé na floresta. Isto implica em uma seleção e usos inadequados, gerando com isso um baixo aproveitamento deste recurso natural na indústria e, conseqüentemente, à geração de grande quantidade de resíduos que atualmente ainda são um dos grandes gargalos das indústrias de base florestal.

É indispensável à realização de estudos tecnológicos que torne a floresta mais e melhor utilizada, pois seria insignificante a abundância de materiais existentes na natureza sem a ciência de sua utilização (OLIVEIRA, 2001).

A valorização da floresta é parte integrante de uma estratégia para impulsionar a prática do manejo florestal, em escala comercial, que passa pelo aproveitamento máximo das potencialidades da floresta, visto que envolve custos operacionais que devem ser compensados com o maior valor possível dos produtos a serem escolhidos (ARAÚJO, 2007).

O conhecimento das características tecnológicas das madeiras possui importância significativa para definir adequadamente as aplicações a que serão destinadas. Os avanços nesta área têm auxiliado na busca por melhorias das propriedades da madeira, conferindo a ela maior versatilidade quanto à destinação de seus usos (VITAL, 1984).

No que tange à tecnologia da madeira verificou-se nos últimos anos um intenso desenvolvimento de pesquisas em atendimento as necessidades do setor, principalmente, aquelas relacionadas com a qualidade da madeira. Segundo Carvalho (1996) a qualidade da madeira é entendida como a adequação da matéria prima para determinado uso ou conjunto de usos

Um dos grandes avanços obtidos nos últimos anos na caracterização de materiais é a aplicação de técnicas não destrutivas. Os ensaios não destrutivos são aqueles realizados em materiais para verificar a existência, ou não, de descontinuidades ou defeitos por meio de princípios físicos definidos, sem alterar suas características físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais e sem interferir em seu uso (ABENDE, 2011).

O grande diferencial das técnicas não destrutivas em relação à caracterização destrutiva é a rapidez na obtenção da informação. Atualmente, há uma crescente utilização de técnicas que utilizam informações fornecidas pela passagem de ondas para a análise da qualidade da madeira.

Dessa forma, a avaliação da qualidade da madeira de espécies florestais tropicais por meio do uso de métodos não destrutivos pode contribuir de forma significativa para estimar parâmetros que melhor caracterizem estas espécies, fornecendo informações confiáveis quanto à qualidade da madeira *in loco*, o que refletirá em um melhor planejamento e, conseqüentemente, um melhor uso deste recurso natural.

Características inerentes a determinadas espécies madeiras e a baixa qualidade das operações florestais e industriais são fatores que contribuem fortemente para o desperdício de recursos madeireiros, para a degradação das florestas e para o comprometimento da sustentabilidade econômica e ambiental desta atividade (ULIANA, 2011).

O conhecimento insuficiente das características do material lenhoso das árvores na floresta como a ocorrência de árvores ocas, quantidade de cerne e albúrnio, seleção e exploração das espécies sem utilização de novas metodologias e a falta de inventário de qualidade por método não destrutivo; tem proporcionado o baixo aproveitamento das espécies florestais da Amazônia como também desvalorização de tais espécies.

Durante muito tempo as indústrias de base florestal fizeram e ainda fazem o uso de análises convencionais, em geral de forma destrutiva, para avaliação da ocorrência de oco nas árvores (uma das características das madeiras da Amazônia) e das características tecnológicas das madeiras de interesse comercial.

A questão de fundo dessa proposta é o baixo rendimento das indústrias madeiras da Amazônia, que é de aproximadamente 30%. De acordo com o INCT Madeiras da Amazônia, o baixo rendimento e o baixo valor da madeira em pé tem sido um dos principais gargalos para a consolidação do manejo florestal sustentável na região, o que justifica o desenvolvimento desta pesquisa.

Para tornar o processo dinâmico e menos oneroso torna-se necessária à introdução de novas técnicas para a caracterização tecnológica de madeiras tropicais para evitar desperdícios em todo seu processo produtivo, resultando ganhos significativos, visando reduzir os impactos negativos que são gerados quando da exploração de árvores com lesões internas.

Como exemplo desses ganhos pode-se citar uma maior qualidade no produto final, uma vez que este passará por uma rígida análise de sua estrutura interna, o que garante uma matéria prima de qualidade superior para confecção de produtos e, por conseguinte, aumento de rendimento.

Dessa forma, pode-se ter o uso adequado da matéria prima madeira nas indústrias de base florestal, aumentando o seu rendimento e produção, diminuindo consideravelmente os desperdícios nas mais diversas fases de preparo da matéria prima e, conseqüentemente, a quantidade de resíduos que ainda são um dos grandes gargalos da indústria da madeira.

Nesse contexto a utilização de métodos não destrutivos como a técnica da emissão de ondas de tensão e de tomografia de impulso pode fornecer informações importantes quanto à utilização da madeira.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a utilização das técnicas não destrutivas de aplicação de ondas de tensão e de tomografia de impulso na identificação do estado de sanidade do lenho de árvores nativas.

2.1.1 Objetivos específicos

- Avaliar o padrão de ocorrência de ocos em árvores nativas da região Amazônica;
- Avaliar a associação entre os resultados obtidos pelos métodos de emissão de ondas de tensão, tomografia de impulso e avaliação visual das características físicas interna das árvores após exploração;
- Avaliar se há correlação entre os dados obtidos com a tomografia de impulso e a estimativa do volume útil de madeira.
- Determinar qual o método mais eficiente na avaliação do estado de sanidade da árvore em pé na floresta;

2.2 HIPÓTESE DA PESQUISA

É possível estimar estado de sanidade e o volume do material lenhoso danificado de madeira de árvores em pé na floresta, independente da espécie, a partir da utilização de métodos não destrutivos.

H0 = A velocidade de propagação de ondas de tensão e tomografia de impulso não são capazes de estimar o estado de sanidade do material lenhoso e volume de material danificado da árvore em pé na floresta;

H1 = A velocidade de propagação de ondas de tensão e tomografia de impulso são capazes de estimar o estado de sanidade do material lenhoso e volume de material danificado da árvore em pé na floresta.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 MANEJO FLORESTAL NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

Se explorada de forma sustentável, menos de 20% da floresta amazônica seria suficiente para provir permanentemente, as necessidades dos países amazônicos e garantir a liderança do mercado internacional, gerando divisas bem maiores quando comparadas àquelas obtidas pela soja, pecuária e a exploração madeireira não manejada (MEIRELLES FILHO, 2006).

Contudo, o extrativismo florestal sem planejamento, realizado de maneira intensa e seletiva na Amazônia brasileira, tem transformado florestas de elevado estoque de madeira e valor comercial em florestas degradadas, de baixo valor comercial e de difícil recuperação (PINTO et al., 2002).

Tais fatos podem ser explicados, também, pela exaustiva exploração de espécies madeireiras tradicionalmente comercializadas, o que acaba por acarretar na escassez das mesmas e a substituição destas por outras semelhantes.

Manejo florestal sustentável é definido como o processo de manejar florestas para se obter um ou mais objetivos claramente especificados, no que diz respeito à produção de um fluxo contínuo de produtos e serviços florestais desejados, sem redução dos seus valores inerentes e futura produtividade, e sem efeitos indesejados excessivos sobre o meio ambiente físico e social (ITTO, 1998).

O manejo florestal sob regime de rendimento sustentado, é a condução de um povoamento florestal aproveitando apenas aquilo que ele é capaz de produzir, num determinado período de tempo, sem comprometer a sua estrutura natural e o seu capital inicial (HIGUCHI, 1994)

IBAMA (2004) define Manejo Florestal Sustentável (MFS) como sendo a administração da floresta para a obtenção de benefícios econômicos e sociais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema como objeto do manejo.

De acordo com Leão (2000) o manejo florestal sustentável pode ser definido como o aproveitamento econômico simultâneo à preservação dos recursos das florestas naturais, visando à perpetuação da sua cobertura, à conservação da biodiversidade e ao desenvolvimento social.

Este autor considera ainda que a extração sustentada da madeira depende de vários fatores: intensidade (volume por hectare), ciclo (intervalo de tempo entre sucessivas colheitas), forma (mecanizada, tração animal), período (época do ano), tratamento pós-extração (corte de cipós, cortes de liberação, enriquecimento) e condições de mercado (número de espécies comercializadas e preço). O ordenamento desses diversos aspectos constitui-se no plano de manejo, a ser elaborado para cada área de produção.

Para Souza et al (2006), a maioria das florestas tropicais nativas da Amazônia tem sido explorada de forma não sustentável, sem aplicação dos critérios de sustentabilidade do manejo florestal, o que caracteriza perda da cobertura florestal e da diversidade de espécies, antes mesmo que se tenha o conhecimento dessa riqueza natural.

Segundo o mesmo autor qualquer intervenção planejada em determinada floresta natural deve ser precedida de inventário minucioso que forneça estimativas fidedignas dos parâmetros: diversidade, frequência, densidade, dominância e as distribuições diamétrica e espacial das espécies, bem como os valores ecológico, econômico e social das espécies.

Segundo Hosokawa et al (1998), o manejo florestal em regime de rendimento sustentado nos trópicos pressupõe como verdadeira a hipótese de que a floresta tropical é um recurso natural renovável. A adoção desse princípio básico não significa dispor de receitas para operacionalizar com sucesso todos os projetos de manejo florestal da Amazônia. Assim, o principal objetivo do manejo florestal sustentado é ordenar a produção em cada unidade de manejo em um ciclo de corte compatível com a regeneração da floresta.

Os autores acima afirmam ainda que o manejo das florestas tropicais da Amazônia deve ser concebido como um conjunto de atividades que vise à maximização da produtividade dos recursos florestais em seu todo, enfocando os aspectos ambientais e os econômicos, agregando à produção florestal os fatores sociais.

O manejo florestal moderno requer integração entre floresta, indústria e mercado, para maximizar o retorno financeiro e, ao mesmo tempo, garantir uma base sustentável do estoque de crescimento da floresta. Além disso, questões importantes como aspectos legais, econômicos, ambientais e sociais devem obrigatoriamente fazer parte de um plano de manejo que pretenda garantir um fluxo contínuo de produção (SILVA et al., 2002).

Segundo Amaral et al (1998), as principais razões para se manejar a floresta objetivando a produção de madeira são:

- *Continuidade da produção* - a adoção do manejo garante a produção de madeira na área indefinidamente, e requer a metade do tempo necessário para se retornar a floresta do que na colheita não manejada;

- *Rentabilidade* - os benefícios econômicos do manejo superam os custos. Tais benefícios decorrem do aumento da produtividade do trabalho e da redução dos desperdícios de madeira;

- *Segurança no trabalho* - as técnicas de manejo diminuem drasticamente os riscos de acidentes no trabalho.

- *Respeito à lei* - manejo florestal é obrigatório por lei. As empresas que não fazem manejo estão sujeitas a diversas penalidades;

- *Oportunidades de mercado* - as empresas que adotam um bom manejo são fortes candidatas a obter um "selo verde". Como a certificação é uma exigência cada vez maior dos compradores de madeira, especialmente na Europa e nos Estados Unidos, as empresas que tiverem um selo verde, provando a autenticidade da origem manejada de sua madeira, poderão ter maiores facilidades de comercialização no mercado internacional com melhores preços;

- *Conservação florestal* - o manejo da floresta garante a cobertura florestal da área, retém a maior parte da diversidade vegetal original e pode ter impactos pequenos sobre a fauna, se comparado à exploração não manejada;

- *Serviços ambientais* - as florestas manejadas prestam serviços para o equilíbrio do clima regional e global, especialmente pela manutenção do ciclo hidrológico e retenção de carbono.

O manejo florestal tem como primeira ação a determinação do potencial da propriedade, identificando as principais restrições à prática da atividade florestal. Pode-se a partir desta caracterização definir ações de produção, de preservação e de conservação do recurso florestal. Em síntese, pode-se planejar a atividade florestal, visando aumentar a qualidade do produto final e se possível sua quantidade, observando em todas as etapas a viabilidade econômica, social e ambiental do processo produtivo (SCOLFORO, 1998).

Este mesmo autor salienta os seguintes pontos básicos a serem considerados na condução do manejo florestal sustentado:

- inventário pré-corte em que se procurará marcar as árvores desejáveis para corte, a orientação de queda e a distância mínima da árvore derrubada para a trilha de arraste;

- corte de cipós feito um ano antes da colheita, para reduzir danos no momento de derrubar e processar a árvore, além de reduzir a competição de copa;
- refinamento do povoamento e desbaste para liberação das árvores remanescentes (um; dez e vinte anos após a colheita).

Barreto et al (1998), afirmam que a colheita manejada de madeira pode ser mais lucrativa do que as operações sem manejo. Os autores estimam que a rentabilidade da primeira colheita de madeira com manejo seria cerca de 35% maior do que a colheita sem manejo em virtude da maior produtividade do trabalho e, principalmente, por causa da redução dos desperdícios de madeira.

As vantagens do manejo florestal não devem ser analisadas apenas sob a ótica econômica, ou seja, das taxas internas de retorno. Diversos benefícios sociais, na maioria das vezes não percebidas pelo empresário, devem ser considerados nesta análise, além dos ecológicos, pela manutenção do uso florestal da área, pela conservação da diversidade e dos *habitats* naturais e conservação do solo, entre outros.

3.2 RENDIMENTO EM MADEIRA SERRADA

O rendimento volumétrico é a relação entre o volume produzido de madeira serrada e o volume utilizado de madeira em forma de tora expresso em porcentagem. Entretanto pode ocorrer uma série de fatores que interferem no volume obtido de madeira serrada, influenciando assim no rendimento volumétrico (BIASI, 2005).

A técnica para o desenvolvimento das operações de corte a serem realizadas na madeira varia principalmente com a disponibilidade da serraria no que se refere a equipamentos e mão-de-obra, além de aspectos como dimensões de tora, espécies de madeira e qualidades de defeitos (VITAL, 2008).

O desafio de qualquer serraria para manter-se competitiva no mercado prende-se ao contínuo aperfeiçoamento e melhoria no desempenho das suas operações a começar pelo rendimento (MANHIÇA, 2010). Para Vital (2008) a avaliação precisa da forma e da qualidade da tora, bem como a otimização das decisões de corte contribuem grandemente para a maximização do rendimento.

O rendimento em madeira serrada é influenciado por diversos fatores, tais como características das espécies, maquinário, mão de obra e, principalmente, pelo diâmetro das toras. Além desses fatores, o tratamento que é dado às toras ainda no pátio da serraria e outras decisões de como desdobrá-las são fatores fundamentais para que se atinjam bons níveis de rendimento (MURARA JUNIOR, 2005).

O rendimento em madeira serrada pode ser influenciado ainda pelo comprimento, conicidade e defeitos, máquinas de desdobro, modelos de corte (dimensão da madeira serrada), habilidades e experiência dos operadores das máquinas (TSOUMIS, 1991).

3.3 QUALIDADE DA MADEIRA

O conceito da qualidade da madeira tem evoluído consideravelmente, em função do surgimento de novas tecnologias, é hoje encarado como um conceito dinâmico que integra o conjunto de características anatômicas, físicas, químicas e de resistência que conferem aptidão à madeira para determinado uso final (BIRKLAND, 1990).

A madeira é um material biológico cuja variabilidade constitui uma das características principais, ao contrário da maioria dos materiais de origem não biológica. Esta variabilidade, que resulta do processo normal de formação do lenho, existe entre árvores de diferentes espécies, entre árvores da mesma espécie e dentro da própria árvore.

Em sentido lato, é ela que proporciona a grande diversidade de utilizações da madeira e torna possível escolher entre as várias espécies aquela que melhor satisfaz as exigências de cada uso final. No entanto, esta mesma variabilidade, quando encarada ao nível individual ou dentro da mesma espécie, representa um inconveniente da madeira como material (BIRKLAND, 1990).

Duffield (1993) afirma existirem grandes diferenças nas propriedades da madeira, e que o conhecimento da variação dentro das espécies é incompleto, devido à multiplicidade e interação das causas de variação. Estas causas podem ser classificadas como controladas geneticamente, ambientalmente e posicionalmente (posição no tronco). O autor classifica estas variações em dois grupos: fatores internos (inerentes à árvore) e fatores externos (inerentes ao ambiente e práticas silviculturais).

Embora o conceito de qualidade possa ser difícil de explicar, vários fatores influenciam a adequação da madeira para diversos propósitos. Esses fatores incluem massa

específica, uniformidade de anéis de crescimento, percentagem de cerne e alborno, comprimento da fibra, inclinação de grã, percentagem de vasos em folhosas, presença de madeira juvenil e de reação, além da composição celular, presença de nós, orientação da grã e composição química (CHIES, 2005).

As características da madeira são resultantes da interação entre o potencial hereditário da árvore e as condições ambientais. No que diz respeito ao ambiente, a influência de alguns de seus fatores sobre as propriedades da madeira tem sido alvo de muitas avaliações. Entre as principais características da madeira que são afetadas por estas interações, destacam-se as percentagens de lenhos nas coníferas, massa específica básica, características morfológicas das fibras, composição química e teores de madeira juvenil e adulta (BRITO, 1983).

Atualmente no Brasil, devido à necessidade de se obter usos mais adequados para as espécies florestais, há intensificação no estudo da qualidade da madeira dando ênfase a pesquisas sobre massa específica, resistência mecânica e características tecnológicas destas espécies em relação a produtos e processos para a correta utilização das mesmas (CASTELO, 2007).

3.4 BIODEGRADAÇÃO DA MADEIRA

A biodegradação da madeira é um processo natural de ciclagem da matéria orgânica e ocorre em todos os ambientes naturais quando as condições ambientais são favoráveis. A madeira pode ser colonizada rapidamente por vários organismos, os quais por processo de biodegradação solubilizam os componentes estruturais da madeira inicialmente a moléculas simples e finalmente CO₂ e água (DANIEL, 2003).

3.4.1 Biodegradação por fungos apodrecedores

Quando em estágio avançado, a deterioração do lenho causada por fungos apodrecedores pode causar a queda de árvores (MATTHECK; BRELOER, 1997). Os processos de apodrecimento do lenho que podem causar risco de queda e ruptura das árvores pela ação de fungos podem ser divididos em duas categorias: podridão branca e podridão parda (RAYNER; BODDY, 1988). Os fungos conhecidos como causadores de podridão mole são também encontrados, porém sua ação está diretamente ligada a processos de sucessão de

microorganismos, podendo ser sucedido por fungos de podridão branca ou parda. (BRAZOLIN, 2009).

Rayner e Boddy (1988) propõem duas classes distintas para o processo de colonização e apodrecimento de cerne. O apodrecimento no topo (*top rot*) possui origem na copa e propaga-se em direção ao interior da árvore, enquanto o apodrecimento na base (*buttrot*) se origina no sistema radicular ou no colo da árvore e propaga-se em direção às partes superiores.

Estes autores afirmam que o apodrecimento do cerne (*heartrot*) e do alburno (*saprot*) estão normalmente associados a injúrias e são os processos de biodeterioração que acarretam maiores problemas de estabilidade estrutural.

3.4.2 Podridão Parda

A podridão parda é encontrada especialmente em espécies de coníferas, sendo menos comum em árvores decíduas. Sua ocorrência é relatada por Shigo (1989) em eucaliptos. É causada por fungos da Subdivisão Basidiomycotina e tem como características principais tornar o lenho rígido, friável, quebradiço e mais escurecido em relação ao lenho sadio. É também conhecida como podridão seca, pois é capaz de agir sob condições de baixa umidade. Os agentes causadores consomem a celulose e a hemicelulose da parede celular (EATON; HALE, 1993; WILCOX, 1973).

3.4.3 Podridão Branca

Os fungos que causam podridão branca digerem celulose e lignina em proporções semelhantes (SHIGO, 1989), modificando as características do lenho e tornando-os macios, esponjosos e mais claros que o lenho sadio (EATON; HALE, 1993). Pertencem às Subdivisões Ascomycotina e Basidiomycotina. Pode-se observar linhas escuras na madeira que indicam o processo de compartimentalização, delimitando a região afetada.

3.4.4 Biodegradação do lenho por cupins

Segundo Brazolin (2009) os cupins são frequentemente agrupados pela identificação de seus hábitos de nidificação. São divididos em três grupos principais: cupins de madeira

seca nidificam em madeira seca ou úmida; de solo, colônias se desenvolvem no solo; e arborícolas, constituem colônias em suporte acima do solo, geralmente em árvores.

Segundo Oliveira et al (1986 apud BRAZOLIN, 2009), os cupins se alimentam basicamente da celulose presente no lenho, sendo que a maioria das espécies não causa prejuízos por se alimentar de madeira parcial ou intensamente apodrecida e das partes mortas de vegetais. No Brasil estão descritas 312 espécies pertencentes às famílias Kalotermitidae, Rhinotermitidae, Serritermitidae e Termitidae (BRAZOLIN, 2009).

3.5 PROPRIEDADES DA MADEIRA

A madeira é um material lenhoso, heterogêneo por ser formado por células dispostas nos sentidos longitudinal e radial, ligados pela lignina para sustentação do tronco. Durante o crescimento da árvore estas células passam por vários estágios de desenvolvimento, influenciados por fatores genéticos, edáficos, climáticos, silviculturais e geográficos, que contribuem para as variações de suas propriedades, entre e dentro da árvore (ZOBEL, B. J.; VAN BUIJTENEN, 1989).

Dada à natureza orgânica da madeira existem vários fatores que justificam a heterogeneidade das características físicas e mecânicas desse material (BOTELHO JUNIOR, 2006). A diversidade de espécies madeireiras também é responsável pela variação nas características apresentadas, as quais determinam seu uso para finalidades específicas (RIBEIRO, 2009).

Dessa forma, pode-se destacar como fatores condicionantes das propriedades da madeira a espécie botânica, a localização do elemento de madeira no tronco da árvore, a existência de defeitos, o teor de umidade e a temperatura. Moreschi (2005) classifica as propriedades da madeira como:

- Térmicas – sendo as mais importantes a condutividade térmica, o calor específico, a transmissão térmica e o coeficiente de expansão térmica;
- Elétricas – sendo as mais importantes a condutividade elétrica, a constante dielétrica e o fator de potência dielétrica;
- Acústicas – que consideram conceitos como a frequência de vibração, velocidade e intensidade do som;
- Mecânicas – sendo estas classificadas em de resistência e de elasticidade

3.5.1 Densidade básica

Dentre várias maneiras de se expressar a densidade da madeira, uma das mais práticas é a densidade básica, que nada mais é que a relação entre o peso absolutamente seco da madeira, em gramas ou toneladas, e o seu volume, em centímetros ou metros cúbicos, quando completamente saturado de água (FOELKEL et al.,1971). A densidade básica é um parâmetro que permite uma boa previsão de muitas propriedades da madeira tais como resistência, dureza, rigidez e contração.

Vários autores, notadamente, Desch (1973); Kolmann e Cote (1986) afirmam que a variação na densidade básica da madeira é devido às diferenças na estrutura e à presença de substâncias na madeira. Esta estrutura é caracterizada pela quantidade proporcional de diferentes tipos de células tais como fibras, traqueídeos, vasos, canais resiníferos, raios de madeira, e suas dimensões, especialmente a espessura das paredes celulares.

A densidade é uma das propriedades físicas mais importantes da madeira por ser correlacionada com outras propriedades e por ser de fácil obtenção e pelos seus custos operacionais ligados ao armazenamento e transporte da madeira. Considerada a mais importante pelas indústrias de base florestal por poder ser alterada através de práticas silviculturais e manipulada geneticamente (ZOBEL, 1961).

Na determinação de qualidade da madeira, a densidade é o índice mais utilizado, pois se correlaciona diretamente com o rendimento em peso e também com as propriedades físico-mecânicas da madeira (NYLIDER, 1965).

A determinação da massa pode ser feita facilmente por meio de uma balança. A obtenção de volume pode ser feita a partir de medidas com paquímetros, por deslocamento de água ou mercúrio, ou ainda por meio de volumênômetros (VITAL, 1984).

Esta propriedade apresenta variabilidade entre as diferentes espécies florestais e dentro de uma mesma espécie, pela quantidade de substâncias extrativas presentes e pelas diferenças das estruturas anatômicas das espécies.

Com base na variabilidade das espécies, (PANSIM; ZEEUW, 1980) propôs três modelos de variação para densidade básica da madeira:

- No primeiro modelo os autores enunciam um aumento de densidade da medula para a casca;

- Para o segundo modelos enuncia-se valores mais altos próximos à medula, mas decrescendo nos primeiros anos e, a seguir, aumentando em direção à casca;
- Para o terceiro e último modelo há um decréscimo da densidade da medula até a casca.

A densidade da madeira é sem dúvida muito segura e efetiva para avaliações da qualidade da madeira, em função da boa correlação com as outras propriedades, entretanto, não indica de forma direta e conclusiva valores das propriedades mecânicas, dimensões das fibras, poder calorífico, composição química ou existência de defeitos internos.

Estudos realizados com três espécies de madeira da Amazônia mostram que a variação da densidade com as propriedades mecânicas nas condições de umidade verde e seca, apresentam coeficientes de correlação consistentes, justificando a utilização da densidade como estimativa das propriedades mecânicas (DE PAULA, 1986).

3.5.2 Teor de umidade

O teor de umidade da madeira é um fator de grande importância no que concerne aos custos de transporte, geralmente inviabiliza a industrialização da madeira na condição verde em áreas de exploração distantes por proporcionar elevado peso.

Refere-se à água contida na madeira podendo ser: água livre, que enche as fibras e evapora naturalmente após o abate, ou, água de adesão que fica retida nas membranas e paredes celulares e; água de constituição que é a parte integrante das moléculas que compõem a madeira.

Esse fator varia de acordo com a espécie e a posição dentro de um mesmo indivíduo, sendo inversamente proporcional a densidade. Pode ser definido como a quantidade de água presente em corpo em relação a sua massa (KOLLMANN, 1959).

As madeiras de árvores recentemente derrubadas possuem alto teor de umidade. Nessas condições, os vasos, o lúmen, bem como os espaços vazios, localizados no interior das paredes celulares, apresentam-se saturados de água (GALVÃO; JANKOWSKY 1984).

3.5.3 Retratabilidade

A retratabilidade da madeira é o fenômeno relacionado à sua variação dimensional em função da troca de umidade do material com o meio que o envolve até que seja atingida uma condição de equilíbrio, chamada de umidade de equilíbrio higroscópico.

É o fenômeno da variação dimensional que ocorre com a madeira quando há uma alteração no seu teor de umidade, sendo a perda em porcentagem de volume da madeira, passando do ponto de saturação das fibras ao estado de completamente seca (LOPES, 1983).

O princípio da retratabilidade se deve ao fato de as moléculas de água estarem ligadas por pontes de hidrogênio às microfibrilas dos polissacarídeos que formam a madeira, quando estas são forçadas a sair, deixam um espaço, forçando as microfibrilas a se reaproximar, causando a contração da madeira. A expansão ocorre em um fenômeno inverso. Quando a água adsorvida pela madeira, penetra entre as microfibrilas causa o afastamento delas e o consequente inchamento da peça.

Jankowsky (1989) diz que a retratabilidade é um fator que sempre acarreta inconvenientes na madeira, pois os maiores incômodos surgidos no emprego da madeira resultam das variações externas das suas dimensões, as quais são sempre determinadas pelas variações do seu teor de umidade.

Muitas vezes a retratabilidade é acompanhada de torção as fibras, rachaduras, fendas e não raro do fenômeno denominado de colapso. Esses fatores negativos se contrapõem aos benefícios oriundos da secagem que tem em vista a estabilização das peças de madeira e o aumento de sua resistência aos agentes de destruição, tais como fungos, insetos, entre outros.

A diferença entre a retratabilidade tangencial e a radial pode ser explicada pela influência restritiva dos raios na direção radial e também pelo diferente arranjo helicoidal das microfibrilas nas paredes tangenciais e radiais (KOLLMANN; CÔTÉ JR, 1968).

3.6 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA MADEIRA

A avaliação da qualidade da madeira pode ser realizada tanto pela utilização de metodologia destrutiva, com a confecção de corpos de prova, como também através de métodos não destrutivos. A utilização de metodologia destrutiva implica na destruição do corpo de prova, o que acarreta sua inutilização para outros fins. Esta metodologia é bastante

onerosa e seus resultados podem não ser coerentes, devido a uma amostragem incorreta ou até mesmo a dificuldades na confecção dos corpos de prova.

Uma melhor caracterização da qualidade da madeira pode ser realizada utilizando métodos não destrutivos. Esta metodologia permite uma melhor avaliação dos parâmetros que se almeja estimar, uma vez que não é necessária a extração de corpos de prova, sendo a avaliação feita no próprio elemento, seja este uma peça, estrutura ou árvore.

3.6.1 Metodologia destrutiva

Para a utilização da metodologia destrutiva existe a necessidade de se confeccionar corpos de prova padronizados que são retirados do lenho das árvores que são objeto de estudo de caracterização da qualidade de sua madeira.

Esta metodologia obedece à normas específicas para confecção destes corpos de prova não havendo nenhuma maneira de aproveitamento da madeira utilizada nestes testes. Isto acaba sendo um grande desperdício de matéria prima e de recursos, tanto financeiro quanto laboral.

Como exemplo deste desperdício pode-se citar o processo de descrição anatômica onde se faz necessário a retirada de um disco de 15 cm de espessura a um 1,30 m do solo para confecção de corpos de prova conforme prescrito pela Comissão Panamericana de Norma Técnicas – COPANT.

Os testes mecânicos da madeira feitos pela metodologia destrutiva são baseados em normas ou recomendações técnicas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), ASTM (American Society for Testing and Materials) e COPANT (Comissão Panamericana de Normas Técnicas). Estas normas definem o método de coleta de amostras, a forma e o tamanho dos corpos de prova, os métodos de obtenção das variáveis que a madeira deve apresentar no momento das medições e a forma de apresentação dos resultados.

3.6.2 Metodologia não destrutiva

A avaliação não destrutiva é definida como a ciência dedicada à identificação das propriedades físicas e mecânicas de um determinado material, sem alterar sua capacidade de

uso futuro (ROSS et al., 1998). Vários métodos podem ser utilizados para avaliação da qualidade da madeira, as técnicas não destrutivas frequentemente são utilizadas para este fim.

Os ensaios não destrutivos são métodos de identificação das propriedades físicas e mecânicas, com o objetivo de verificar a existência de descontinuidades ou defeitos sem interferir em seu uso final. Para Pellerin e Ross (2002) esses ensaios assumem um papel importante ao permitir análises mais precisas das informações sobre as propriedades, o desempenho e a condição da madeira ao estabelecer critérios práticos de classificação e caracterização do material.

Segundo Carreira e Candian (2008) os métodos de avaliação não destrutiva mais usuais são: a classificação visual, o Machine Stress Rated – MSR, o raio x, o ultra som, as ondas de tensão e a vibração transversal.

Várias pesquisas têm sido desenvolvidas com técnicas não destrutivas para avaliação das propriedades da madeira, especialmente para propriedades físicas, mecânicas e defeitos. Por definição, avaliação não destrutiva é uma técnica de identificação das propriedades de um determinado material sem alterar sua capacidade de uso futuro, utilizando as informações para tomadas de decisões com relação às aplicações apropriadas do material avaliado (ROSS et al., 1998).

As vantagens dos métodos não destrutivos sobre os métodos tradicionais são significativas, destacando-se a possibilidade de utilização posterior da peça testada; a rapidez de aplicação do método; a confiabilidade dos valores obtidos; redução das perdas de material; classificação de peças em classes de qualidade e resistência; detecção de defeitos internos antes do beneficiamento, além das vantagens financeiras proporcionadas pelo conjunto de vantagens citadas.

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. Esta energia pode resultar de cargas estáticas ou dinâmicas ou ser gerada por ondas eletromagnéticas ou elásticas (SCHAD et al., 1996).

A hipótese fundamental para avaliação não destrutiva de produtos de madeira foi inicialmente proposta por Jayne (1959) *apud* Matos (1997). Este autor propôs que a armazenagem de energia e as propriedades de dissipação da madeira, que podem ser medidas por meio não destrutivo, são controladas pelos mesmos mecanismos que determinam o comportamento estático deste material.

A nível microscópico, as propriedades de armazenamento de energia são controladas pela orientação das células e pela composição estrutural, fatores que contribuem para a elasticidade estática. Tais propriedades são observáveis como frequência de oscilação na vibração ou transmissão da velocidade do som.

Desse modo, as medidas das taxas de deterioração de vibrações livres ou atenuação de ondas acústicas são usadas para observar a propriedade de dissipação de energia na madeira.

3.6.2.1 Método da Classificação Visual

É o mais simples e mais antigo método de ensaio não destrutivo. Muitas avaliações atualmente ainda baseiam-se inteiramente na observação visual e nas interpretações subjetivas dessas observações. Quando a observação visual detecta a presença de exsudação de conteúdos ou ataques de agentes biológicos, frequentemente são aplicados testes mecânicos para analisar as propriedades de resistência do material analisado (BODIG, 2001).

Os métodos visuais são muito utilizados para uma classificação geral com objetivo de eliminar problemas e defeitos graves da madeira que possam interferir significativamente na estrutura, fornecendo uma perspectiva qualitativa, sendo que as reais condições do material não são detectadas, uma vez que a avaliação fica limitada às faces externas da madeira, não garantindo seu desempenho em uso. Outra limitação encontra-se nas diferenças de acuidade visual e treinamento ou experiência do pessoal encarregado pela avaliação (MATOS, 2002; SHIMOYAMA, 2005).

Segundo Shimoyama (2005) a inspeção visual busca localizar áreas de atual ou potencial deterioração da estrutura de madeira, identificando facilmente características como fotodeterioração, perda de cor; e presença de defeitos, tais como podridões (manchas, corpos frutíferos) e nós, considerando-se o tamanho, número e localização dos mesmos.

Ross e Brashaw (2006) afirmam que a presença de fungos, insetos, superfícies com orifícios, depressões, com manchas, descoloração, rachaduras e trincas demonstram o grau de deterioração em que se encontra a estrutura.

3.6.2.2 Método da Vibração Transversal

Para Targa et al (2005), essa técnica consiste na análise da vibração transversal de uma peça de madeira, com a obtenção do módulo de elasticidade dinâmico do material a partir da análise das frequências principais de vibração. Sua teoria explica que todos os materiais possuem uma frequência natural de vibração e um significativo desvio nessa vibração é um possível indicador de danos ou defeitos no material (SHIMOYAMA, 2005).

Nesse método, a peça de madeira é colocada sobre dois apoios e uma perturbação mecânica é originada fazendo o sistema vibrar. A relação entre o módulo de elasticidade e a frequência de vibração transversal já é conhecida há muitos anos. Segundo Carreira e Candian (2008) no ensaio de vibração transversal, a frequência natural de vibração da madeira é correlacionada com sua rigidez na flexão.

O método da vibração transversal foi um dos primeiros métodos de avaliação não destrutiva utilizado para a determinação do módulo de elasticidade da madeira. Ballarin et al (2002) explicam que a técnica de vibração transversal tem sido muito empregada, especialmente, pela forte aderência entre o modelo físico do fenômeno e o correspondente modelo teórico matemático a ele associado e pela possibilidade de sua aplicação em peças estruturais.

3.6.2.3 Método do Resistógrafo

De acordo com Rinn et al (1996), o princípio do resistógrafo é bastante simples: uma broca de 3 mm de diâmetro, feita de aço, é direcionada para dentro do lenho da árvore a uma predeterminada taxa dependendo da espécie de madeira e do modelo empregado. Ao atravessar a madeira, a broca encontra intensidades diferentes de resistência, refletindo a condição estrutural das paredes celulares, as variações entre lenhos inicial e tardio nos anéis de crescimento, seu desenho típico (por exemplo, anéis difusos ou porosos) e a forma em que a árvore tem se desenvolvido em resposta às condições ambientais.

A variação na resistência resulta em aumentos e decréscimos na intensidade de torque aplicado à haste da broca. Por meio de sensores mecânicos e eletrônicos, variações no torque correspondentes ao consumo de potência da furadeira são medidas eletronicamente como um valor de resistência à perfuração. A medição fornecida pelo resistógrafo é denominada de amplitude pelo fabricante e é expressa em porcentagem. A amplitude indica o consumo

energético para a broca vencer a resistência à perfuração na madeira em relação a um valor de referência do aparelho (LIMA et al., 2006).

O resistógrafo é um equipamento que é utilizado para analisar a qualidade da madeira, sendo possível realizar através dele a verificação da qualidade da madeira, verificando o estado de conservação da madeira, identificando a presença e os ou demais imperfeições na madeira, ou seja, este método realiza um diagnóstico do grau de sanidade da árvore, o que possibilita medidas para um melhor manejo do recurso florestal (INPA/BASA, 2002).

No Brasil, o resistógrafo foi empregado como método para indicar a presença de cupins internamente aos troncos de árvores urbanas da cidade de São Paulo (AMARAL, 2002), mostrando maior eficiência quando o ataque de cupins era intenso. Lima et al (2006), avaliaram o desempenho do resistógrafo para estimar a densidade básica da madeira de *Eucalyptus* e concluíram que a associação entre os valores de amplitude e de densidade básica foi alta, com valores de coeficientes de correlação bastante elevados.

3.6.2.4 Método do Ultrassom

O método de avaliação não destrutiva por ondas de ultrassom é caracterizado por frequências acima de 20000 Hz. Entre as vantagens de sua utilização, vale destacar o baixo custo de aquisição do equipamento se comparado ao das máquinas de classificação automática, e o treinamento relativamente simples da mão de obra para utilização do equipamento, possibilitando que o método seja facilmente difundido em revendedores e indústrias de madeiras e derivados (OLIVEIRA, 2001).

Este método baseia-se na propagação da onda no interior da madeira e na sua atenuação. A atenuação, segundo Ross e Pellerin (1985) é entendida como a dissipação da energia da onda original a medida que atravessa o material.

O ultrassom tem sido muito empregado para estimar as propriedades de postes, pontes, construções e árvores em pé, visto que por ser pequeno e portátil possibilita a aplicação direta no local onde as peças se encontram (ROSS, 1999).

O princípio básico desse método consiste na emissão de ondas ultrassônicas em uma determinada direção, através de um transdutor emissor, e na medição do tempo decorrido até a recepção dessa onda pelo transdutor receptor. A partir disso, conhecidas a velocidade de

viagem da onda e a densidade do material, calcula-se o módulo de elasticidade dinâmico (BARTHOLOMEU; GONÇALVES, 1998).

A qualidade da madeira está diretamente relacionada com a velocidade da onda, ou seja, quanto maior a velocidade maior será a homogeneidade do material. A geometria dos corpos de prova tem efeito decisivo no modo de propagação da onda sonora, pois as forças de tração, compressão e cisalhamento interferem na onda conforme esta interage com os contornos do corpo de prova, o que acaba dificultando, significativamente, a precisão das medições (BROWM, 1997).

A caracterização da madeira em termos de qualidade por meio de ensaio não destrutivo com a utilização do método do ultrassom tem se demonstrado um método bastante seguro e confiável, uma vez que seus resultados demonstram que existem fortes correlações entre a velocidade de propagação das ondas e a presença de defeitos (NADER; GONÇALVES, 2001).

3.6.2.5 Método da Emissão de Ondas de Tensão

O método das ondas de tensão também conhecido com Stress Wave Timer, baseia-se na teoria da propagação de ondas unidirecionais em objeto homogêneo e elástico. Embora a madeira não se enquadre nesses requisitos, diversos pesquisadores têm encontrado bons resultados com o uso deste método para diversas finalidades, como estimativa de propriedades mecânicas, avaliação de ataques biológicos, classificação de lâminas e peças maciças, entre outras (SILVEIRA, 2007).

A técnica de avaliação não destrutiva de ondas de tensão vem sendo investigada há mais de 30 anos e tem sido utilizada para diversas aplicações na indústria de produtos florestais. É o método acústico mais utilizado, onde as ondas sonoras são geradas a partir de um impacto ou de vibração forçada (SHIMOYAMA, 2005).

Devido à dificuldade de induzir uma vibração forçada ao objeto de avaliação, a maioria das pesquisas são conduzidas com base no método de impacto (PUEHRINGER, 2002).

Nesta metodologia, a aplicação e a medição das ondas de tensão consistem no posicionamento de dois transdutores acelerômetros sobre o material a ser avaliado, induzindo uma onda acústica ao material através do choque de um martelo, pêndulo ou outros materiais

quaisquer. Quando a onda alcança o acelerômetro de partida, uma contagem de tempo, em microssegundos, é iniciada no instrumento, e, quando esta atinge o acelerômetro de parada, a contagem de tempo cessa e o aparelho registra e mostra o tempo decorrido de trânsito da onda de tensão, entre os acelerômetros, através do material (SCHAD et al., 1996; MATOS, 1997).

Ross e Pellerin (1991) usaram este método para detectar indiretamente a presença de organismos xilófagos na madeira por meio da análise da velocidade de propagação da onda de tensão. Partindo do princípio de que a onda se propaga melhor em sólidos, infere-se que a presença de defeitos ou descontinuidades no material, não importando sua origem, resulta em um tempo maior para que a onda percorra a mesma distância, quando comparado a um material isento de defeitos.

Os autores supracitados obtiveram, para algumas das espécies ensaiadas, resultados bastante promissores, com a identificação de organismos xilófagos presentes na madeira em 93% dos casos em que elas efetivamente existiam.

De acordo com Wang et al (2001), as árvores em pé tendem a apresentar variáveis externas e condições adversas que podem interferir com maior intensidade na avaliação das propriedades da madeira através da aplicação de ondas de tensão, quando comparadas com produtos acabados, todavia estes autores ressaltam que é possível adaptar o método para uma avaliação mais eficaz.

Gabriel e Ballarin (2000) avaliaram a aplicabilidade do método de ondas de tensão na estimativa do módulo de elasticidade da madeira de *Pinus taeda*. Este estudo não somente confirmou a possibilidade de aplicação deste método, como também demonstrou que há uma maior correlação dos dados quando se usa a densidade aparente da madeira ao invés da densidade básica, alcançando valores, respectivamente, de 84,14% e 71,18% de correlação entre os dados.

Segundo os mesmos autores, esta constatação traz consigo um avanço significativo para a determinação da densidade, pois, facilita bastante o processo operacional de obtenção desta propriedade da madeira, uma vez que não se faz mais necessário a secagem de amostras em estufa para o cálculo de seu valor.

Em sua pesquisa com árvores de *Tsuga heterophylla* e *Picea sitchensis*, Wang et al. (2001) observaram alta correlação entre a velocidade de propagação das ondas de tensão e módulo de elasticidade determinados na árvore em pé com aqueles obtidos em amostras retiradas das mesmas árvores após o abate, indicando que a avaliação das propriedades na

árvore em pé é eficiente e confiável. Para estes autores este método pode ser empregado para diferentes situações, desde a árvore em pé até os produtos finais obtidos.

Segundo Shimoyama (2005), a técnica de avaliação das propriedades da madeira através de propagação de ondas de tensão apresenta algumas vantagens sobre os outros métodos acústicos, especialmente no que diz respeito ao equipamento utilizado nas avaliações que é bem mais simples, portátil, facilitando a avaliação em qualquer local, inclusive no campo, com baixo custo, possibilitando a aquisição do mesmo por pequenas indústrias para avaliação não destrutiva de vários produtos de madeira.

3.6.2.6 Método da Tomografia de Impulso

A tomografia de impulso baseia-se no princípio da cronometragem de ondas mecânicas para reconstrução de seções das árvores (RINNTECH, 2005). O tomógrafo de impulso é composto por sensores que são fixados em seções transversais do indivíduo que será avaliado.

Estes sensores recebem pancadas de martelo que produzem ondas mecânicas, cujos tempos de percurso entre os sensores são medidos, e suas velocidades calculadas pelo *software* do equipamento. A partir dos dados gera-se um gráfico de velocidade das ondas mecânicas, também chamado de imagem tomográfica.

Segundo Pereira et al (2007), a tomografia permite a reconstrução de seções transversais inteiras da árvore, por meio de informações fornecidas pela passagem de energia através da madeira.

Este equipamento é um grande avanço para a tecnologia da madeira, uma vez que não havia instrumentos que possibilitassem conhecer seções inteiras de árvores com tamanha rapidez e praticidade.

Os primeiros trabalhos a respeito de passagem de ondas mecânicas pelo interior do lenho para a avaliação de árvores datam da primeira metade dos anos 1980 (BUCUR, 1983), quando ondas de ultrassom foram aplicadas a indivíduos arbóreos para estudos a respeito da constante elástica no incremento do lenho e comparações com densitometria de raios-x.

Gilbert e Smiley (2004) utilizaram o tomógrafo de impulso na avaliação da qualidade do lenho de *Quercus alba* e *Carya* spp. Segundo os autores o método foi capaz de identificar espacialmente e quantitativamente as lesões observadas visualmente.

Os autores supracitados ressaltam que a utilização da tomografia de impulso representa um avanço em relação a outros métodos, tais como a avaliação por penetrômetro, uma vez que possibilita a visualização de uma seção transversal completa, permitindo a correta interpretação de lesões irregulares.

Pereira (2009) demonstrou em seu estudo que a tomografia de impulso pode ser uma ferramenta eficiente para estimar a densidade do lenho de árvores de *Caesalpinia echinata*, *Schizolobium parayba* e *Eucalyptus saligna*, quando as leituras do tomógrafo de impulso foram relacionados com a densimetria de raio X.

Wang e Allison (2008) avaliaram a precisão da tomografia de impulso ao compará-la com avaliação visual e leituras lineares de medição de estresse (*stress wave timer*) em dois indivíduos centenários de *Quercus rubra*, indicando que o método identificou a localização e magnitude aproximada dos tecidos lesionados nos indivíduos avaliados.

Rollo (2009) em seu estudo sobre Identificação de padrões de resposta à tomografia de impulso em tipuanas chegou à conclusão de que os resultados da análise do lenho de árvores sadias utilizando a tomografia de impulso foram melhores e mais confiáveis em relação ao uso do resistógrafo.

Segundo Rinntech (2005) a velocidade do impulso dentro da árvore está altamente correlacionada com a densidade, módulo de elasticidade e umidade do tecido, esta alta correlação possibilita a comparação entre valores dessas variáveis com os resultados obtidos pela tomografia de impulso.

4 MATERIAL E MÉTODOS

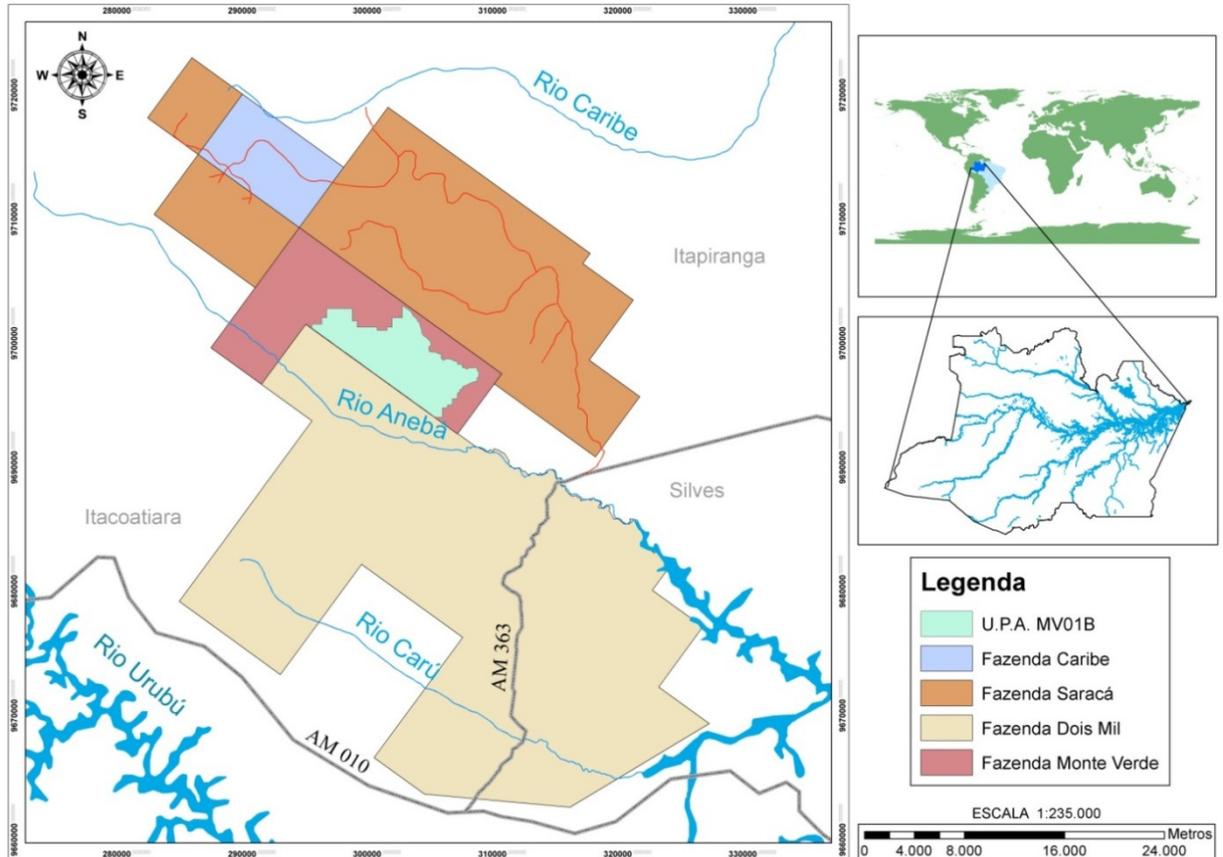
4.1 ÁREA DE ESTUDO

As pesquisas de campo foram conduzidas em duas áreas distintas. Na primeira área foram quantificadas e qualificadas árvores no pátio da empresa Madeireira Itacoatiara Ltda. em relação à ocorrência de ocós, e na segunda área foram realizados testes não destrutivos com os aparelhos Stress Wave Timer e Tomógrafo de Impulso.

4.1.1 Localização

A primeira área de pesquisa está localizada no município de Itacoatiara, no estado do Amazonas, no km 227 da Rodovia AM 010, entre os paralelos $02^{\circ} 43'$ e $03^{\circ} 04'$ de Latitude Sul e as Longitudes $58^{\circ} 31'$ e $58^{\circ} 57'$ Oeste de Greenwich, compreendendo uma área total de 122.729 hectares.

Figura 1 – Mapa da área maneja pela Empresa Madeireira Itacoatiara Ltda.



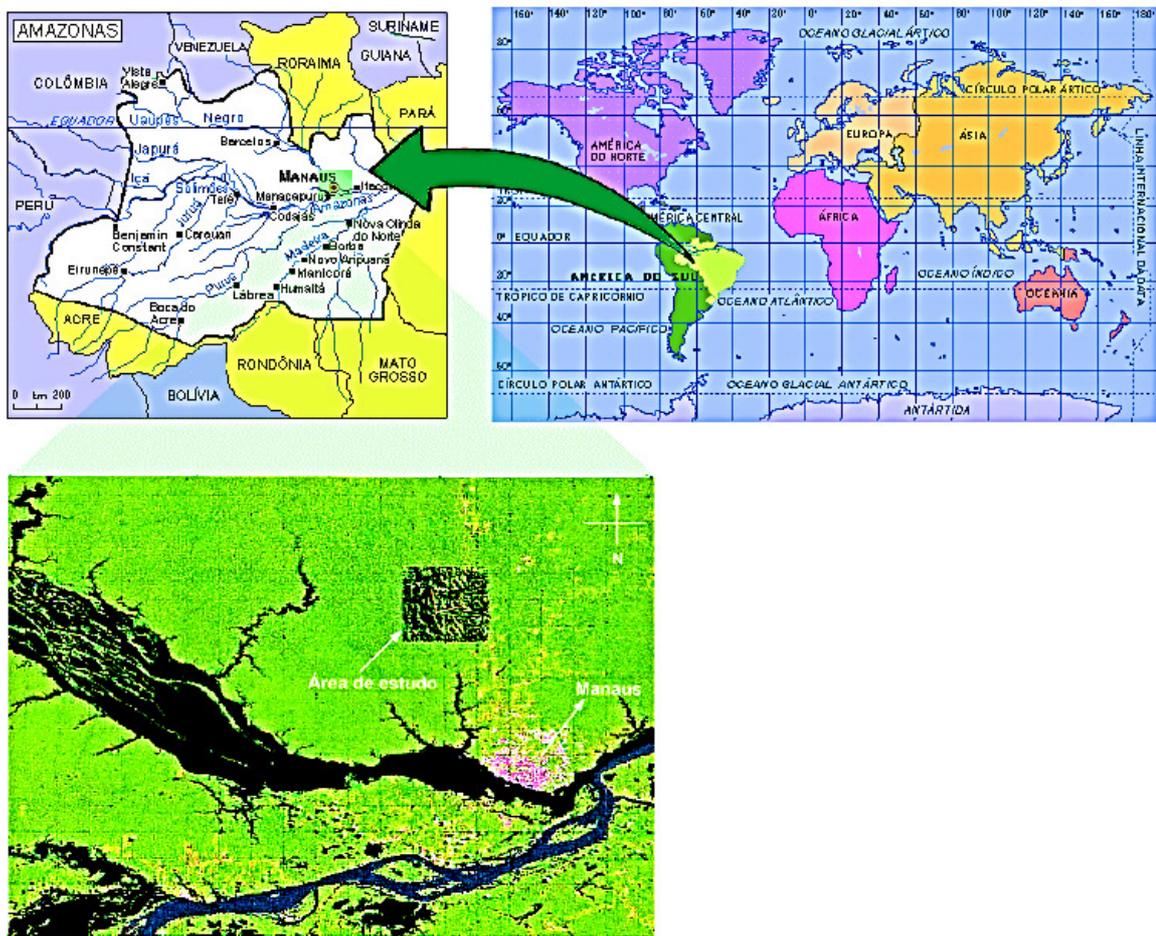
Fonte – Madeireira Itacoatiara Ltda – M.I. L – 2010.

A floresta da área de estudo classifica-se como Floresta Tropical Fechada de Terras Baixas, pertencente à sub-região dos baixos platôs da Bacia Amazônica, com clima quente e elevadas precipitações, (RADAMBRASIL, 1978).

A precipitação pluviométrica anual é de cerca de 2200 mm, com menor volume mensal entre agosto e outubro, com temperatura média é de 26 °C e a umidade relativa do ar é de 80%. Os solos estão classificados no grupo dos Latossolos Amarelos Distróficos, de acordo com o Mapa Geral de Solos do Brasil, com baixa fertilidade natural, alta toxidez de alumínio, e solos de textura argilosa.

A segunda área de estudo está localizada na Estação Experimental de Silvicultura Tropical do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (E.E.S.T./INPA) - Núcleo ZF-2 -, no km 23 da estrada vicinal ZF-2 que se inicia a esquerda do km 50 da Rodovia BR-174 (Manaus-Boa Vista) Figura 2.

Figura 2 – Localização geográfica da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (E.E.S.T./INPA) - Núcleo ZF-2



De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo “Amw”, caracterizado como quente e úmido durante o ano inteiro, é um clima tropical chuvoso, apresentando temperatura, precipitação e umidade relativamente elevadas.

Segundo Miranda (2002) a temperatura média anual é de 26,7°C, apresentando respectivamente, valores médios de 31,4°C e 23,3°C para as máximas e mínimas. A precipitação anual varia de 1400 a 2800 mm, com uma estação chuvosa de dezembro a maio e uma estação seca de junho a novembro (LUIZÃO, 1989).

Geologicamente predominam os arenitos caulínicos, argilitos, grauvacas e brechas intraformacionais da formação Alter do Chão, do Cretáceo superior (RANZANI, 1980). Os solos característicos destes platôs são Latossolos Amarelos, álicos, de textura argilosa (CHAUVEL et al., 1987). Debaixo de uma fina camada (2-3 cm) de folhas mortas, estes solos têm um horizonte A orgânico, com aproximadamente 30 cm de profundidade, que gradualmente enfraquece estruturalmente tornando-se um horizonte plástico que é primeiramente amarelo-amarronzado e depois amarelo.

A Estação Experimental de Silvicultura Tropical - ZF-2 é predominantemente coberta por uma típica floresta tropical úmida de terra firme da Amazônia, ou floresta densa tropical segundo a classificação de Radam (1978).

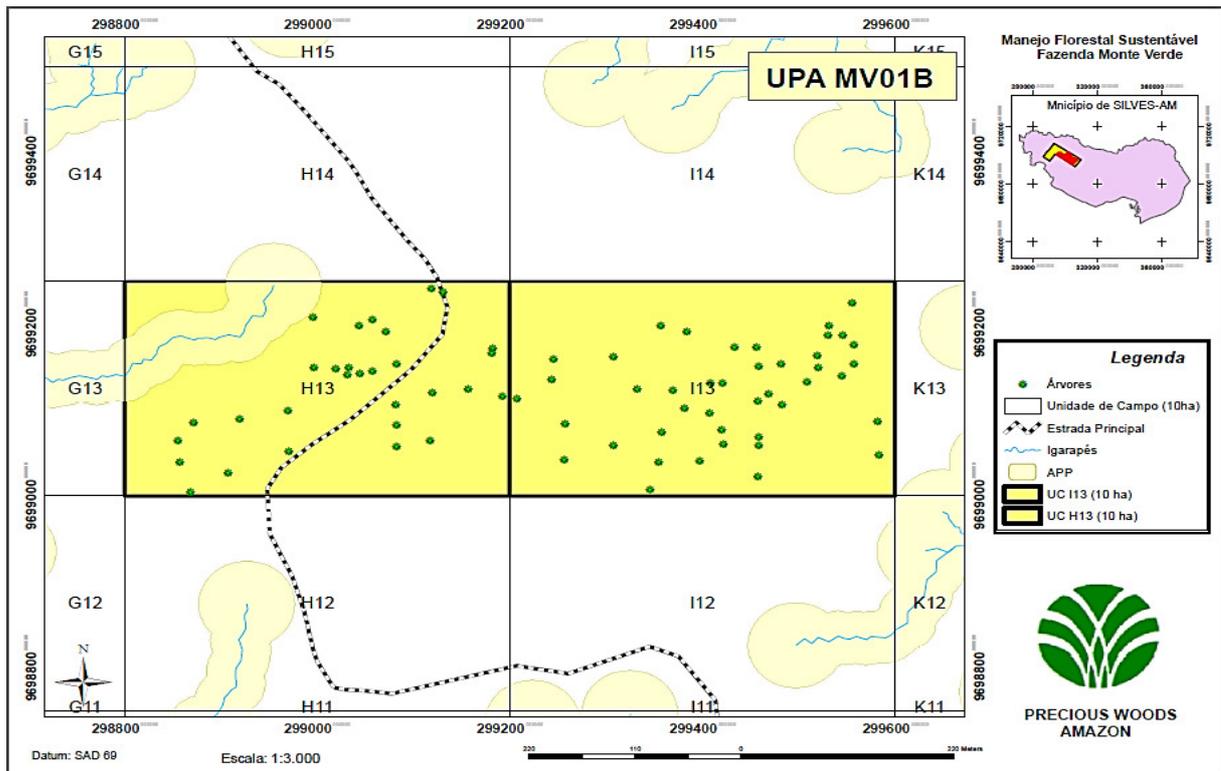
A paisagem vegetal é exuberante e homogênea com grande número de árvores altas e finas, sendo que a altura demais da metade destas encontra-se entre 14 e 25 m, com emergentes ocasionais estimadas em até 44 m. O dossel é uniforme e possui aspecto rugoso, com copas globosas, próximas umas das outras, resultando em pouca passagem de luz para os estratos inferiores (OLIVEIRA et al., 2002).

4.2 COLETA DE DADOS

4.2.1 Diagnóstico na Mil Madeireira

Esta etapa foi desenvolvida no pátio da Madeireira Itacoatiara Ltda. em toras resultantes da exploração de 88 árvores de duas unidades de campo (UC) H13 e I 13 (Figura 3). Foi realizada a análise do estado de sanidade das toras no pátio da empresa, mensurando o tamanho da ocosidade em cada tora para verificar o seu padrão de ocorrência em diferentes espécies nativas da Amazônia com o intuito de ter um melhor entendimento do processo de formação de ocos em árvores nativas.

Figura 3 – Mapa com a localização geográfica das árvores das unidades de campo H 13 e I 13.



Fonte – Madeireira Itacoatiara Ltda – M.I.L - 2010.

4.2.2 Seleção das árvores na ZF-2

Esta etapa foi desenvolvida em uma parcela de 01 hectare instalada na área da Estação Experimental de Silvicultura Tropical - ZF-2 onde foram inventariados todos os indivíduos arbóreos que se incluíam na classe de diâmetro de $25 \text{ cm} \leq \text{DAP} \leq 60 \text{ cm}$ (Figura 4), com exceção dos indivíduos que apresentaram sapopema acima do diâmetro a altura do peito (DAP), totalizando 128 árvores.

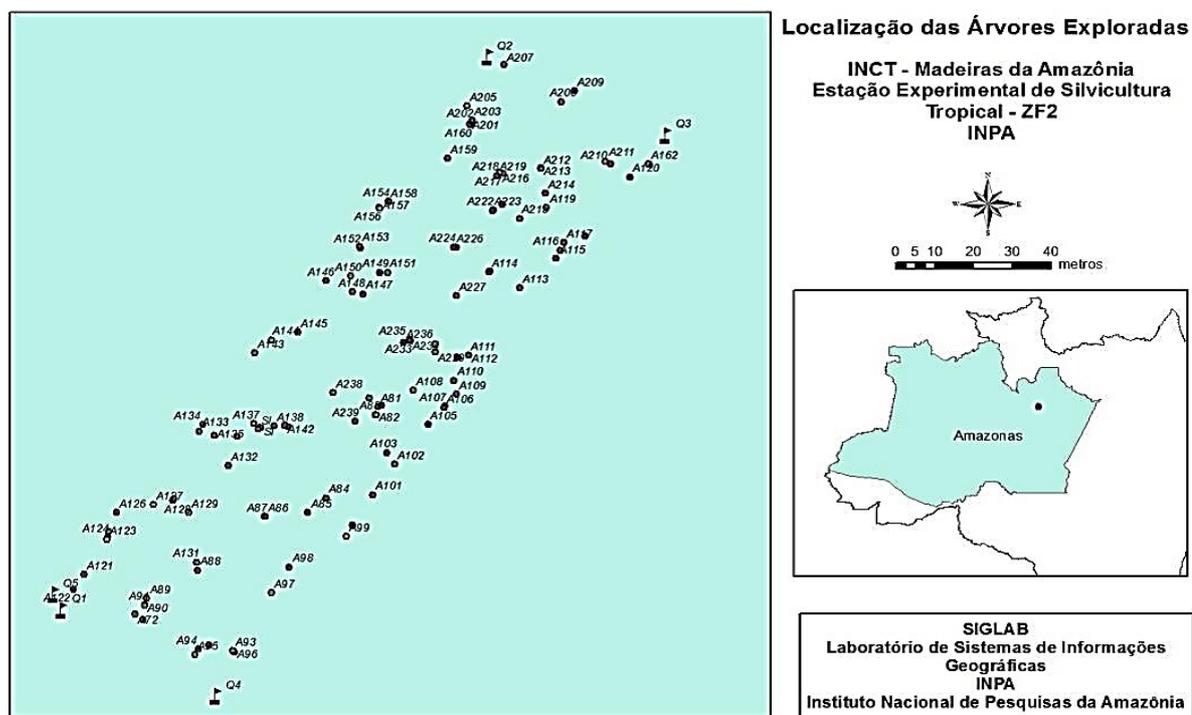
Figura 4 – Seleção e identificação das espécies arbóreas na Estação Experimental de Silvicultura Tropical - ZF-2. (A): Identificação da árvore e (B) Medição do diâmetro a 1,30 m do solo.



Após identificação dos indivíduos foram fixadas placas com numeração específica em seu fuste, registro de suas localizações com GPS modelo Garmin GPS MAP 62s (Figura 5) e medição do DAP com auxílio de uma fita diamétrica, sendo realizada a análise visual do estado de sanidade de cada árvore.

Neste momento, utilizando do método visual, foram registradas em uma planilha informações a respeito do estado de sanidade, se havia ou não a ocorrência de ocós visíveis, ataque de insetos como coleópteros, térmitas ou até mesmo se havia a ocorrência de fungos nas espécies estudadas.

Figura 5 – Mapa com a localização geográfica das árvores inventariadas.



Fonte: SIGLAB – INPA

Das 128 árvores inventariadas foram selecionados 19 indivíduos de maior ocorrência na área para análises com a metodologia não destrutiva de emissão de ondas de tensão e tomografia de impulso. A identificação foi realizada pelo Laboratório de Anatomia da Madeira – LAM/INPA

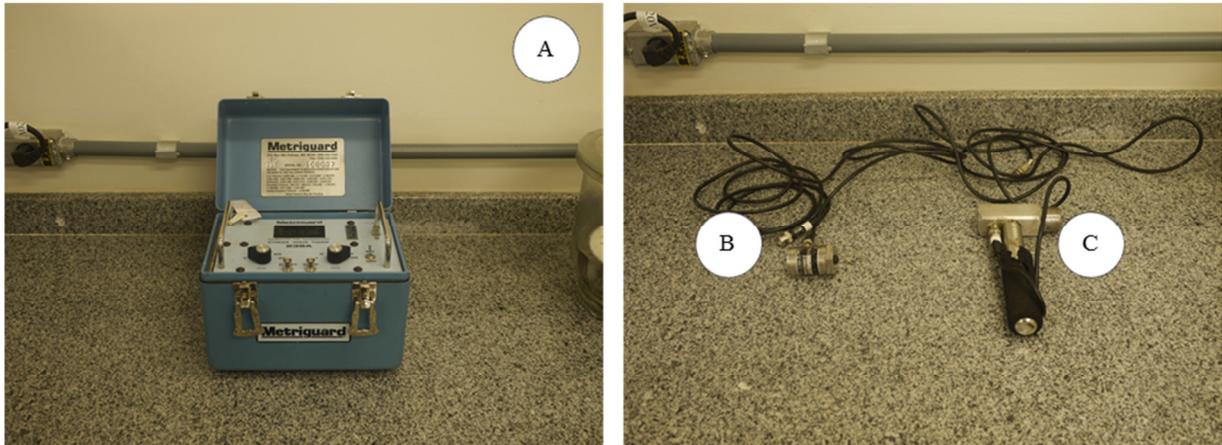
4.2.3 Avaliação das árvores selecionadas por método não destrutivo

A estimativa do estado de sanidade das árvores na ZF-2 foi efetuada por meio de medidas no DAP dos indivíduos, conforme item 4.2.2 com a utilização das técnicas não destrutivas de emissão de ondas de tensão e tomografia de impulso.

4.2.3.1 Método de emissão de ondas de tensão

Neste teste foi utilizado o aparelho Stress Wave Timer, modelo 239-A, da marca Metriguard com seus acessórios, conforme Figura 6.

Figura 6 - (A) Stress Wave Timer, (B) transdutor piezoelétrico e (C) martelo de impacto.



Foram aplicadas ondas de tensão em três direções (longitudinal, transversal e diagonal) da árvore por meio de impacto com o martelo e transdutor de chegada, acima de 20 cm do solo, conforme Figura 7.

Figura 7 – Determinação da velocidade de propagação de ondas de tensão com utilização do Stress Wave Timer. (A) Medição no sentido longitudinal e (B) Sentido transversal e (C) Sentido diagonal



Conforme recomendação de Puehringer (2002) tanto o impacto, quanto a recepção das ondas foi realizada diretamente na madeira, sem a casca, para evitar interferência da mesma sobre as ondas de tensão.

Foram efetuadas no mínimo quatro batidas em cada direção para obtenção do tempo de propagação de ondas, e a velocidade de propagação foi obtida pelo uso da expressão (1).

$$1) \quad V = \frac{d}{t}$$

Onde:

V = velocidade de propagação da onda (m/s);

d = distância entre os transdutores (m);

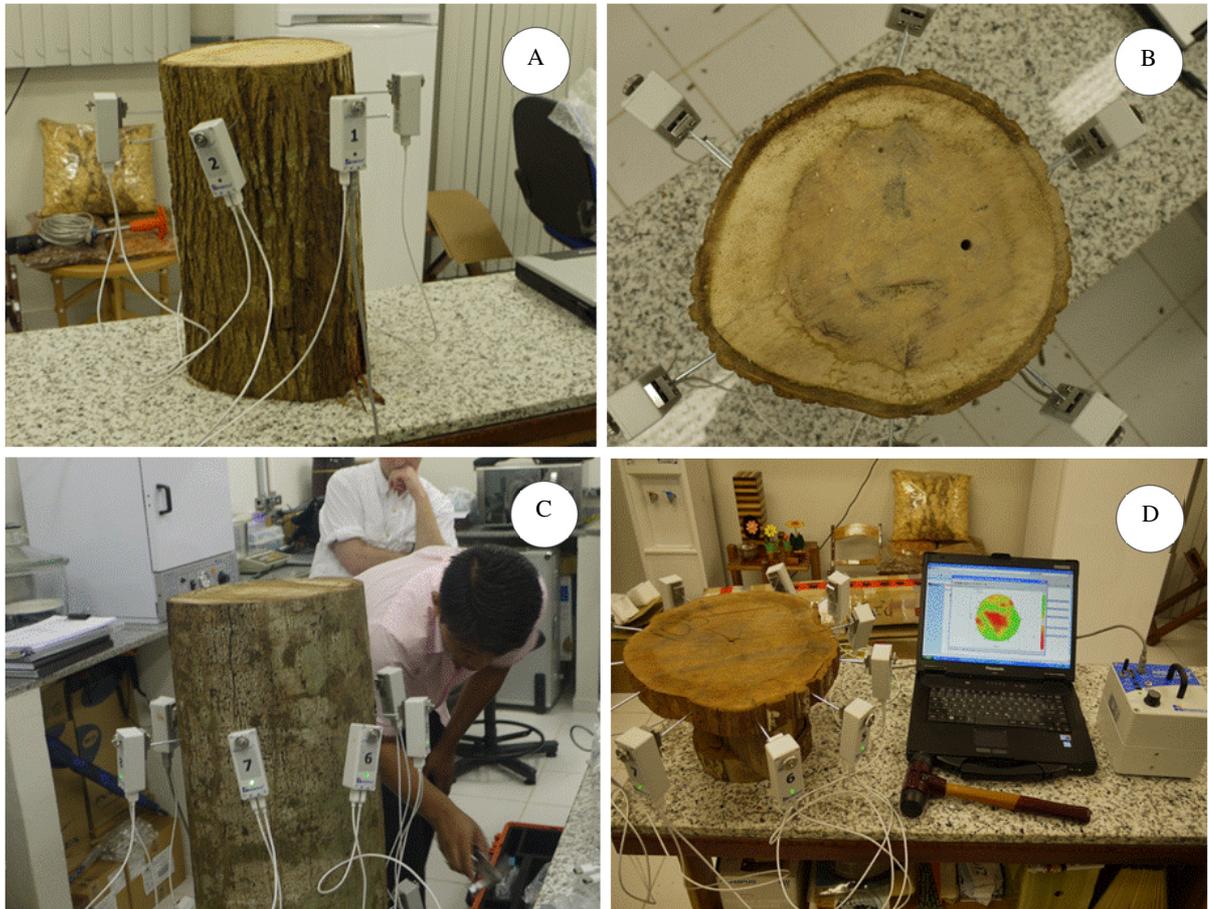
t = tempo de propagação da onda (s).

4.2.3.2 Avaliação da árvore em pé pelo método da tomografia de impulso

Nesta etapa do trabalho foi utilizado o equipamento Tomógrafo de impulso ARBOTOM[®], versão 2.01 em dezenove espécies arbóreas nativas da Amazônia.

Antes da avaliação das árvores em campo foi realizado um estudo prévio em um torete com 50 cm de comprimento e 30 cm de diâmetro da espécie *Mezilaurus itauba* (Itaúba) disponível no Laboratório de Engenharia de Artefatos de Madeira do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – LEAM/INPA com o intuito de efetuar a calibração do aparelho, conforme Figura 8.

Figura 8 – Etapas do estudo prévio para a calibração do Tomógrafo de Impulso no Laboratório de Engenharia de Artefatos de Madeira do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – LEAM/INPA. A: Encaixe dos leitores no torete, B: Vista da secção transversal com sensores, C: Pancadas com martelo para emissão das ondas e D: Recepção dos dados via computador.



O princípio de funcionamento deste equipamento está na determinação da velocidade de ondas mecânicas que percorrem o lenho das árvores por meio de uma fonte de emissão e de recepção de sensores instalados no tronco das árvores. As diferentes velocidades da onda mecânica formam uma imagem da seção transversal do tronco do indivíduo arbóreo com diferentes colorações.

Nas árvores em campo os sensores foram fixados com pregos a 02 cm de profundidade na altura do DAP em cada indivíduo selecionado. Estes foram numerados e dispostos no sentido horário no fuste da árvore e conectados entre si por um cabo e uma bateria interligada a um computador portátil, conforme Figura 9.

Figura 9 – (A) Coleta de dados na árvore em pé na altura do DAP, (B) Encaixe dos sensores e conexão dos cabos, (C) Pancadas com o martelo para emissão das ondas, (D) Recepção dos dados via computador.



Em cada sensor foi produzida uma onda de impacto através de pancadas de martelete, realizando no mínimo 05 batidas por sensor, ou até alcançar valor abaixo de 10% de erro da matriz Delta do software como recomendado pelo manual do equipamento (RINNTECH, 2005).

Essas ondas mecânicas percorreram o lenho até alcançarem todos os sensores e, assim, geraram os tempos de propagação da onda que foram utilizados no cálculo de sua velocidade. As velocidades das ondas entre os sensores são calculadas automaticamente pelo *software* ARBOTOM.

Um gráfico de velocidade de onda da seção transversal (imagem tomográfica) de cada árvore foi produzido. As variações da coloração nas imagens permitiram identificar as características distintas da madeira, geradas pelas diferentes velocidades de propagação de onda dentro do lenho (Figura 9D) que posteriormente foi analisada por meio do *software* Envi 4.8.

Para a interpretação das imagens foi utilizado o filtro “Rainbow” do *software* Arbotom com resolução de 1mm. No *software* Envi 4.8, por meio da Classificação Decision tree as imagens foram separadas em duas classes: cor azul – tecido sadio e cor vermelha – tecido deteriorado/oco. Com esta classificação este *software* foi capaz de quantificar a porcentagem de tecido sadio e tecido deteriorado/oco na secção estudada.

Para a validação dos resultados obtidos com a Tomografia de Impulso e também da análise do Envi 4.8 foram retiradas do fuste comercial das árvores pesquisadas, toras de 04 metros para registro da presença de quantidade de albarno, cerne e de dimensões da ocosidade do indivíduo. Ressalta-se que estas medições ocorreram na primeira tora da árvore selecionada, a contar de sua base, em função da avaliação realizada com o Stress Wave Timer e com o Tomógrafo de Impulso no DAP.

4.3 DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE MADEIRA POR ÁRVORE

O volume de madeira em tora por árvore foi medido após o abatimento do indivíduo arbóreo. A cubagem foi feita até a altura comercial da árvore utilizando o Método de Smalian, conforme descrito a seguir;

$$2) V = \frac{AS_1 + AS_2}{2} \cdot L$$

Em que:

V = volume da tora (m³);

AS₁ = área da seção transversal na extremidade 1 (m²);

AS₂ = área da seção transversal na extremidade 2 (m²);

L = comprimento da tora (m).

Para a obtenção do volume comercial da árvore foi medido o diâmetro a cada 02 metros, com o auxílio de uma suta até que fosse atingida a primeira bifurcação do indivíduo analisado.

O diâmetro do oco foi medido com o auxílio de fita métrica na base da tora, e na outra extremidade com ocorrência de oco, sendo anotadas a altura e a largura da ocosidade.

Com base nos resultados da cubagem foram realizadas as seguintes estimativas: (1) Volume de Madeira Total da Tora; (2) Volume da Ocosidade e (3) Volume de Madeira Útil da Tora, ou seja, a diferença entre Volume de Madeira Total da Tora e Volume da Ocosidade.

4.4 DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO DAS ÁRVORES

Após a avaliação da ocosidade e das dimensões da madeira do alburno e do cerne as toras das árvores foram desdobradas em peças comerciais para a quantificação do seu rendimento, sendo este avaliado tanto em árvores onde havia biodegradação, quanto naquelas onde não havia. O volume das peças foi determinado conforme descrito a seguir:

$$3) V = C \times L \times E$$

Em que:

V = Volume da peça em m³

C = Comprimento da peça (m);

L = Largura da peça (m);

E = Espessura da peça (m).

O rendimento em madeira serrada (R%) é obtido a partir da seguinte equação:

$$4) R = \frac{S}{T} \times 100$$

Em que:

R = Rendimento em %

S = Volume em madeira serrada (m³)

T = Volume de toras em m³ utilizado para obter S

4.5 ANÁLISE DOS DADOS

Para a análise dos dados foi utilizado o programa estatístico *Bioestat 5.0* com a utilização da estatística descritiva, onde foram calculadas as médias, desvio padrão, coeficiente de variação e todas as demais estatísticas.

Os resultados das velocidades de propagação de ondas no interior do lenho das árvores obtidos pelo método da emissão de ondas de tensão e tomografia de impulso foram comparados entre si, para avaliar se havia ou não diferença entre ambos.

Os resultados destes dois métodos também foram comparados com os resultados da avaliação da presença de oco das árvores após o processamento mecânico da madeira na serraria. A imagem tomográfica foi comparada com o estado de sanidade das árvores, quanto à presença ou ausência de ocosidade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 AVALIAÇÃO DAS TORAS NO PÁTIO MADEIREIRA ITACOATIARA LTDA.

Tomando como base a revisão bibliográfica realizada a respeito do rendimento em madeiras da Amazônia e por ter verificado que uma das causas do baixo rendimento do material lenhoso das árvores deve-se a presença de ocosidade no centro da tora, madeira do alburno e do cerne distinto e o processamento mecânico da madeira, tomou-se a decisão de acompanhar a exploração de uma área selecionada por uma empresa sediada no município de Itacoatiara no sentido de caracterizar o estado de sanidade do fuste das árvores exploradas.

Analisando os indivíduos arbóreos explorados constatou-se que as espécies que apresentaram alta densidade tiveram maior ocorrência de ocosidade e que muitas vezes esta situação ocorre basicamente da base até a altura do DAP, ocorrendo independentemente do diâmetro ou altura da árvore.

Na Tabela 1 são demonstrados os resultados da exploração das unidades de campo H13 e I13 da Madeireira Itacoatiara Ltda. para árvores em que há ocorrência de ocos. Constatou-se que em aproximadamente 16 % das árvores inventariadas havia a ocorrência de ocos.

A partir da análise dos dados desta tabela percebe-se que não há um padrão definido para a ocorrência de ocosidade em espécies florestais nativas, podendo este ocorrer a partir da base da árvore e seguir por toda a extensão do fuste, somente na base ou até mesmo ocorrer acima do DAP.

Resultados semelhantes foram encontrados por Dias (2011) quando caracterizou várias toras de espécies diferentes no pátio desta mesma empresa. A presença de ocosidade proporciona incidência de rachadura durante e após o abate das árvores.

Entre as espécies inventariadas e selecionadas para a exploração, a espécie que teve a maior ocorrência de ocosidade no seu fuste foi a espécie *Brosimum parinarioides* Ducke (Amapá), seguida de *Brosimum rubecens* Taub. (Muirapiranga) e *Ocotea neesiana* (Miq.) Kosten (Louro preto). Nesta última espécie apresentada 2/3 das árvores apresentavam ocos.

A ocorrência de ocos nas árvores está relacionada com a queda de galhos causada por ventos, raios, cipós, idade, fogo, e ataque de insetos como cupins, larvas de besouros, fungos, bactérias, abertura de clareiras e poda natural de galhos mais baixos. (GIBBONS; LINDENMAYER, 1997; NOGUEIRA; NELSON, 2003). Injúrias no cerne das árvores podem permitir a entrada de fungos que por sua vez, facilitam a entrada de cupins e outros insetos.

As árvores adultas das florestas tropicais apresentam elevada porcentagem de incidência de podridão do lenho, resultando no oco do tronco. Este defeito pode ocorrer de forma diferenciada nas diferentes espécies e dentro de uma mesma espécie, como detectado por Dias (2011) quando diagnosticou algumas toras para fabricação de produtos de madeira.

Tabela 1 – Ocorrência de ocos em 06 espécies arbóreas da área de Manejo da Madeireira Itacoatiara Ltda.

Árv.	Espécie	Indivíduos		Ct	Dimensões		Volume	
		N	Nc		P1	P2	Vc	Vo (%)
191				17,24	17x17	-	3,528	11,09
223				13,00	15x12	-	1,369	13,59
228				11,73	41x37	23x23		
				11,20	23x23	15x15	3,641	35,04
230	<i>Brosimum parinarioides</i> Ducke	13	07	16,09	30x28	-	4,413	24,08
154				11,62	35x35	-	2,695	41,48
254				11,4	25x20	-	2,273	20,39
290				10,92	32x30	-	3,392	23,53
54	<i>Goupia glabra</i> Aubl.	02	01	18,08	35x30	-	3,304	45,39
212	<i>Nectandra rubra</i> (Mez) C. K. Allen	07	01	12,53	22x17	-	3,008	12,44
45				16,57	25x23	-	3,338	22,45
178	<i>Ocotea neesiana</i> (Miq.) Kosten	03	02	15,50	24x22	-	3,338	19,29
195				8,35	25x20	-	1,949	17,03
167	<i>Brosimum rubecens</i> Taub.	17	02	9,08	-	14x12	1,266	9,51
41	<i>Couratari guianensis</i> Aubl	05	01	13,05	15x15	-	3,327	6,93

N: número de indivíduos inventariados; Nc: numero de indivíduos com oco; Ct: comprimento da tora; P1 e P2 dimensões dos ocos nas extremidades 1 e 2 respectivamente; Vc: volume comercial e Vo: volume do oco

Moreschi (2005) relata que em vários trabalhos os extrativos são considerados responsáveis pela maior ou menor suscetibilidade da madeira a agentes deterioradores ou pela resistência natural da madeira. Algumas espécies são ricas em compostos fenólicos ou compostos com ação biocida, proporcionando maior durabilidade em condições ambientais favoráveis a agentes deterioradores.

A presença de oco e lesões pode ser apontada como uma das razões para o baixo rendimento do manejo em florestas nativas. Algumas espécies de valor comercial ou estratégico possuem ocos, o que inviabiliza economicamente a extração de madeira para o setor madeireiro, trazendo prejuízos aos produtores que exploram de forma legal a floresta.

A maneira mais comum de se detectar ocos de árvores em áreas de manejo florestal se dá através da introdução do sabre da motosserra no interior do lenho da árvore pelo seu operador. Esta metodologia consiste em avaliar a resistência à penetração do sabre na árvore para poder deduzir se há ou não a presença de oco.

Esta metodologia para determinação da existência ou não de ocos em indivíduos arbóreos é bastante subjetiva, pois depende exclusivamente da experiência e perícia do operador de motosserra, que em muitos casos é remunerado de acordo com o número de árvores derrubadas.

Como mencionado anteriormente a degradação da madeira nem sempre se inicia da base da árvore, dessa forma a utilização de novas metodologias mais precisas, ainda em campo, com a utilização de novos equipamentos é de suma importância para a sustentabilidade do manejo florestal

5.2 AVALIAÇÃO DO ESTADO DE SANIDADE DE ÁRVORES EM PÉ NA FLORESTA POR METODOLOGIA NÃO DESTRUTIVA

Várias pesquisas têm sido desenvolvidas no sentido de avaliar a qualidade da madeira por método não destrutivo em peças estruturais. Porém, poucos trabalhos têm sido voltados para estimativa da qualidade do material lenhoso da árvore ainda em pé na floresta de forma a avaliar o real valor comercial do material inventariado.

Em projetos executados pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, financiados pelo BASA/CNPq/FAPEAM, no período de 2002 a 2010 utilizou-se o aparelho Resistógrafo modelo 4452 – P no sentido de calibrá-lo em diferentes espécies de madeiras

Amazônicas, porém, para algumas não apresentou resultado satisfatório, devido tais espécies, em sua maioria, serem de média a alta densidade, não permitindo a penetração da agulha para leitura e registro da densidade e das lesões internas das árvores, como no caso espécies *Brosimum rubescens* e *Dipteryx odorata*.

Entretanto, obteve resultados satisfatórios para espécies de média a baixa densidade, como nos casos de *Simaruba amara* e *Scleronema micranthum*, comprovando sua eficiência para registrar o perfil do material lenhoso e material degradado, como também para ser utilizado em espécies com estas características.

5.2.1 Avaliação da velocidade de propagação de ondas de tensão nas árvores em pé

Na análise visual externa das árvores selecionadas não foi constatado ataque de insetos, nem a ocorrência de ocos visíveis para os 19 indivíduos arbóreos selecionados.

Tabela 2 – Identificação botânica dos 19 indivíduos arbóreos selecionados

Árvore	Família	Nome científico	Nome vulgar
105	Lecythidaceae	<i>Eschweilera coriacea</i> (A. DC.) Mori.	Peãozinho
106	Lecythidaceae	<i>Eschweilera coriacea</i> (A. DC.) Mori.	Peãozinho
223	Lecythidaceae	<i>Eschweilera coriacea</i> (A. DC.) Mori.	Peãozinho
236	Lecythidaceae	<i>Eschweilera coriacea</i> (A. DC.) Mori.	Peãozinho
116	Lecythidaceae	<i>Eschweilera odora</i> (Poepp.) Miers.	Matamatá
125	Lecythidaceae	<i>Eschweilera odora</i> (Poepp.) Miers.	Matamatá
128	Lecythidaceae	<i>Eschweilera odora</i> (Poepp.) Miers.	Matamatá
89	Burseraceae	<i>Protium puncticulatum</i> J. F. Macbr.	Breu – vermelho
220	Burseraceae	<i>Protium tenuifolium</i> Engl.	Breu – vermelho
239	Burseraceae	<i>Protium tenuifolium</i> Engl.	Breu – vermelho
92	Malpighiaceae	<i>Byrsonima crista</i> Juss.	Murici
94	Malpighiaceae	<i>Byrsonima crista</i> Juss.	Murici
97	Malpighiaceae	<i>Byrsonima crista</i> Juss.	Murici
130	Mimosaceae	<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.	Ingá – vermelho
210	Mimosaceae	<i>Inga paraenses</i> Ducke	Ingá – vermelho
217	Mimosaceae	<i>Inga</i> sp	Ingá – vermelho
140	Sapotaceae	<i>Manilkara amazonica</i> (Huber.) Standl.	Maparajuba
160	Sapotaceae	<i>Pouteria guynensis</i> Aubl.	Abiurana
136	Fabaceae	<i>Swartzia recurva</i> Poepp.	Muiragibóia

O aparelho Stress Wave Timer vem sendo utilizado com sucesso para determinação da qualidade da madeira em toras e em peças desdobradas. Entretanto quando tratamos do uso deste aparelho para árvores em pé (viva) são raros os trabalhos que utilizam este método não destrutivo. Na literatura não foram encontrados trabalhos que tenham utilizado este método em espécies nativas da Amazônia com as árvores ainda em pé.

Na Tabela 3 são apresentadas as médias e os coeficientes de variação da velocidade da propagação de ondas para os 19 indivíduos avaliados nos sentidos longitudinal, transversal e diagonal.

Tabela 3 – Médias e Coeficientes de variação das velocidades obtidas para os três sentidos avaliados nos indivíduos selecionados.

Árv	Nome científico	DAP (cm)	Velocidade					
			Longitudinal		Transversal		Diagonal	
			MD (m/s)	CV (%)	MD (m/s)	CV (%)	MD (m/s)	CV (%)
105	<i>Eschweilera coriacea</i> (A. DC.) Mori.	44,8	478,9	3,53	772,9	11,82	1152,0	8,57
106	<i>Eschweilera coriacea</i> (A. DC.) Mori.	30,5	423,2	10,72	574,3	5,78	1316,4	1,54
223	<i>Eschweilera coriacea</i> (A. DC.) Mori.	36,2	647,2	10,09	846,7	3,97	1567,5	4,62
236	<i>Eschweilera coriacea</i> (A. DC.) Mori.	31,2	484,0	8,13	912,8	9,37	1353,4	3,20
116	<i>Eschweilera odora</i> (Poepp.) Miers.	31,0	588,9	8,56	883,4	7,03	1457,2	3,06
125	<i>Eschweilera odora</i> (Poepp.) Miers.	34,2	343,5	4,38	1124,6	4,32	1065,3	3,26
128	<i>Eschweilera odora</i> (Poepp.) Miers.	40,8	535,2	12,76	1023,2	5,15	1109,7	4,80
89	<i>Protium puncticulatum</i> J. F. Macbr.	30,0	368,0	7,29	779,7	7,29	951,9	2,25
220	<i>Protium tenuifolium</i> Engl.	29,5	473,4	6,84	906,5	11,18	1160,3	5,63
239	<i>Protium tenuifolium</i> Engl.	38,0	504,4	6,19	1398,3	7,03	1234,6	6,16
92	<i>Byrsonima crispa</i> Juss.	32,5	511,1	5,74	740,4	12,86	1395,8	8,61
94	<i>Byrsonima crispa</i> Juss.	31,4	517,5	2,05	806,3	2,93	1514,5	6,95
97	<i>Byrsonima crispa</i> Juss.	31,4	395,6	11,28	494,4	15,02	1100,8	3,84
130	<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.	41,5	538,9	12,57	473,2	5,18	1043,2	2,53
210	<i>Inga paraenses</i> Ducke	42,0	579,3	5,25	960,1	8,63	1222,9	8,16
217	<i>Inga sp</i>	31,0	504,9	5,27	925,0	8,06	1300,7	5,31
140	<i>Manilkara amazonica</i> (Huber.) Standl.	57,0	669,5	4,21	1044,6	3,32	1305,7	1,40
160	<i>Pouteria guynensis</i> Aubl.	32,0	408,6	4,58	982,6	9,64	1471,4	2,30
136	<i>Swartzia recurva</i> Poepp.	38,0	447,85	17,14	533,47	5,47	1077,20	2,09

MD: Média das velocidades; CV: Coeficientes de variação.

As maiores médias de velocidades de ondas de tensão foram encontradas no sentido diagonal para os diferentes indivíduos avaliados, variando de 951,9 a 1567,5 m/s, com exceção dos indivíduos 125 (*Eschweilera odora* (Poepp.) Miers) e 239 (*Protium tenuifolium* Engl.) que obtiveram maiores médias para o sentido transversal.

As médias das velocidades no sentido transversal variaram de 473,2 a 1398,3. Quanto a sua distribuição observa-se comportamento semelhante aos obtidos no sentido diagonal entre as árvores da espécie *Byrsonina crispa* e da *Eschweilera odora*.

Entende-se que a velocidade da onda assinala a rapidez de seu movimento, verificando em seu percurso a existência de possíveis barreiras ou deteriorações. Estes obstáculos influenciam diretamente a velocidade da onda, sendo a velocidade maior para tecidos homogêneos e menor para tecidos heterogêneos.

Diversos fatores podem estar influenciando esta variação como a constituição anatômica da madeira, ataque de organismos, quantidade de água existente na estrutura da madeira, quantidade da madeira do alburno e do cerne e a tensão interna.

Puehringer (2002) avaliando o comportamento das ondas de tensão em árvore em pé da espécie *Pinus taeda* L, encontrou velocidade variando de 285,53 a 558,93 m/s no sentido transversal e 157,78 a 272,9 m/s no sentido diagonal.

Castelo (2007) em seu estudo com a mesma espécie encontrou valores no sentido transversal que variaram de 504,22 a 525,01 m/s. Já Shimoyama (2005) encontrou valores no sentido diagonal, oscilando de 596 a 831m/s.

Os valores obtidos nos trabalhos supracitados foram inferiores aos encontrados para esta pesquisa. Esta divergência pode ser explicada pela natureza distinta das espécies estudadas. No caso dos trabalhos acima descritos são estudadas madeiras de baixa densidade, enquanto que as espécies avaliadas neste trabalho são de média a alta densidade de acordo com a literatura.

As menores velocidades foram observadas na direção longitudinal, em razão da descontinuidade dos elementos estruturais ao longo da direção da propagação de ondas. Considerando os três sentidos avaliados, o diagonal apresentou dados mais homogêneos quanto a sua velocidade, entende-se, dessa forma, que este sentido seja o mais indicado para avaliação do material lenhoso com a utilização desta técnica.

Zhang et al (2009) em sua pesquisa para avaliar como as ondas de tensão se propagam em árvores em pé chegaram a conclusão que a velocidade de propagação destas ondas é afetada pelo diâmetro da árvore e pela presença de defeitos internos.

Com base nos resultados alcançados nesta etapa da pesquisa não é possível afirmar apenas com a os dados da velocidade obtidos com a utilização do aparelho Stress Wave Timer se existe ou não a presença de ocosidade nas árvores em pé na floresta.

5.2.2 Avaliação do estado de sanidade das árvores por meio da imagem tomográfica e da análise visual

A avaliação do estado de sanidade interna da árvore ainda em pé na floresta é uma informação de extrema importância para o manejo florestal sustentável. Com estes dados pode-se planejar de forma mais eficiente as atividades de exploração, maximizando o capital investido, deixando de abater indivíduos com defeitos internos que elevam os custos com mão de obra, maquinário e transporte, o que encarece, significativamente, a cadeia produtiva deste setor.

O inventário de qualidade pode ser visto como uma medida de prevenção de acidentes visto que um considerável número de sinistros tem como causa o abate de árvores deterioradas.

Outra vertente que é contemplada com a implantação desta metodologia diz respeito à questão ecológica com a permanência de indivíduos arbóreos na floresta que continuarão desempenhando sua função ecológica, seja como árvore porta semente, abrigo de animais, entre outras.

A avaliação não destrutiva a partir da aplicação da tomografia de impulso possibilitou a reconstrução da secção transversal do indivíduo arbóreo na altura de seu DAP, formando uma imagem com as características internas do lenho, permitindo a interpretação por meio da verificação da diferença de tonalidade das cores, indicando tecido sadio (coloração azul/verde) e tecido deteriorado (coloração vermelha/alaranjada).

Para que o método da tomografia de impulso tenha um resultado satisfatório é de suma importância que se detenha o conhecimento da velocidade de propagação das ondas que possam representar lesões internas para cada indivíduo analisado. Partindo desta premissa foi realizada uma crítica aos dados das velocidades de ondas mecânicas para os 19 indivíduos

arbóreos avaliados com a retirada de outliers que não representavam o real estado de sanidade das árvores.

A comparação entre os dados obtidos com a tomografia de impulso e com a análise visual demonstrou que a leitura do tomógrafo foi capaz de estimar as condições internas do fuste dos 19 indivíduos arbóreos estudados. Foi detectada a presença de ocosidade de forma eficaz nos indivíduos 105, 106, 160, 210, 236 e equivocada nos indivíduos 130 e 220 que não apresentaram tecido deteriorado na avaliação visual, conforme Tabela 4.

Tabela 4 – Comparação do estado de sanidade do lenho obtido pela análise visual e pela imagem tomográfica

Árvore	Nome científico	Análise do tecido lenhoso (%)			
		Análise visual		Imagem tomográfica	
		Sadio	Deteriorado	Sadio	Deteriorado
105	<i>Eschweilera coriacea</i> (A. DC.) Mori.	90,61	9,39	91,34	8,66
106	<i>Eschweilera coriacea</i> (A. DC.) Mori.	91,40	8,60	84,00	16,00
223	<i>Eschweilera coriacea</i> (A. DC.) Mori.	100,00	0,00	96,46	3,54
236	<i>Eschweilera coriacea</i> (A. DC.) Mori.	85,46	14,54	89,66	10,34
116	<i>Eschweilera odora</i> (Poepp.) Miers.	100,00	0,00	99,46	0,54
125	<i>Eschweilera odora</i> (Poepp.) Miers.	100,00	0,00	100,00	0,00
128	<i>Eschweilera odora</i> (Poepp.) Miers.	100,00	0,00	100,00	0,00
89	<i>Protium puncticulatum</i> J. F. Macbr.	100,00	0,00	100,00	0,00
220	<i>Protium tenuifolium</i> Engl.	100,00	0,00	91,67	8,33
239	<i>Protium tenuifolium</i> Engl.	100,00	0,00	100,00	0,00
92	<i>Byrsonima crispera</i> Juss.	100,00	0,00	100,00	0,00
94	<i>Byrsonima crispera</i> Juss.	100,00	0,00	100,00	0,00
97	<i>Byrsonima crispera</i> Juss.	100,00	0,00	100,00	0,00
130	<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.	100,00	0,00	96,29	3,71
210	<i>Inga paraenses</i> Ducke	98,75	1,25	86,13	13,87
217	<i>Inga sp</i>	100,00	0,00	100,00	0,00
140	<i>Manilkara amazonica</i> (Huber.) Standl.	100,00	0,00	100,00	0,00
160	<i>Pouteria guynensis</i> Aubl.	99,49	0,51	97,97	2,03
136	<i>Swartzia recurva</i> Poepp.	100,00	0,00	97,47	2,53

Nas árvores 130 e 220 a deterioração apontada pela leitura do tomógrafo ocorre na área central da secção estudada. Deduz-se para o indivíduo 130 que a leitura do tomógrafo

possa ter identificado a região medular, onde a velocidade tende a ser menor. Já para o indivíduo 220 não há uma explicação plausível para a área deteriorada pelo tomógrafo, podendo este ser considerado um erro de calibração do aparelho para este indivíduo, não o caracterizando de forma eficiente.

Para os indivíduos 116, 136 e 223 não há defeito na análise visual, entretanto a tomografia de impulso aponta deterioração na área periférica da secção transversal do DAP da árvore entre os sensores 1-7 (116), 7-8 (136), 6-7 e 7-8 (223). Nestas regiões são indicadas reduções de velocidade de onda. Esta incoerência, possivelmente, deve-se a problemas de sensibilidade na emissão/recepção das ondas entre os sensores ou até mesmo ser consequência de uma curta distância entre estes.

Rollo (2009) ao avaliar o padrão de resposta de indivíduos de Tipuanas (*Tipuana tipu* (Benth.) O. Kuntze) afirma que as informações a respeito de lesões internas no interior do lenho geradas pela tomografia de impulso representam de forma precisa e confiável as lesões presentes para cada seção avaliada,

Gilbert e Smiley (2004) utilizaram o tomógrafo de impulso na avaliação da qualidade do lenho de *Quercus alba* e *Carya* sp e de acordo com estes autores o método foi capaz de identificar espacialmente e quantitativamente as lesões observadas visualmente, o que corrobora os resultados deste estudo.

Uliana (2011) analisando a resposta da tomografia de impulso em indivíduos de Massaranduba (*Manilkara huberi*) afirma que este método superestima a área deteriorada de 7 a 15%, não se mostrando eficiente para diferenciar tecido deteriorado de tecido sadio para *Manilkara huberi* em indivíduos acima de 90 cm de DAP.

Esta autora afirma que o rendimento de desdobro fica comprometido em árvores com volume de oco superior a 15%. Esta autora ressalta que toras ocas tendem a ter maior uma susceptibilidade a rachaduras do que toras sem oco. Isso se converte em rendimento mais baixo, pois se torna necessária uma maior quantidade de operações para sanar o defeito, implicando, até mesmo, em descarte do material comprometido.

Esta afirmação diverge dos resultados do trabalho de Danielli (2013) que não encontrou diferenças estatísticas no rendimento de toras ocadas e não ocadas para a espécie de *Manilkara spp.*

A utilização do aparelho para auxiliar na tomada de decisão para o corte das árvores analisadas se mostrou eficiente, pois não houve divergência na tomada de decisão para o corte das árvores.

Tabela 5 – Análise da tomada de decisão do corte das árvores a partir da tomografia de impulso e situação real de corte.

Árvore	Nome científico	Tomada de decisão para corte da árvore	
		Imagem Tomográfica	Situação real
105	<i>Eschweilera coriacea</i> (A. DC.) Mori.	Sim	Sim
106	<i>Eschweilera coriacea</i> (A. DC.) Mori.	Sim	Sim
223	<i>Eschweilera coriacea</i> (A. DC.) Mori.	Sim	Sim
236	<i>Eschweilera coriacea</i> (A. DC.) Mori.	Sim	Sim
116	<i>Eschweilera odora</i> (Poepp.) Miers.	Sim	Sim
125	<i>Eschweilera odora</i> (Poepp.) Miers.	Sim	Sim
128	<i>Eschweilera odora</i> (Poepp.) Miers.	Sim	Sim
89	<i>Protium puncticulatum</i> J. F. Macbr.	Sim	Sim
220	<i>Protium tenuifolium</i> Engl.	Sim	Sim
239	<i>Protium tenuifolium</i> Engl.	Sim	Sim
92	<i>Byrsonima crispera</i> Juss.	Sim	Sim
94	<i>Byrsonima crispera</i> Juss.	Sim	Sim
97	<i>Byrsonima crispera</i> Juss.	Sim	Sim
130	<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.	Sim	Sim
210	<i>Inga paraenses</i> Ducke	Sim	Sim
217	<i>Inga sp</i>	Sim	Sim
140	<i>Manilkara amazônica</i> (Huber.) Standl.	Sim	Sim
160	<i>Pouteria guynensis</i> Aubl.	Sim	Sim
136	<i>Swartzia recurva</i> Poepp.	Sim	Sim

Barreto et al (1998) demonstrou em seu trabalho que o custo da derrubada de árvores aplicando técnicas de manejo florestal foi de U\$ 0,25/m³ (com 3 pessoas) e U\$ 0,31/ m³ (com 2 pessoas). Percebe-se, dessa forma, que a exploração madeireira não é uma atividade de baixo custo e que a retirada de indivíduos arbóreos com lesões internas grandes compromete a exploração madeireira do ponto de vista econômico, pois há pouco aproveitamento do material colhido.

Portanto, o uso do aparelho na tomada de decisão de corte é uma importante ferramenta para um melhor planejamento do manejo florestal, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental. A introdução deste método pode evitar o corte desnecessário de árvores que não seriam aproveitadas de forma satisfatória no desdobro da madeira e, que também deixariam de exercer seu papel ecológico na floresta.

Entretanto, deve-se levar em consideração o uso final a qual a madeira a se explorada vai ser destinada, podendo haver a viabilidade de exploração, mesmo quando da presença de ocosidade, devido ao valor comercial da madeira.

Para cada indivíduo arbóreo foi feita uma ficha comparando os resultados do tomógrafo de impulso, da análise pela Classificação Decision tree e da análise visual (Figuras 10 a 28).

Árvore 105 – *Eschweilera coriacea* (A.DC.) Mori.

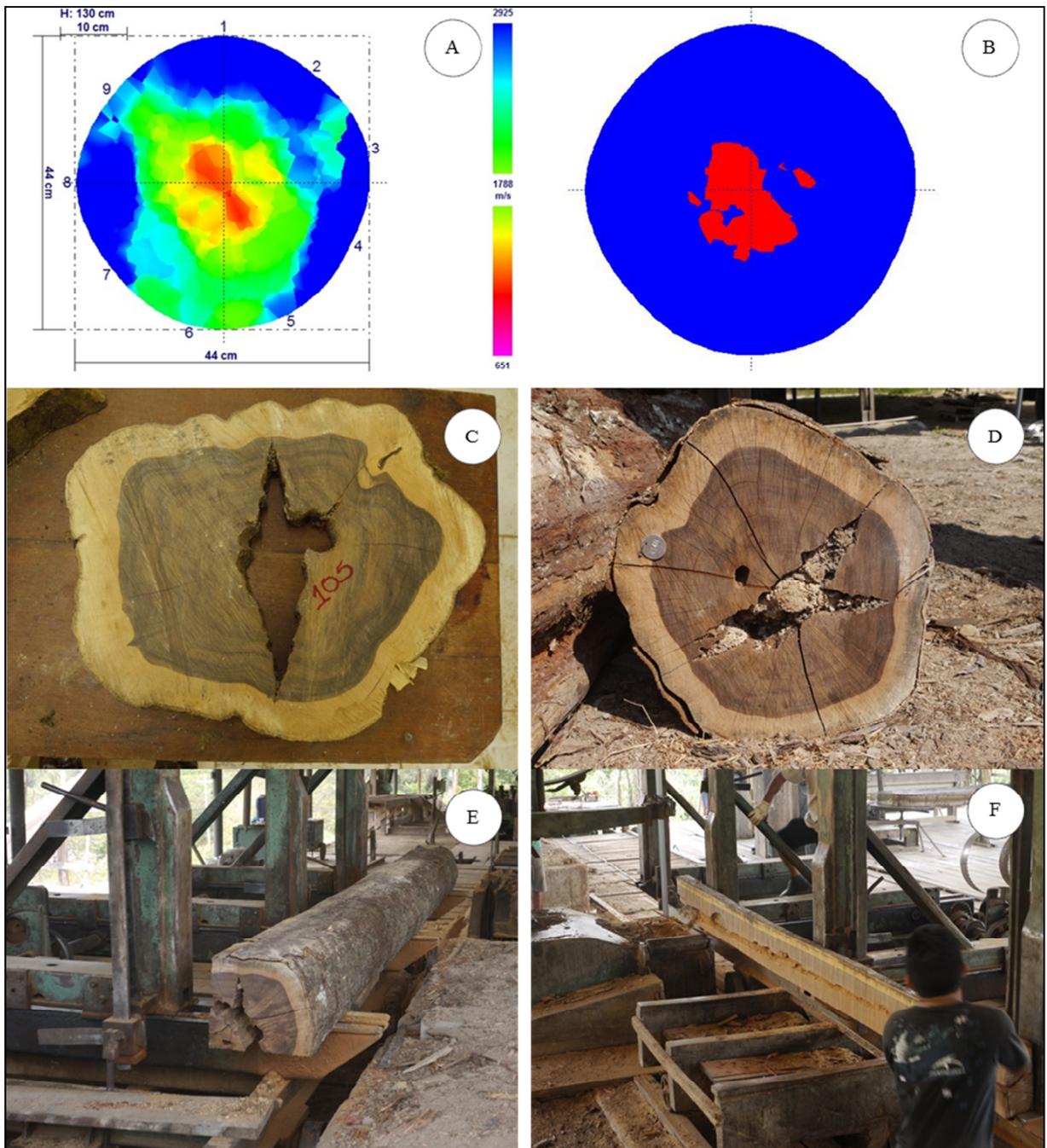
DAP: 44,80 cm

Altura comercial: 12,80 m

Observações: Ocorrência de oco

Observa-se na Figura 10A área vermelha/alaranjada na parte central da secção transversal da árvore o que indica material deteriorado/oco. Na análise visual pode-se constatar a presença do oco com uma área deteriorada bem próxima àquela encontrada pela tomografia de impulso.

Figura 10 – Árvore 105 – *Eschweilera coriacea* (A.DC.) Mori. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação Decision Tree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C e D); e desdobro das toras na serraria (E e F).



Árvore 106 – *Eschweilera coriacea* (A.DC.) Mori.

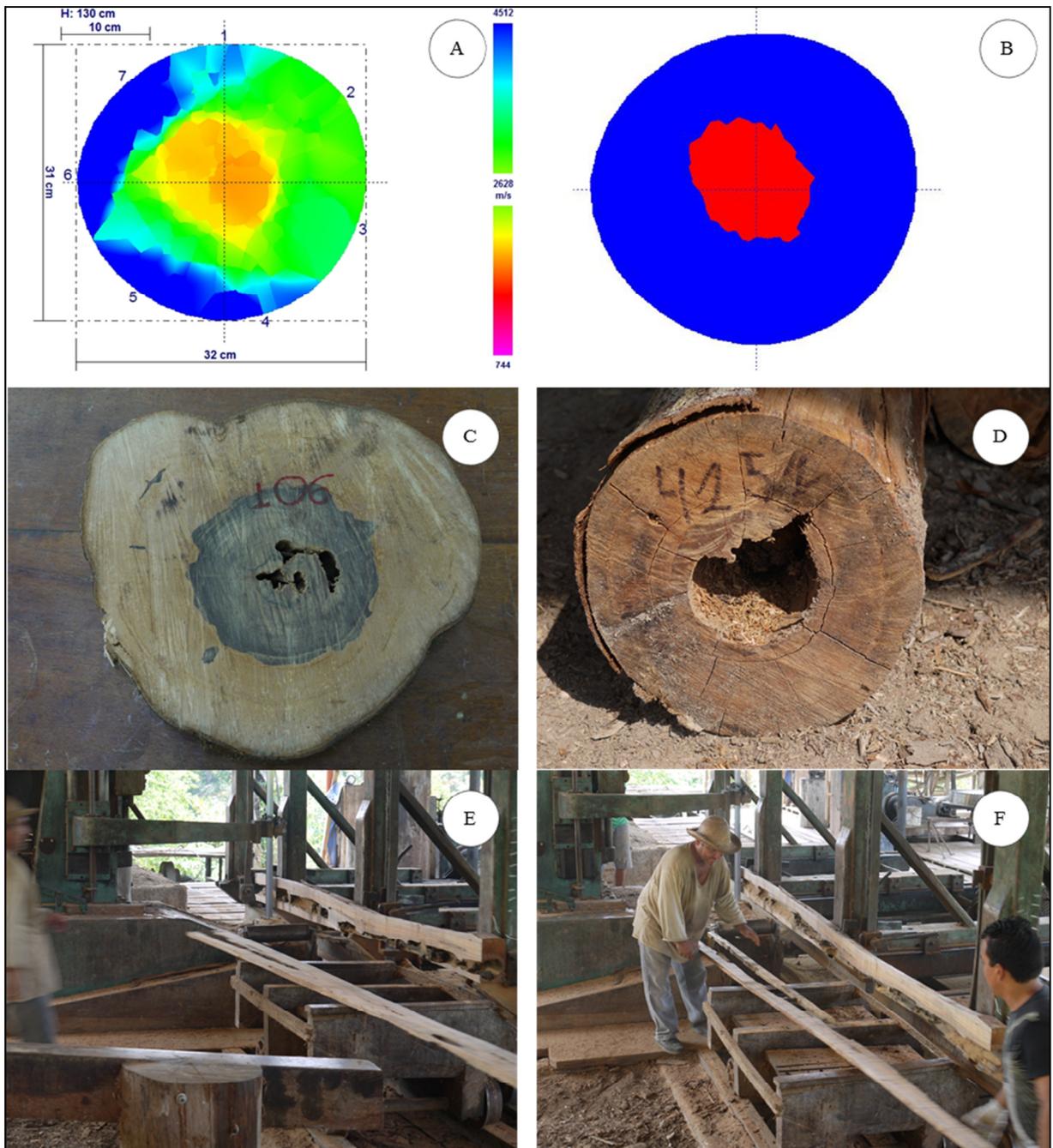
DAP: 30,5 cm

Altura comercial: 17,90 m

Observações: Árvore deteriorada com ocorrência de oco

Na Figura 11A observa-se uma área vermelha/alaranjada na parte central da secção transversal da árvore o que indica material deteriorado/oco. Na análise visual pode-se constatar a presença do oco, todavia a área da ocosidade é bem menor do que a encontrada pela tomografia de impulso.

Figura 11 – Árvore 106 – *Eschweilera coriacea* (A.DC.) Mori. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C e D); e desdobro das toras na serraria (E e F).



Árvore 223 – *Eschweilera coriacea* (A. DC.) Mori.

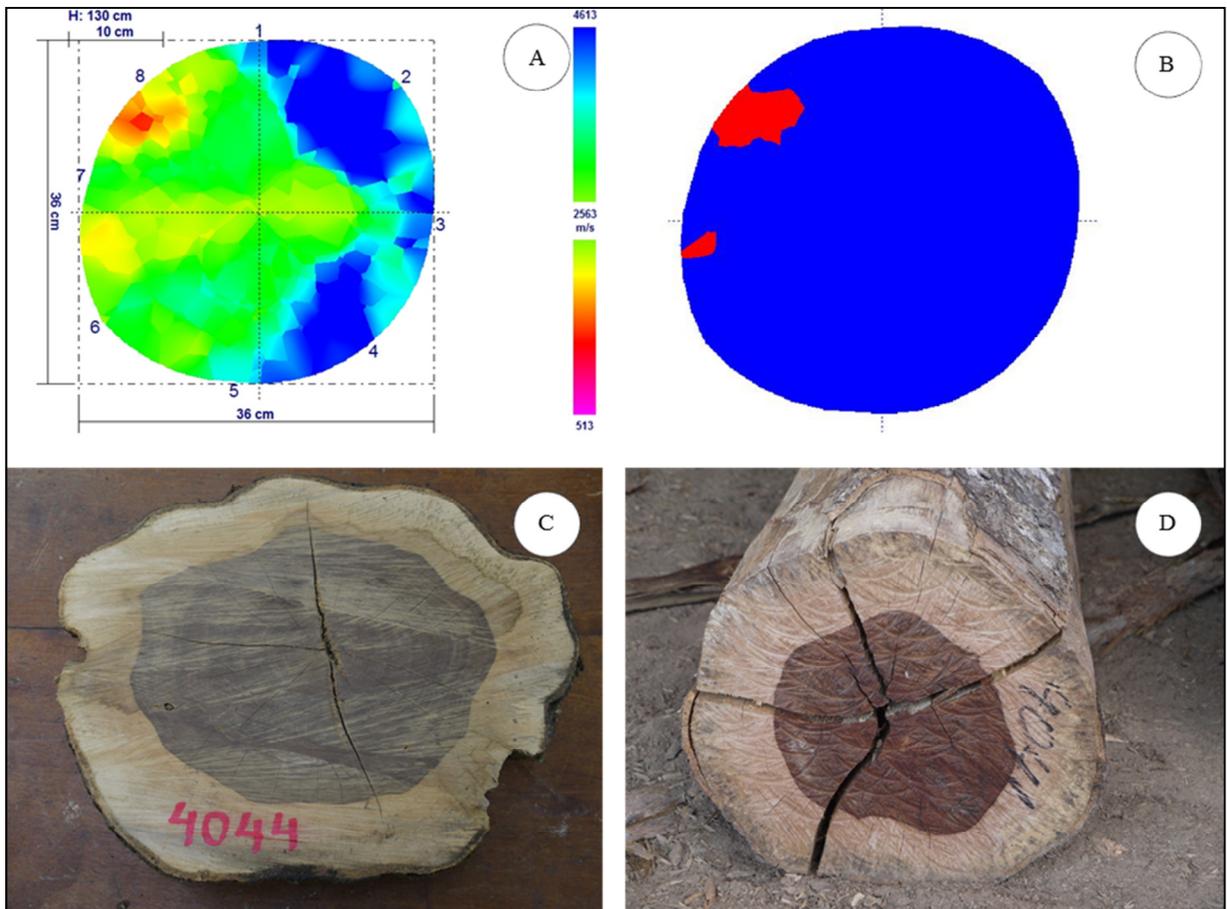
DAP: 36,20 cm

Altura comercial: 13,20 m

Observações: Árvore sadia

Observa-se na Figura 12A uma pequena área vermelha/alaranjada entre os sensores 6-7 e 7-8 indicando a presença de material deteriorado/oco. Entretanto, na análise visual a madeira está sadia.

Figura 12 – Árvore 223 – *Eschweilera coriacea* (A. DC.) Mori. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C e D).



Árvore 236 – *Eschweilera coriacea* (A. DC.) Mori.

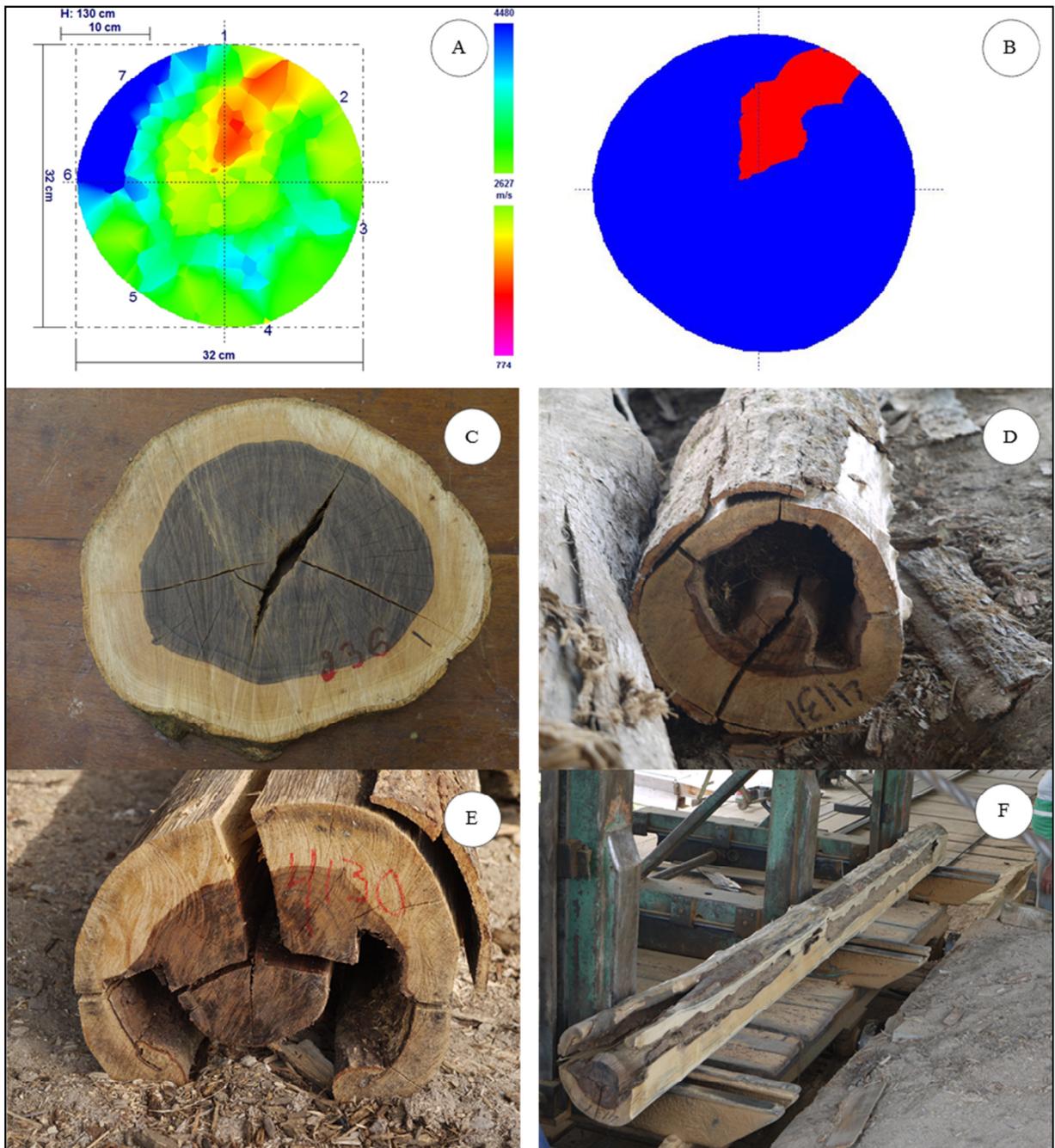
DAP: 31,20 cm

Altura comercial: 10,40 m

Observações: Ocorrência de oco

Na Figura 13A observa-se uma área vermelha/alaranjada da região periférica para a central na secção transversal analisada. Na análise visual foi confirmada a presença de ocosidade, entretanto apresentou área deteriorada superior a que foi encontrada pela tomografia de impulso.

Figura 13 – Árvore 236 – *Eschweilera coriacea* (A.DC.) Mori. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C e D); e desdobro das toras na serraria (E e F).



Árvore 116 – *Eschweilera odora* (Poepp.) Miers.

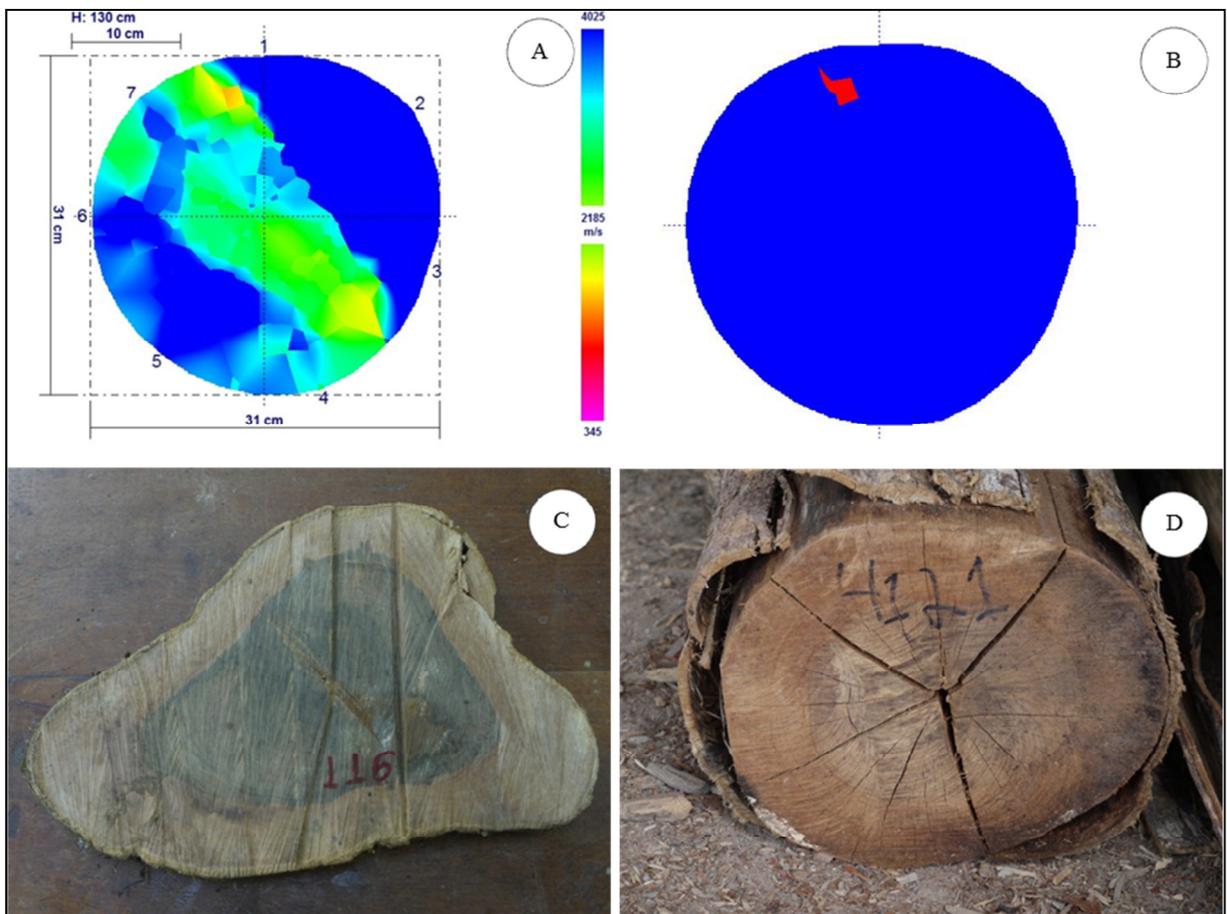
DAP: 31,00 cm

Altura comercial: 11,80 cm

Observações: Árvore sadia

Observa-se na Figura 14A uma pequena área vermelha/alaranjada entre os sensores 1 e 7 indicando a presença de material deteriorado/oco. Entretanto, na análise visual não foi constatada a presença de ocosidade para este indivíduo arbóreo.

Figura 14 – Árvore 116 – *Eschweilera odora* (Poepp.) Miers. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C e D).



Árvore 125 – *Eschweilera odora* (Poepp.) Miers.

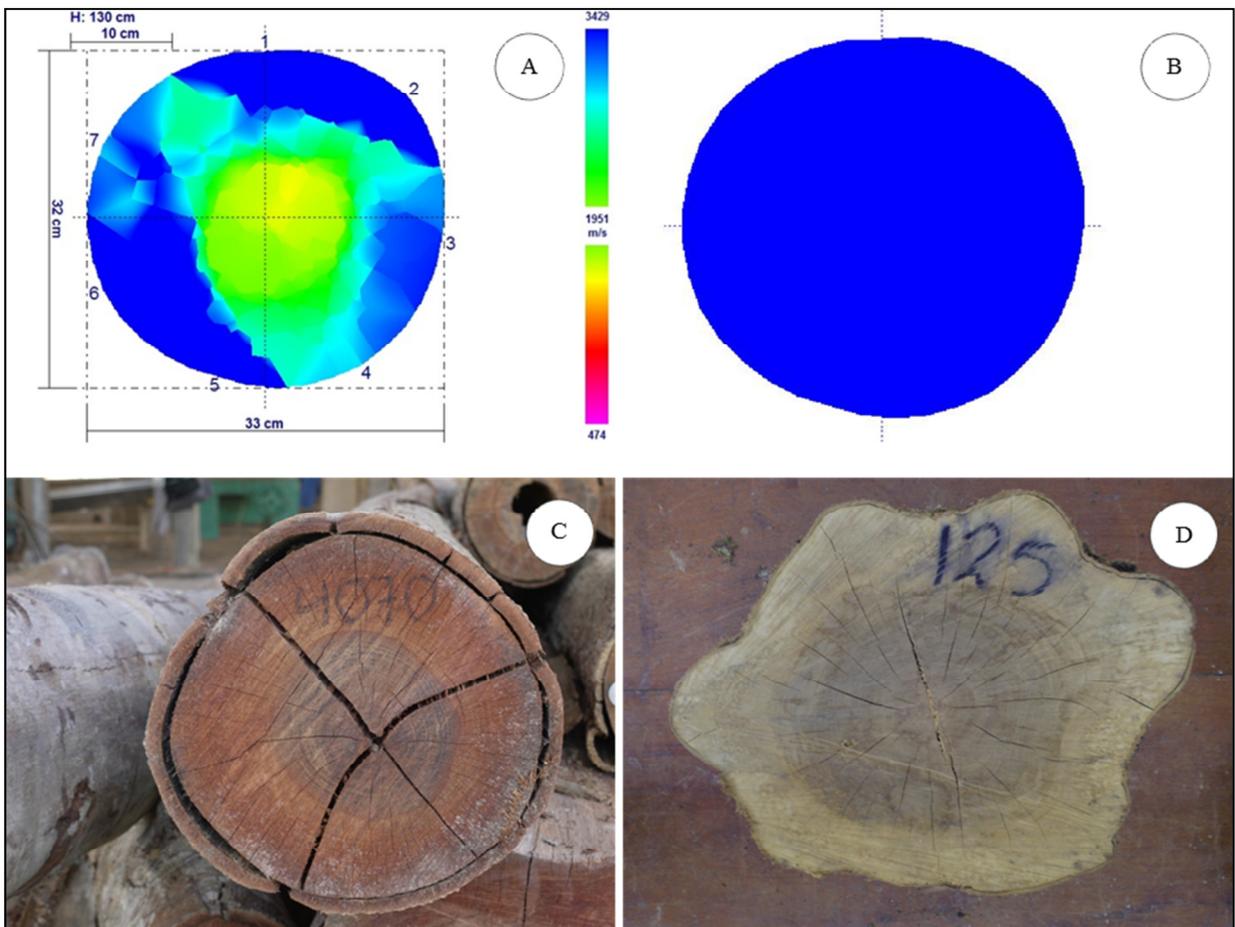
DAP: 34,20 cm

Altura comercial: 7,15 m

Observações: Árvore sadia

Observa-se na Figura 15 que não há ocorrência de material deteriorado/oco na secção do indivíduo arbóreo analisado, demonstrando bom estado de sanidade da madeira.

Figura 15 – Árvore 125 – *Eschweilera odora* (Poepp.) Miers. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C e D)



Árvore 128 – *Eschweilera odora* (Poepp.) Miers.

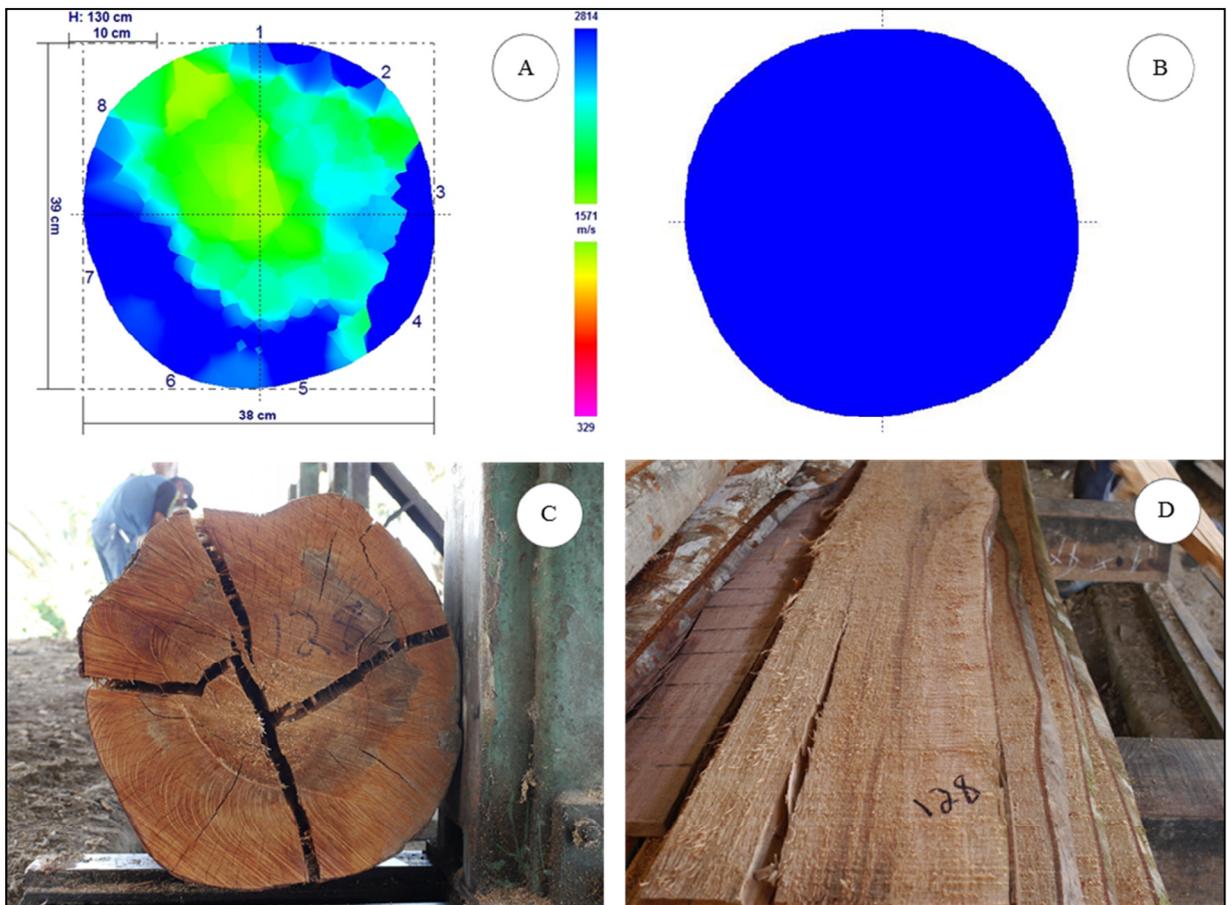
DAP: 40,80 cm

Altura comercial: 14,00 m

Observações: Árvore sadia

Observar-se na análise da Figura 16 que a árvore está isenta de tecido deteriorado, fato este comprovado pelo desdobro das toras na serraria.

Figura 16 – Árvore 128– *Eschweilera odora* (Poepp.) Miers. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C) e imagem das peças desdobradas (D).



Árvore 89 – *Protium puncticulatum* J. F. Macbr.

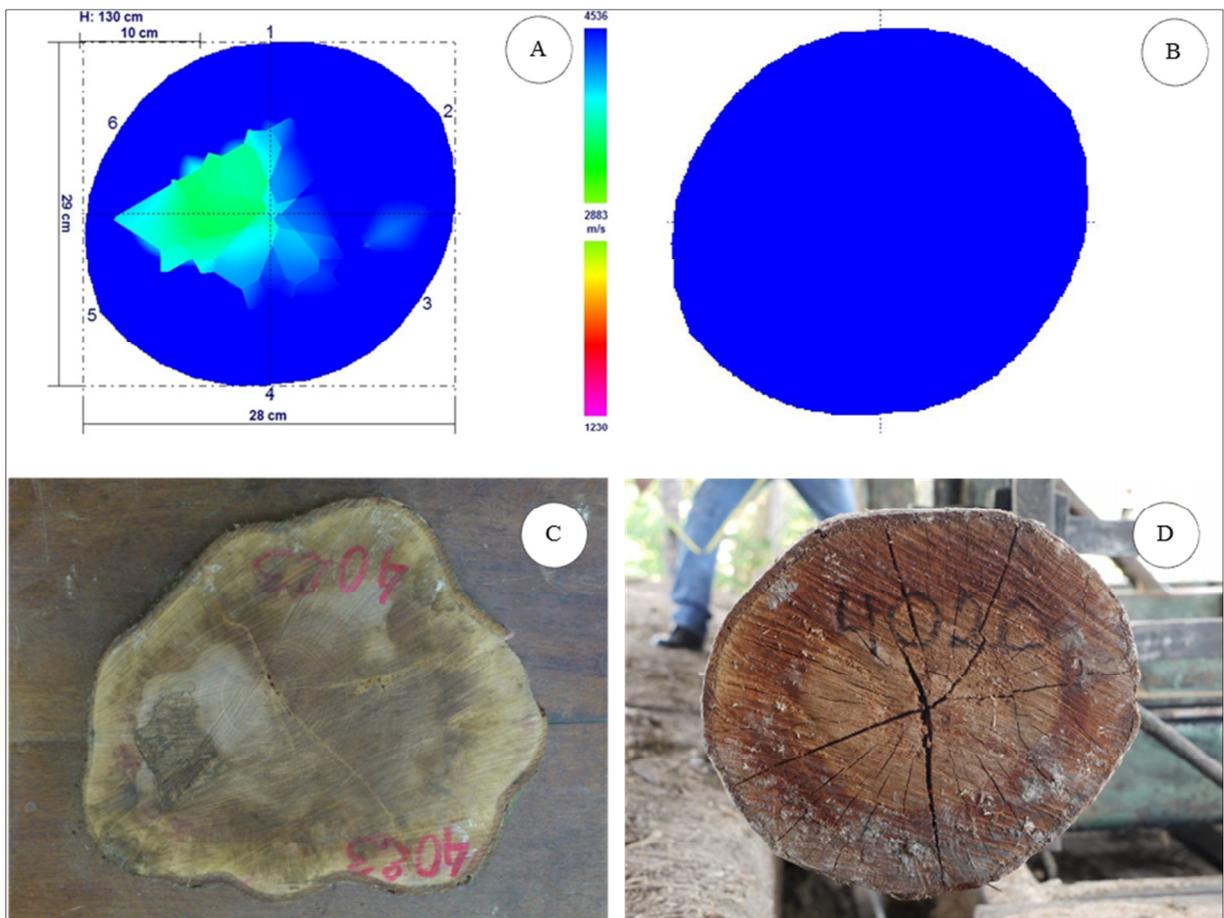
DAP: 30,50c m

Altura comercial: 10,50 m

Observações: Árvore sadia

Na análise da Figura 17A pode-se observar que não há ocorrência de áreas deterioradas, sendo este fato comprovado nas Figuras 6C e D. A interpretação foi baseada na observação da cor da imagem tomográfica e nos valores da velocidade das ondas que a formaram, tendo como resultado para este indivíduo arbóreo ausência de tecido deteriorado.

Figura 17 – Árvore 89 – *Protium puncticulatum* J. F. Macbr. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C e D)



Árvore 220 – *Protium tenuifolium* Engl.

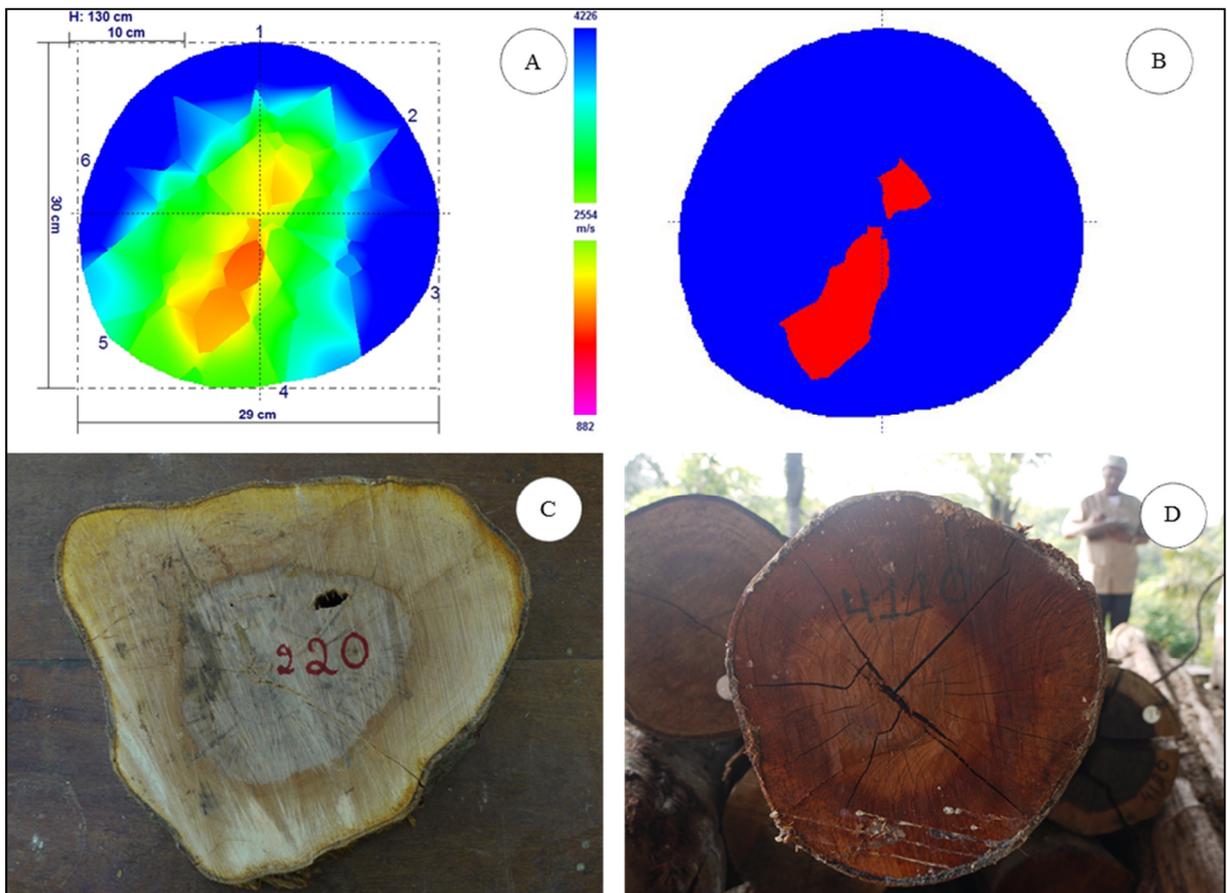
DAP: 29,5 cm

Altura comercial: 8,00 m

Observações: Árvore sadia

Na análise da Figura 18A percebe-se uma área vermelha/alaranjada que se espalha do centro para a periferia da secção analisada, podendo esta área ser interpretada como oco. Entretanto, não há tecido deteriorado na análise visual, sendo este considerado um erro de leitura do aparelho para este individuo arbóreo.

Figura 18 – Árvore 220 – *Protium tenuifolium* Engl. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C e D).



Árvore 239 – *Protium tenuifolium* Engl.

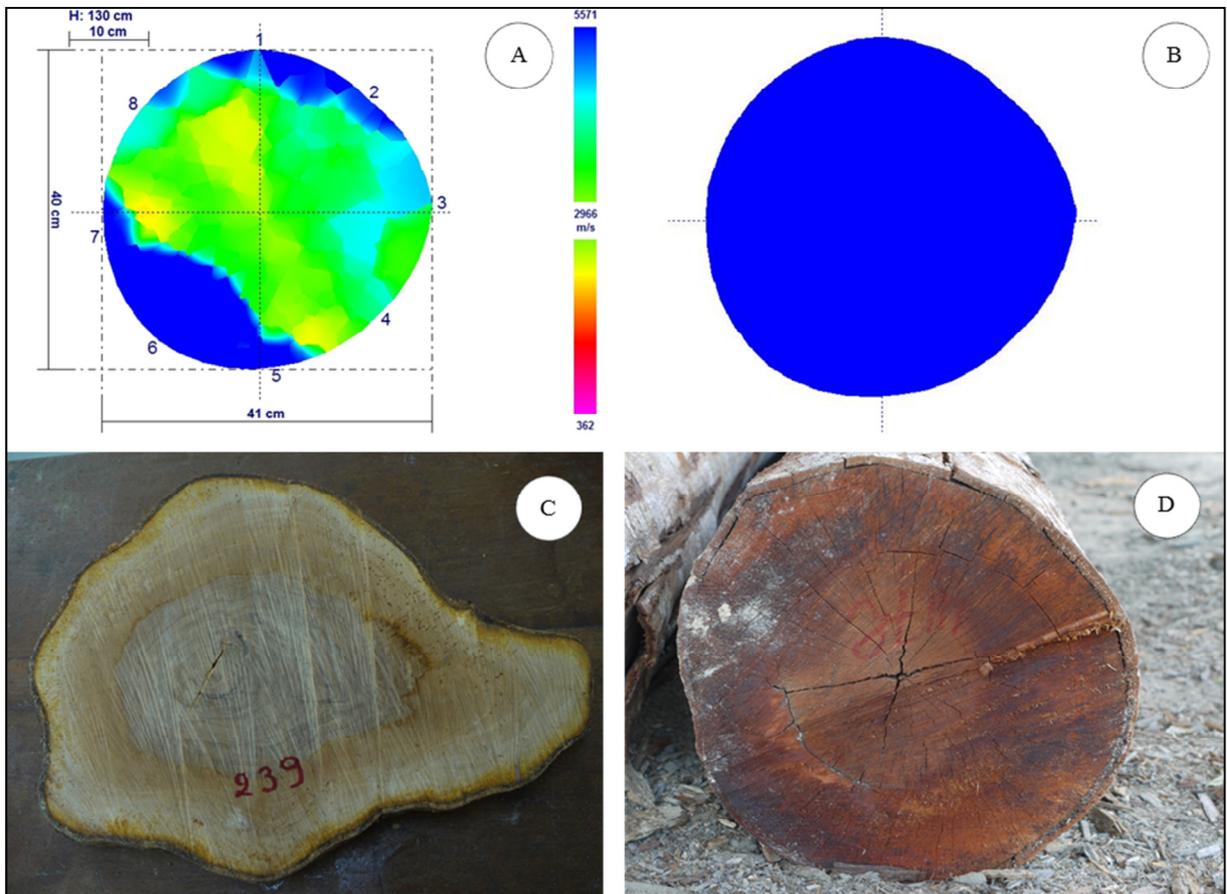
DAP: 38,00cm

Altura comercial: 13,10 m

Observações: Árvore sadia

A Figura 19 mostra que neste individuo não foi constatada deterioração do material lenhoso, entretanto foi observada uma variação da velocidade da onda ao longo da secção analisada.

Figura 19 – Árvore 239 – *Protium tenuifolium* Engl. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C e D).



Árvore 92 – *Byrsonima crispera* Juss.

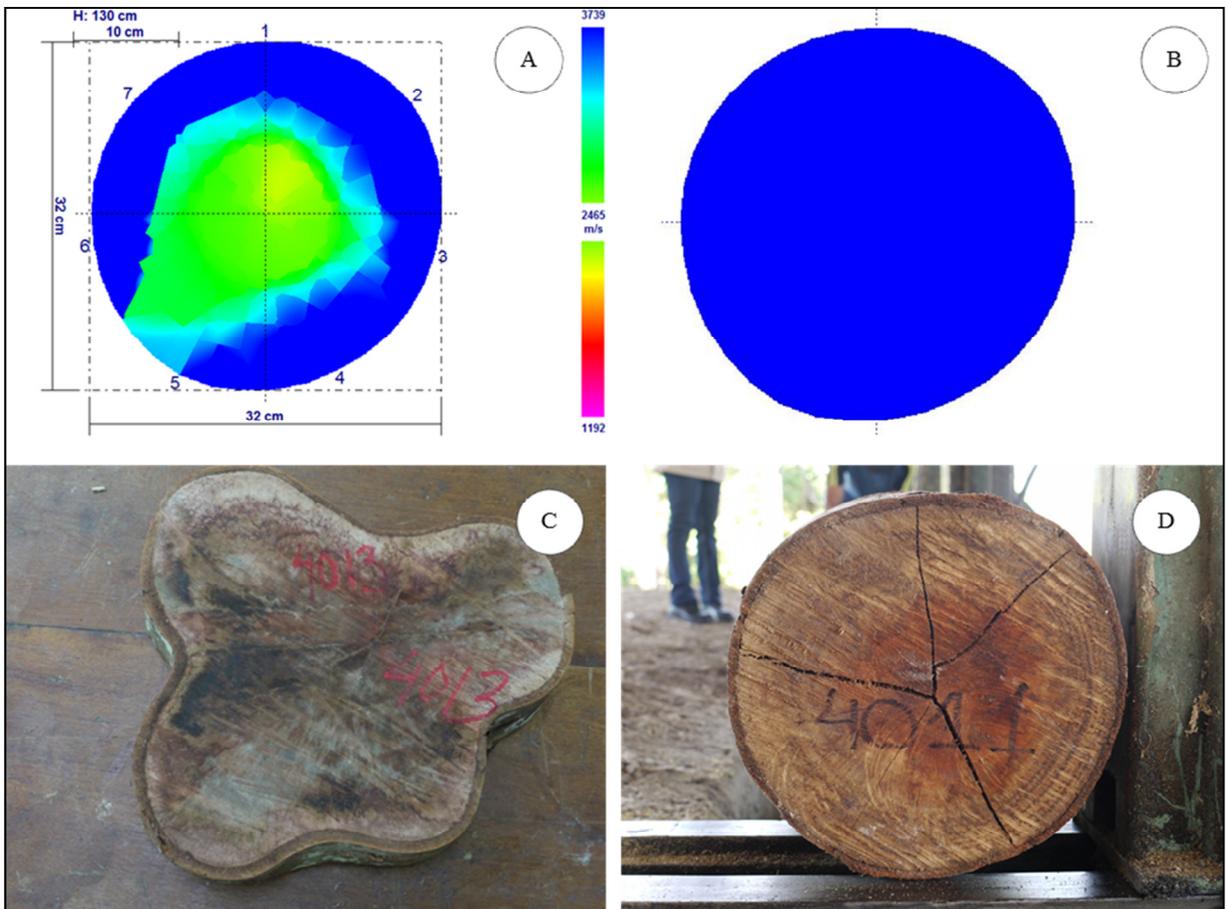
DAP: 32,5 cm

Altura comercial: 12,00 m

Observações: Árvore sadia

Pode-se observar na Figura 20A que não há ocorrência de material deteriorado/oco na secção do individuo arbóreo analisado sendo indicada somente menor velocidade na região central da árvore.

Figura 20 – Árvore 92 – *Byrsonima crispera* Juss. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da seção transversal da árvore (C e D).



Árvore 94 – *Byrsonima crispera* Juss.

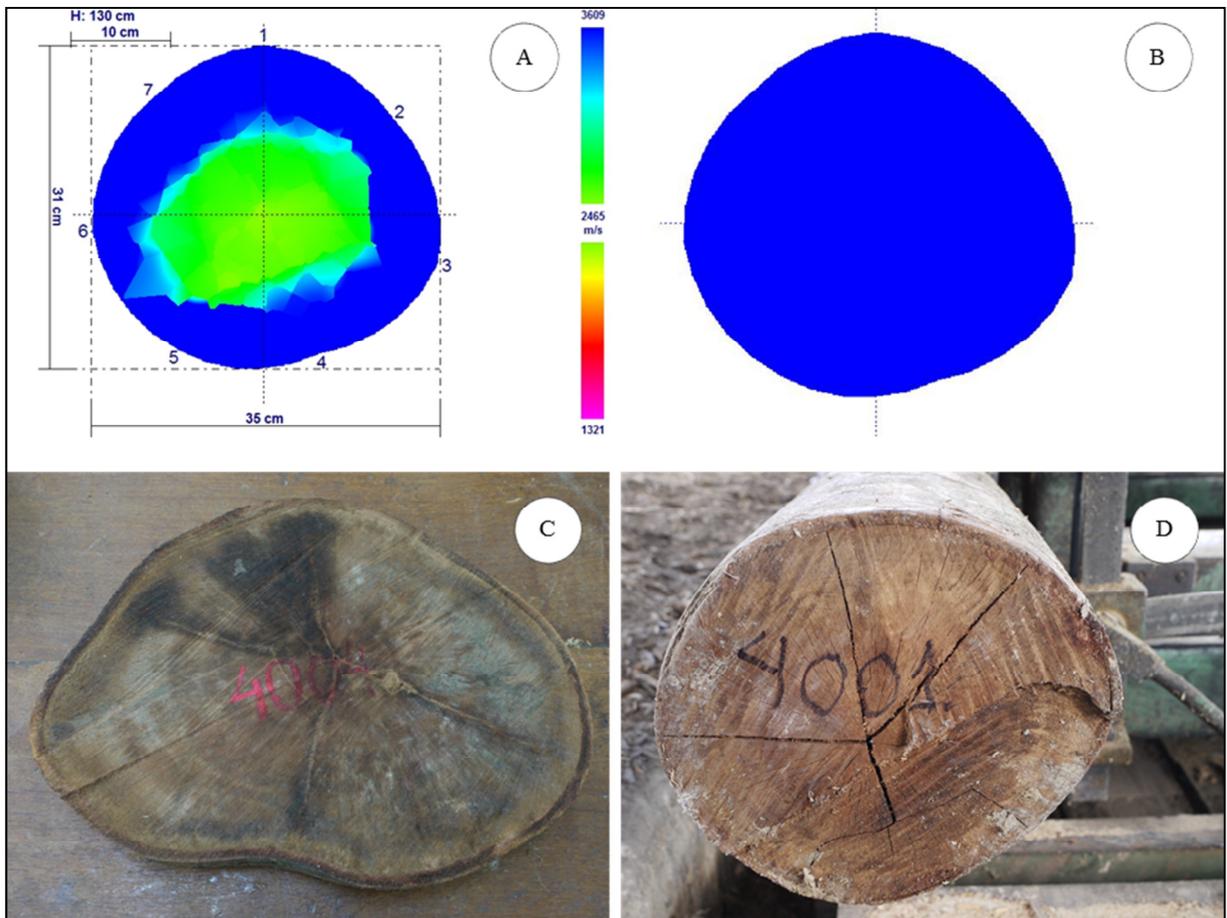
DAP: 31,4 cm

Altura comercial: 9,00 m

Observações: Árvore sadia

Observa-se na Figura 21A que não há ocorrência de material deteriorado/oco na secção do individuo arbóreo analisado, existindo somente uma diferenciação entre as velocidades de onda da região central e periférica da árvore.

Figura 21 – Árvore 94 – *Byrsonima crispera* Juss. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da seção transversal da árvore (C e D).



Árvore 97 – *Byrsonima crispera* Juss.

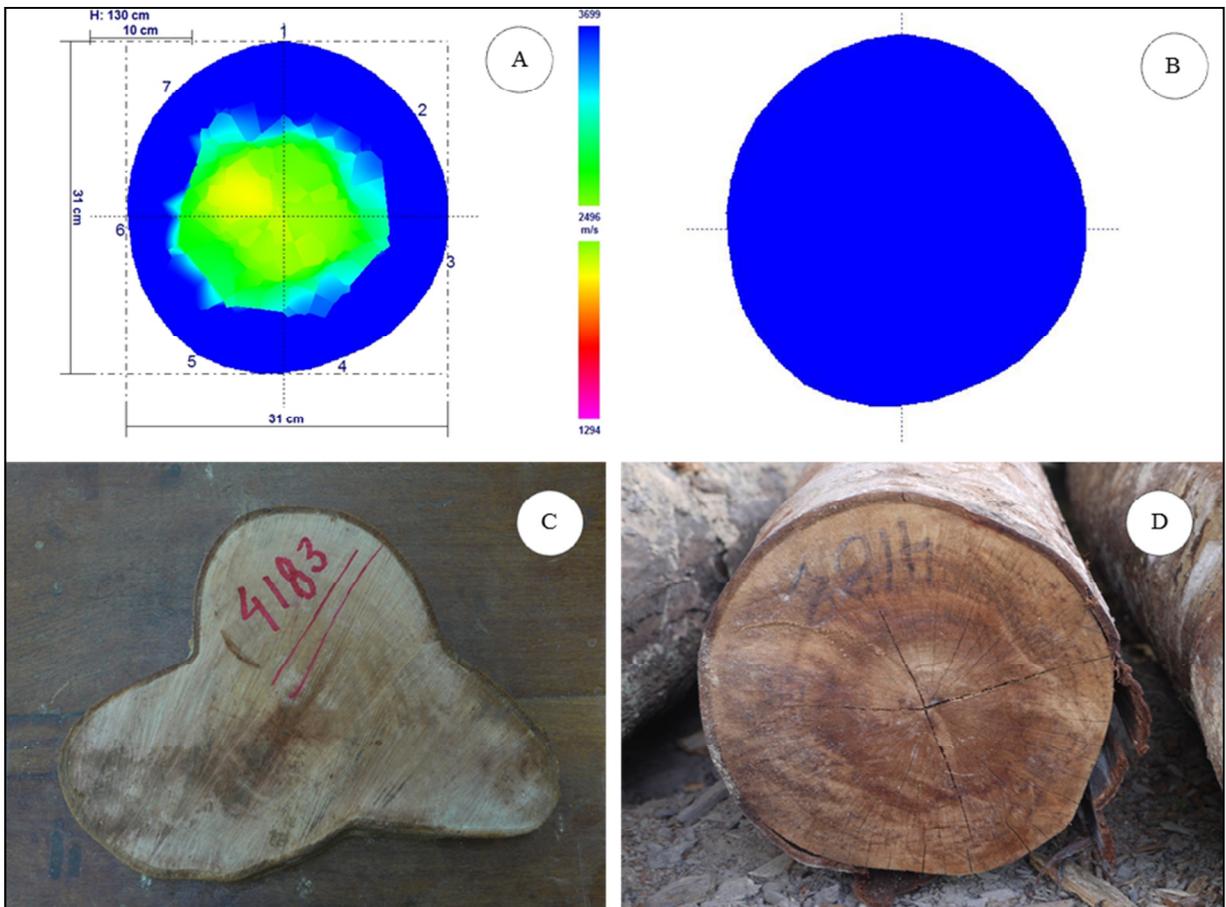
DAP: 31,4 cm

Altura comercial: 14,2 m

Observações: Árvore sadia

Não Figura 22A observa-se que não há ocorrência de material deteriorado/oco na secção do individuo arbóreo analisado, existindo somente uma diferenciação entre as velocidades de onda do cerne para a do albarno.

Figura 22 – Árvore 97 – *Byrsonima crispera* Juss. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C e D).



Árvore 130 – *Inga alba* (Sw.) Willd.

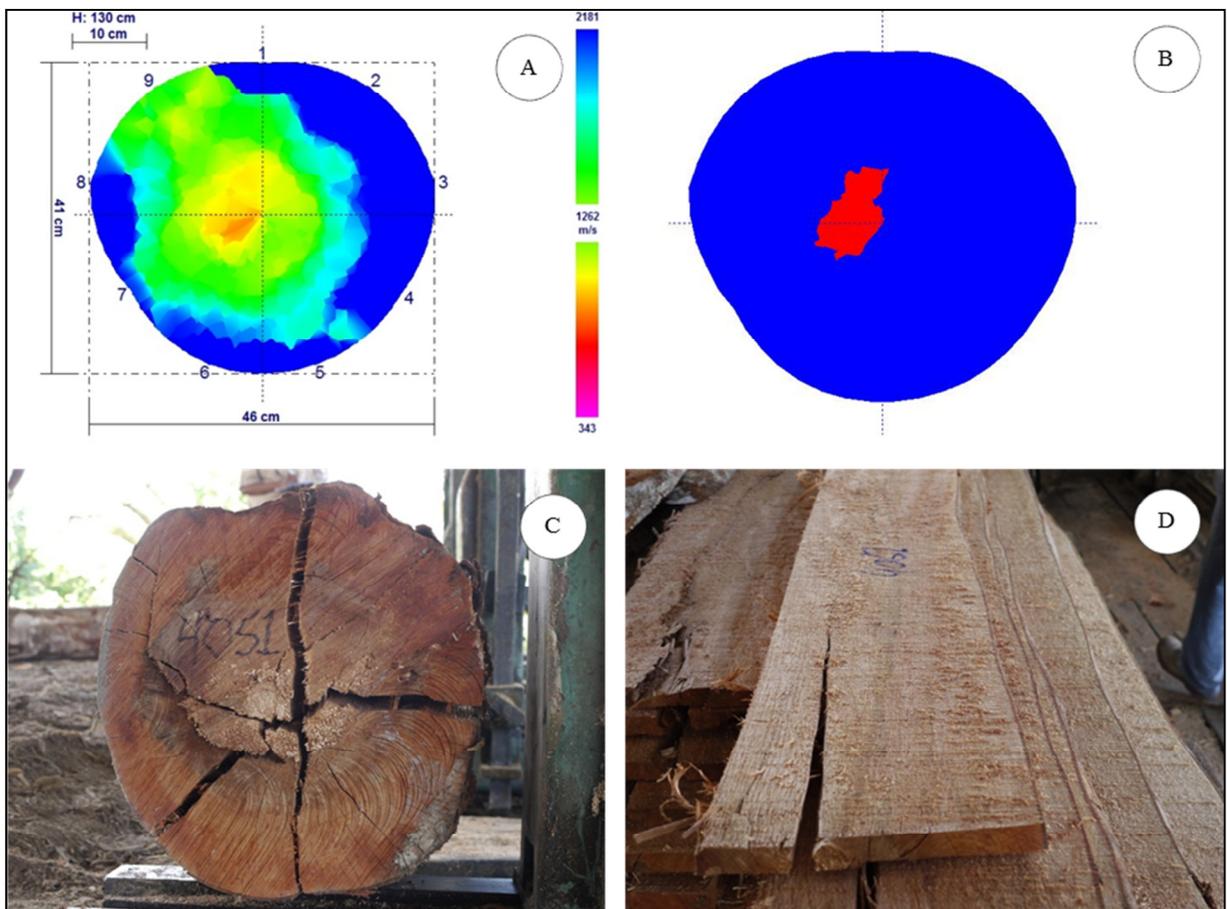
DAP: 41,50 cm

Altura comercial: 14,80 m

Observações: Árvore sadia

Observa-se na Figura 23A uma área vermelha/alaranjada na área central da secção transversal da o que poderia ser interpretada com tecido deteriorado, entretanto na análise visual não foi constatada presença de tal característica.

Figura 23 – Árvore 130 – *Inga alba* (Sw.) Willd. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C) e imagem das peças desdobradas (D).



Árvore 210 – *Inga paraenses* Ducke.

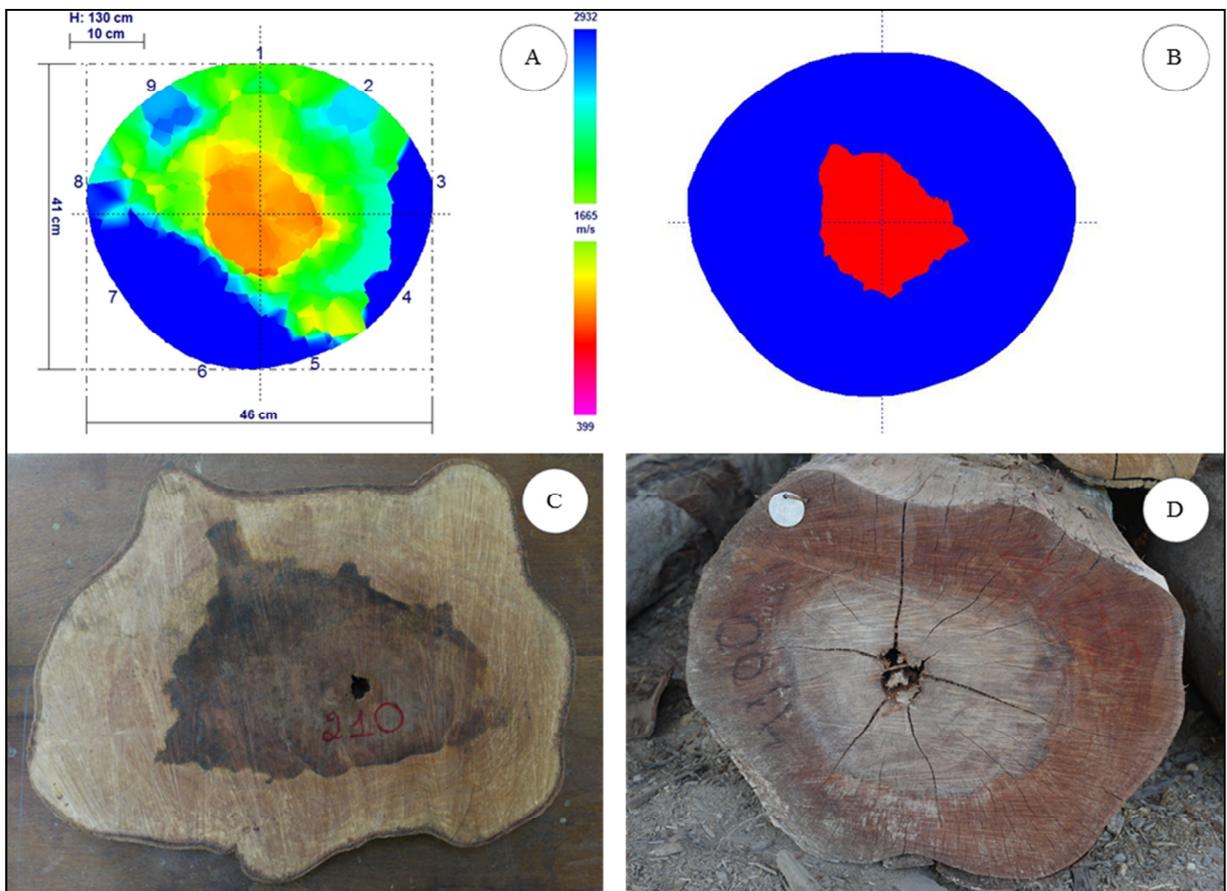
DAP: 42,00 cm

Altura comercial: 8,80 m

Observações: Presença de oco pequeno

Observa-se na Figura 24A área vermelha/alaranjada na parte central da secção transversal da árvore demonstrando a presença de tecido deteriorado, entretanto a área do oco detectado na análise visual é bem menor do que a encontrada pela imagem tomográfica.

Figura 24 – Árvore 210 – *Inga paraenses* Ducke. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C e D).



Árvore 217 – *Inga sp.*

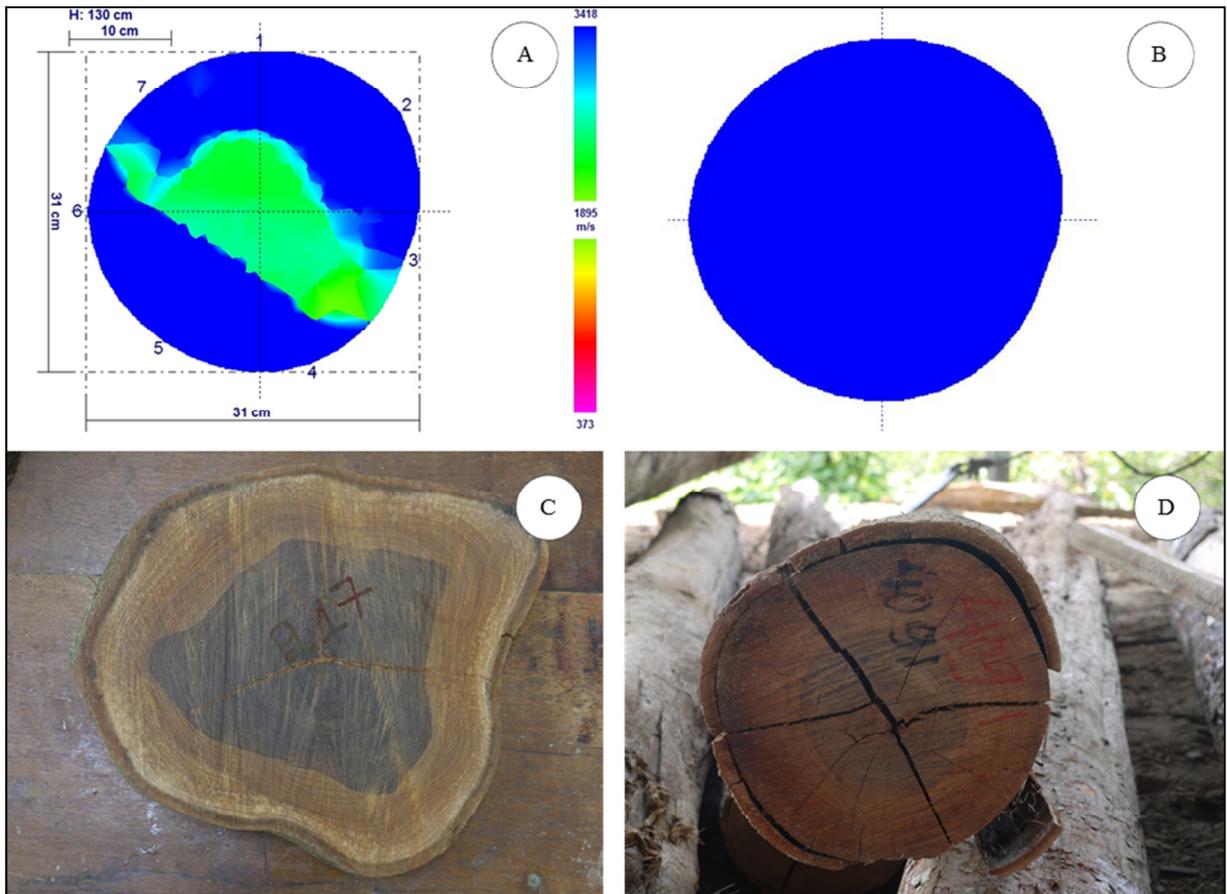
DAP: 31,00 cm

Altura comercial: 17,90 m

Observações: Árvore sadia

Para o indivíduo analisado não foi constada área deteriorada, sendo observada somente diferenciação entre as velocidades das ondas mecânicas, conforme Figura 25.

Figura 25 – Árvore 217 – Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C e D).



Árvore 140 – *Manilkara amazonica* (Huber.) Standley.

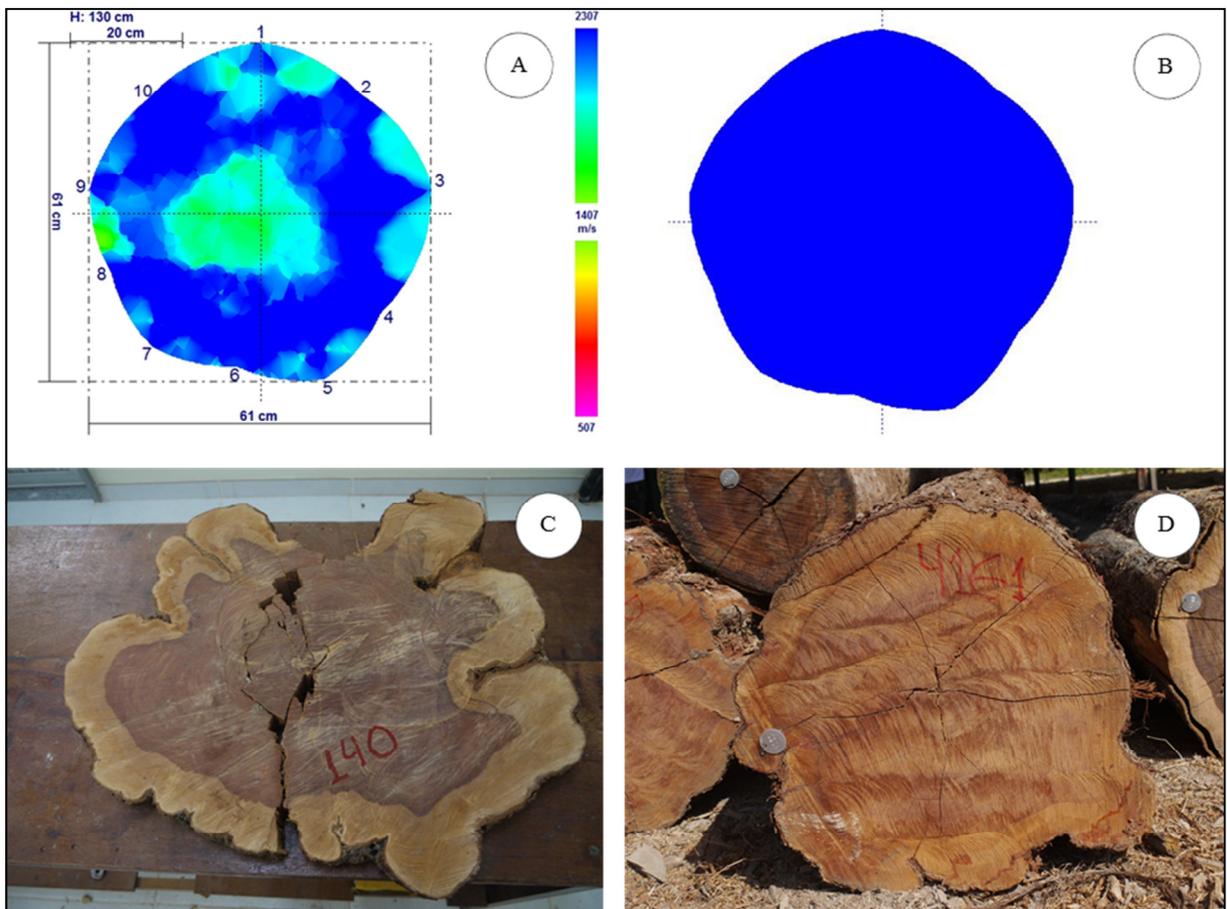
DAP: 57,00 cm

Altura comercial: 14,70 m

Observações: Árvore sadia

Para o indivíduo analisado não foi constada área deteriorada, sendo observada somente diferenciação entre as velocidades das ondas mecânicas.

Figura 26 – Árvore 140 – *Manilkara amazonica* (Huber.) Standley. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C e D).



Árvore 160 – *Pouteria guynensis* Aubl.

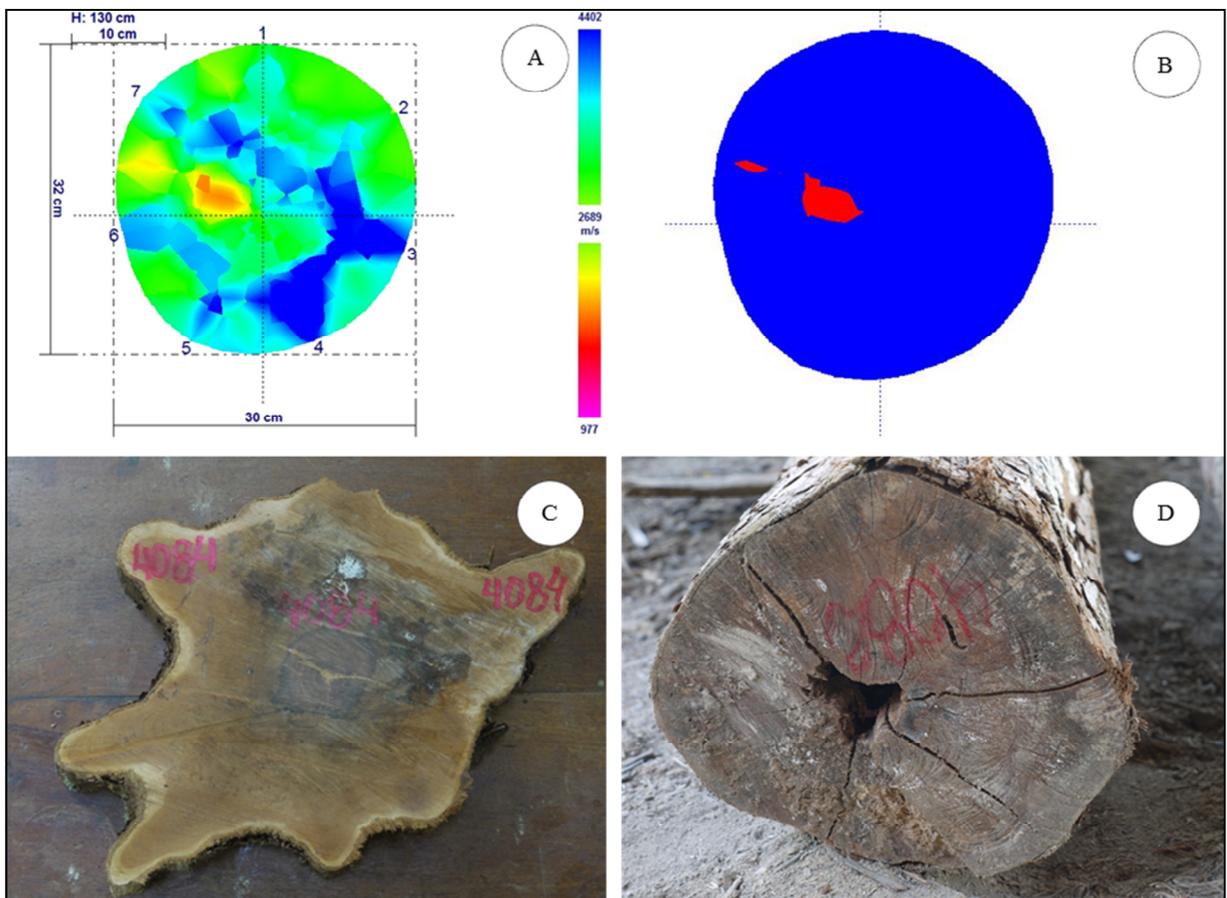
DAP: 32,00 cm

Altura comercial: 16,10 m

Observações: Presença de oco pequeno

Observa-se na Figura 27A área vermelha alaranjada na parte central da secção transversal da árvore demonstrando a presença de tecido deteriorado, sendo esta característica comprovada na análise visual.

Figura 27 – Árvore 160 – *Pouteria guynensis* Aubl. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C e D).



Árvore 136 – *Swartzia recurva* Poepp.

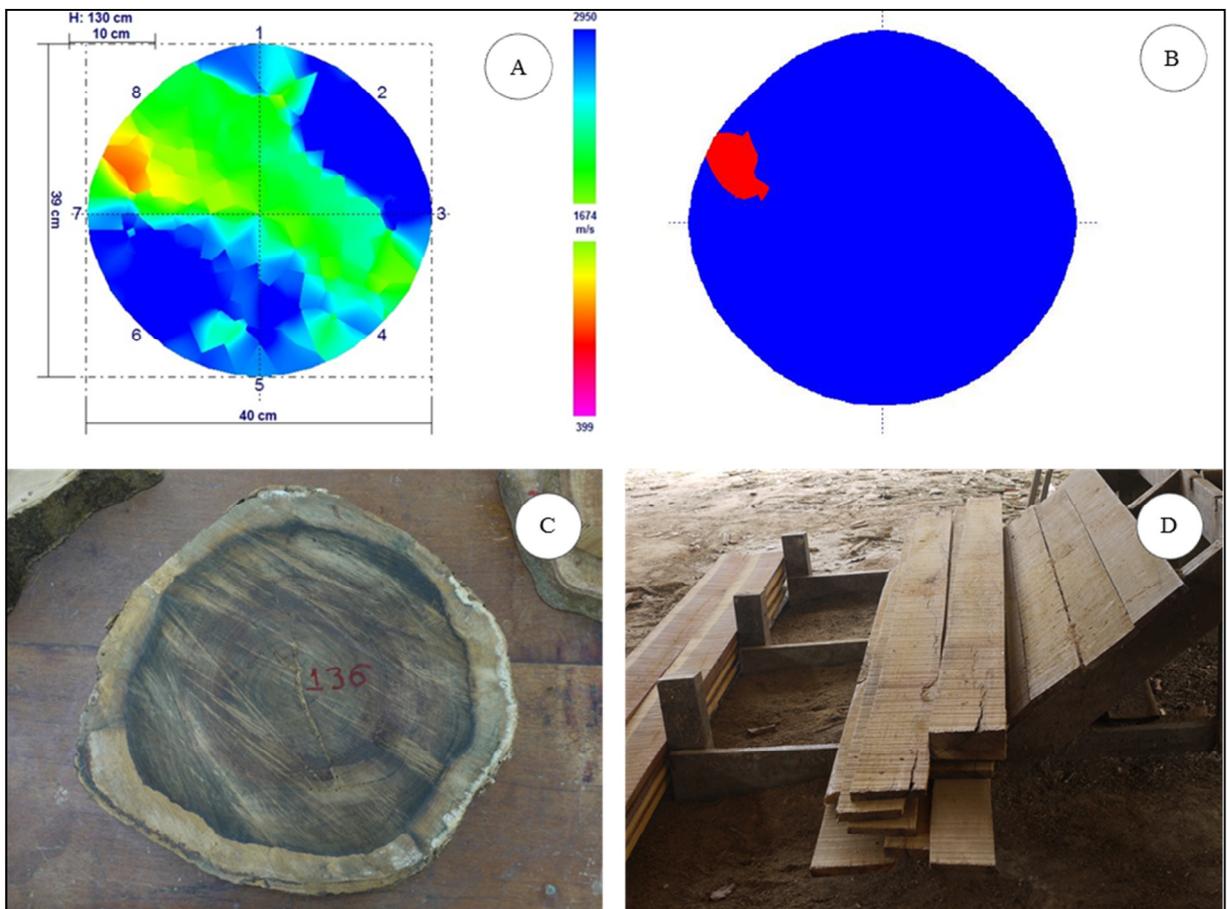
DAP: 38,00 cm

Altura comercial: 14,80 m

Observações: Árvore sadia

Observa-se na Figura 28A uma pequena área vermelha/alaranjada entre os sensores 7 e 8 indicando a presença de material deteriorado/oco. Entretanto, na análise visual a madeira está sadia.

Figura 28 – Árvore 136 – *Swartzia recurva* Poepp. Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação DecisionTree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C) e imagem das peças desdobradas (D).



5.3 AVALIAÇÃO DO RENDIMENTO DAS ÁRVORES POR METODOLOGIA DESTRUTIVA

Para a validação dos resultados obtidos a partir Tomografia de impulso, as toras das árvores foram desdobradas na serraria em peças de dimensões variadas. O desdobro foi feito de forma direcionada com o intuito de maximizar o rendimento para cada tora desdobrada (Tabela 6).

Tabela 6 – Rendimento das espécies arbóreas selecionadas na ZF-2

Arvore	Espécie	Volume útil estimado pelo Tomógrafo (%)	Rendimento (%)
105	<i>Eschweilera coriacea</i> (A. DC.) Mori.	91,34	71
106	<i>Eschweilera coriacea</i> (A. DC.) Mori.	84,00	70
223	<i>Eschweilera coriacea</i> (A. DC.) Mori.	96,46	76
236	<i>Eschweilera coriacea</i> (A. DC.) Mori.	89,66	60
116	<i>Eschweilera odora</i> (Poepp.) Miers.	99,46	80
125	<i>Eschweilera odora</i> (Poepp.) Miers.	100,00	80
128	<i>Eschweilera odora</i> (Poepp.) Miers.	100,00	76
89	<i>Protium puncticulatum</i> J. F. Macbr.	100,00	84
220	<i>Protium tenuifolium</i> Engl.	91,67	82
239	<i>Protium tenuifolium</i> Engl.	100,00	83
92	<i>Byrsonima crispera</i> Juss.	100,00	83
94	<i>Byrsonima crispera</i> Juss.	100,00	84
97	<i>Byrsonima crispera</i> Juss.	100,00	78
130	<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.	96,29	75
210	<i>Inga paraenses</i> Ducke	86,13	80
217	<i>Inga sp</i>	100,00	81
140	<i>Manilkara amazônica</i> (Huber.) Standl.	100,00	80
160	<i>Pouteria guynensis</i> Aubl.	97,97	72
136	<i>Swartzia recurva</i> Poepp.	97,47	83

O rendimento médio obtido após desdobro das árvores para madeiras da Amazônia fica em torno de 30%. Este rendimento é pífio quando comparado ao que pode ser alcançado com a introdução de técnicas adequadas de desdobramento da madeira. De acordo com

Nascimento e Vianez (2011) cerca de 30% destes resíduos são de alta qualidade para serem usados na confecção de produtos.

Neste trabalho, fazendo uso do desdobro direcionado, obteve-se um rendimento bastante superior aos encontrados na literatura referentes à utilização aos métodos de desdobros de madeira convencionais. A partir destes resultados se vislumbra no futuro prever o rendimento do material lenhoso na árvore em pé na floresta com a utilização desta técnica não destrutiva.

O rendimento médio das árvores estudadas foi inferior em aproximadamente 20% do volume estimado pela tomografia de impulso. Dessa forma deduz-se que ao se utilizar um fator de correção de 20% de perda no processamento mecânico em relação ao volume útil estimado pela Tomografia de impulso é possível estimar, de forma aproximada, o rendimento real para cada indivíduo arbóreo.

Cabe ressaltar que este rendimento só será alcançado se forem utilizadas técnicas de desdobro adequadas para cada espécie, daí a importância de pesquisas quanto ao processamento mecânico da madeira em serrarias, o que diminuiria, de forma significativa, as perdas de matéria prima neste setor.

Estes resultados podem subsidiar novas pesquisas no sentido de contribuir para o aumento do rendimento de madeiras da Amazônia e, dessa forma, levantar discussão acerca do da taxa de rendimento para espécies arbóreas da Amazônia fixada pelos órgãos ambientais competentes.

5.4 COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS UTILIZADOS

Na comparação entre o comportamento das médias do Stress Wave Timer com os resultados gerados pela tomografia de impulso e pela análise visual das árvores esperava-se haver uma relação entre estas metodologias. Entretanto o Stress Wave Timer O aparelho Stress Wave Timer apesar de ser de fácil manuseio no campo não se mostrou eficiente na avaliação do estado de sanidade das árvores em pé.

Na tabela 7 são apresentadas as das velocidades médias observadas para a técnica de emissão de ondas de tensão e velocidades mínima e máxima para a Tomografia de Impulso.

Tabela 7 – Médias das velocidades observadas para o Stress Wave Timer e velocidades mínimas e máximas velocidade observada para a Tomografia de Impulso.

Árv	Nome científico	DAP (cm)	Velocidade Stress Wave Timer (m/s)			Velocidades do Tomógrafo de Impulso (m/s)	
			Long.	Trans.	Diag.	Mínima	Máxima
105	<i>Eschweilera coriacea</i> (A. DC.) Mori.	44,8	478,9	772,9	1152,0	651	2925
106	<i>Eschweilera coriacea</i> (A. DC.) Mori.	30,5	423,2	574,3	1316,4	744	4512
223	<i>Eschweilera coriacea</i> (A. DC.) Mori.	36,2	647,2	846,7	1567,5	513	4613
236	<i>Eschweilera coriacea</i> (A. DC.) Mori.	31,2	484,0	912,8	1353,4	774	4480
116	<i>Eschweilera odora</i> (Poepp.) Miers.	31,0	588,9	883,4	1457,2	345	4025
125	<i>Eschweilera odora</i> (Poepp.) Miers.	34,2	343,5	1124,6	1065,3	474	3429
128	<i>Eschweilera odora</i> (Poepp.) Miers.	40,8	535,2	1023,2	1109,7	329	2814
89	<i>Protium puncticulatum</i> J. F. Macbr.	30,0	368,0	779,7	951,9	1230	4536
220	<i>Protium tenuifolium</i> Engl.	29,5	473,4	906,5	1160,3	882	4226
239	<i>Protium tenuifolium</i> Engl.	38,0	504,4	1398,3	1234,6	362	5571
92	<i>Byrsonima crispera</i> Juss.	32,5	511,1	740,4	1395,8	1192	3739
94	<i>Byrsonima crispera</i> Juss.	31,4	517,5	806,3	1514,5	1321	3609
97	<i>Byrsonima crispera</i> Juss.	31,4	395,6	494,4	1100,8	1294	3699
130	<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.	41,5	538,9	473,2	1043,2	343	2181
210	<i>Inga paraenses</i> Ducke	42,0	579,3	960,1	1222,9	399	2932
217	<i>Inga sp</i>	31,0	504,9	925,0	1300,7	373	3418
140	<i>Manilkara amazonica</i> (Huber.) Standl.	57,0	669,5	1044,6	1305,7	507	2307
160	<i>Pouteria guynensis</i> Aubl.	32,0	408,6	982,6	1471,4	977	4402
136	<i>Swartzia recurva</i> Poepp.	38,0	447,85	533,47	1077,20	399	2950

Na comparação entre o comportamento das médias do Stress Wave Timer com os resultados gerados pela tomografia de impulso e pela análise visual das árvores esperava-se haver uma relação entre estas metodologias. Entretanto o Stress Wave Timer O aparelho Stress Wave Timer apesar de ser de fácil manuseio no campo não se mostrou eficiente na avaliação do estado de sanidade das árvores em pé.

A tomografia de impulso, após a validação dos resultados com a exploração dos indivíduos arbóreos selecionados, mostrou-se eficiente para estimar o estado de sanidade da árvore em pé na floresta, bem como com a sua utilização foi possível estimar o volume útil

das árvores selecionadas, dessa forma sendo considerado o método mais eficiente para avaliar o estado de sanidade da árvore em pé na floresta.

Entende-se que o volume de madeira a ser explorado é um dos principais dados para o planejamento da exploração florestal. A partir do inventário florestal tem-se uma previsão do volume de madeira potencialmente apto a ser explorado.

Entretanto, podem ocorrer problemas como ocos que podem fazer com que o volume explorado seja divergente daquele planejado o que pode comprometer economicamente o manejo florestal.

Dessa forma, a estimativa do volume útil da madeira que será colhida é um dado de suma importância para um melhor planejamento do manejo florestal e com esses dados pode-se planejar a comercialização de um volume de madeira mais preciso. Isto demonstra a importância da introdução do método da tomografia de impulso em planos de manejo florestal na região Amazônica.

6 CONCLUSÃO

Para as espécies avaliadas nesta pesquisa, quanto à degradação do material lenhoso no seu fuste, estas não demonstraram haver um padrão característico de degradação dentro da espécie e entre espécies.

As avaliações por emissão de ondas de tensão na árvore em pé indicaram que o sentido diagonal foi o que apresentou resultados mais consistentes no uso deste método.

O método da emissão de ondas de tensão, avaliando somente a velocidade, não demonstrou ser capaz de estimar o estado de sanidade de árvores em pé na floresta.

A tomografia de impulso teve uma boa relação com a análise visual, demonstrando ser uma importante ferramenta no planejamento da exploração florestal.

Para a tomada de decisão de corte a tomografia de impulso mostrou-se eficiente para os indivíduos estudados, demonstrando ser um instrumento importante na etapa de planejamento do manejo florestal.

O Tomógrafo de Impulso demonstrou ser uma ferramenta importante no auxílio do planejamento do manejo florestal. Entretanto apresenta como desvantagem a necessidade de exportar a imagem tomográfica para outro *software* para que se obtenha a porcentagem de tecido sadio e tecido deteriorado. O ideal é que o próprio *software* do Tomógrafo de impulso seja capaz de emitir estes resultados, diminuindo o tempo gasto com a análise da imagem tomográfica em outros *softwares*.

7 CONSIDERAÇÕES

A Amazônia possui grande diversidade de espécies madeireiras com densidade, resistência, cores e desenhos diferenciados. Apesar desta grande diversidade um número mínimo de espécies é utilizado pela indústria madeireira e as que são utilizadas apresentam um baixo rendimento, em torno de 30%, subvalorizando o potencial da floresta.

A pesquisa em questão faz parte do INCT Madeiras da Amazônia que tem como objetivos consolidar o manejo florestal da Amazônia a longo prazo; integrar seus resultados as instruções normativas do poder público e aos procedimentos técnicos do setor produtivo para aumentar o rendimento da indústria florestal da região.

Embora a pesquisa seja um projeto piloto entende-se que atende uma das metas do INCT Madeiras da Amazônia com a estimativa de material lenhoso saudável na árvore em pé na floresta. Estes resultados foram satisfatórios contribuindo de forma positiva para o manejo florestal sustentável, tendo em vista que se pode realizar uma seleção adequada dos indivíduos a serem explorados.

O uso de técnicas não destrutivas em madeiras da Amazônia mostrou-se de fácil manuseio sendo um a ferramenta útil para o planejamento das atividades da exploração florestal, como também pode subsidiar órgãos ambientais quanto à avaliação do estado de sanidade da Arborização Urbana.

A técnica da emissão de ondas de tensão não obteve o resultado esperado para a avaliação do estado de sanidade das árvores avaliadas. 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.

Embora os resultados deste trabalho tenham sido satisfatórios para a Tomografia de Impulso é necessário que sejam feitas novas pesquisas para árvores que são exploradas pelo setor madeireiro na Amazônia. Estes novos estudos são de extrema importância, pois a partir deles será possível determinar um padrão de comportamento da velocidade de onda no interior de espécies nativas da região. A partir disto será possível determinar o volume real disponível de madeira ainda na floresta, sendo uma ferramenta importante no planejamento do manejo florestal, diminuindo perdas, aumentando o rendimento da madeira explorada, e dessa forma maximizando a utilização dos recursos deste setor produtivo na região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABENDE - Associação Brasileira de Ensaaios Não-Destrutivos e Inspeção. **Ensaaios Não Destrutivos**. Disponível em: http://www.abende.org.br/ensaaios_ao_destrutivos.html. Acessado em 10 de outubro de 2011.
- AMARAL, P.H.C.; VERÍSSIMO, J.A.O.; BARRETO, P.G. e VIDAL, E.J.S. **Floresta para sempre: um manual para produção de madeira na Amazônia** - IMAZON. Belém, 1998. 137 p.
- AMARAL, R.D.A.M. **Diagnóstico da ocorrência de cupins xilófagos em árvores urbanas do bairro de Higienópolis, na cidade de São Paulo**. 2002. 71p. Dissertação de Mestrado - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- ARAÚJO, H. J. B. de. Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 37, n. 3, set./dez. 2007.
- BALLARIN, A.W.; TARGA, L.A; PALMA, H.A.L. **Ensaaios não destrutivos de vibração transversal na avaliação do módulo de elasticidade de madeiras de reflorestamento**. In: Encontro Brasileiro de Madeiras e Estruturas de Madeira, Uberlândia, 2002.
- BARRETO, P. G.; UHL, C. e YARED, G. **O potencial de produção sustentável de madeira em Paragominas, Pará na Amazônia Oriental**. In: 7º Congresso Florestal Brasileiro, Anais da Sociedade Brasileira de Engenheiros Florestais, 1998. p. 387-392.
- BARTHOLOMEU, A.; GONÇALVES, R. **Montagem de equipamento para ensaios não destrutivos em madeira utilizando ultrassom**. In: VI Encontro Brasileiro de Madeira e Estruturas de Madeira, Florianópolis, 1998.
- BIASI, C. P. **Rendimento em madeira serrada, geração de resíduos e eficiência no desdobro de três espécies tropicais**. Curitiba – PR, 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná.
- BIRKLAND, R. Efficient process for quality products. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 19., 1990, (S.I.). **Proceedings...**, [S.I.: s.n.], 1990. p.139-147.
- BODIG, J. **The process of NDE research for wood and wood composites**. 12th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood March, 2001, v. 6, n. 3, NDT.
- BOTELHO JUNIOR, J. A. **Avaliação não destrutiva da capacidade resistente de estruturas de madeira de edifícios antigos**. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil, 2006.
- BRAZOLIN, S. **Biodeterioração, anatomia do lenho e análise de risco de queda de árvores de tipuana, *Tipuana tipu* (Benth.) O. Kuntze, nos passeios públicos da cidade de São Paulo, SP**. 2009. 265 p. (Tese de Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

BRITO, J. O. **Influência da adubação mineral nas características dos anéis decrescimento da madeira de *P. caribaea* var. *bahamensis***. Piracicaba, 1983. 113 f. Dissertação de Mestrado- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

BROWN, A.E. **Rationale and summary of methods of determining ultrasonic properties of materials at Lawrence National Laboratory**. New York: CRC Press, 1997.

BUCUR, V. An ultrasonic method for measuring the elastic constants of wood increment cores bored from living trees. **Ultrasonics**, New York, v. 21, n. 1, p. 116 – 126, 1983.

CARREIRA, M.R.; CANDIAN, M. **Teste de um equipamento para classificação de peças estruturais de madeira pela técnica de vibração transversal**. Seminário: Ciências Exatas e da Terra, Londrina, v. 29, n.1, p. 3-14, 2008.

CARVALHO, M.S.P. **Influência do espaçamento nas características físico-mecânicas da madeira de *Bagassa guianensis* Aubl. (Tatajuba), no Planalto de Belterra, Pará**. 1996, 171 p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Ciências Agrárias do Pará.

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**. Curitiba: 2007. 151 p. Dissertação de Mestrado- Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

CHAUVEL, A; LUCAS, Y.; BOULET, R..On the Genesis of the Soil Mantle of the Region of Manaus, Central Amazonia, Brazil. **Experientia**, n.43 p. 234-241. 1987.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da Madeira serrada de *Pinus taeda* L**. Curitiba: 2005. 123 p. Dissertação de Mestrado- Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

CLINEBELL, R.R; PHILLIPS, O.L.; GENTRY, A. H.; STARK, N & ZUURING, H. 1995. Prediction of Neotropical tree and liana species richness from soil and climatic data. **Biodiversity and Conservation**, 4: 56-90

COPANT. **Comission Panamericana de Normas Técnicas**, C 30.1. Santiago, 1972.

DANIEL, G. **Microview of under degradation by bactéria and fungi**. In: Wood Deterioration and Presevation: Advanced in Our Changing World, Washinton: ACS Symposium Series, v 845, 2003, p. 34-72.

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. Dissertação de Mestrado – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia, INPA, Manaus, 2013.

DE PAULA, E. V. C. M. et al. Propriedades mecânicas de trinta e nove espécies de madeiras do Amazonas. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2, São Carlos, 1986. **Anais**. São Carlos: USP, EESC, SET, LAMEN, 1986. v. 1

- DESCH, H.E. **Timber: its structure and properties**. 5. Ed. New York, Martin's Press, 1973. 424 p.
- DIAS, R.S. **Aproveitamento de toras ocas de *Mezilaurus itauba* para confecção de artefatos de madeira**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 78p. 2011.
- DUFFIELD, J.W. Genetic improvement of wood quality. **Forest Products Journal**, 1993.
- EATON, R.A.; HALE, M.D.C. **Wood: decay, pests and protection**. London: Chapman & Hall, 1993. 556 p.
- FOELKEL.C.E.B.; BRASIL, M.A.M.; BARRICHELO, L.E.G. **Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas**. IPEF, Piracicaba, p 65-74, 1971.
- GABRIEL, M.S.C.; BALLARIN, A.W. **Determinação do módulo de elasticidade da madeira de *Pinus taeda* com o uso do método não destrutivo das ondas de tensão (stress wave method)**. In: VII Encontro Brasileiro de Madeira e Estruturas da Madeira, São Carlos, 2000.
- GALVÃO, A. P. M. & JANKOSKY, I, P. **Secagem Racional da Madeira**. São Paulo, SP: Nobel, 1984.
- GIBBONS, P. & LINDENMAYER, D.B. 1997 **Conserving hollows-dependent fauna in timber -production forests**. Environmental Monographs Series 3, NSW National Park and Wildlife Services. Sydney Austrália.
- GILBERT, E. A.; SMILEY, T. Picus Sonic tomography for the quantification of decay inwhite oak (*Quercus alba*) and hickory (*Carya* spp.). **Journal of Arboriculture**. Champaign, v. 30, n. 5, p. 277-281, Sept. 2004.
- HIGUCHI, N. Utilização e Manejo dos Recursos Madeireiros das Florestas Tropicais úmidas. **Acta Amazônica** 24 (3-4); 275-288. 1994
- HOSOKAWA, R.T.; MOURA, J. B. e CUNHA, U.S. **Introdução ao manejo e economia de florestas**. Curitiba: Ed. da UFPR, 1998. 162 p.
- IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). 2004. **Floresta Nacional do Tapajós – Plano de Manejo**. IBAMA, Belterra, Pará. 373p.
- INPA/BASA. **Características tecnológicas de árvores tropicais através de método não destrutivo e não destrutivo para indicação de espécies para uso comercial**. Relatório Técnico. Manaus. Amazona, 38 p. 2002.
- ITTO - Organização Internacional de Madeiras Tropicais (OIMT). **Critérios e indicadores para o manejo sustentado das florestas tropicais naturais**. Série política de desenvolvimento nº7. Yokohama, Japão, 1998. 22 p.
- INPA/CPPF. **Catálogo de madeiras da Amazônia: Características tecnológicas; Área da Hidrelétrica de Balbina**. Manaus, 1991. 88f.

JANKOWSKY, I.P. **Propriedades físicas da madeira**. Piracicaba, ESALQ/USP, 1989.

KOLLMANN, F. F. P. *Tecnología de La Madera y sus aplicaciones*. Madrid. Tomo I. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera. 647 p. 1959.

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

KOLLMANN, F.; COTE, W. A. **Principles of wood science and technology**. New York, Springer-Verlag, 1986, v.1, Solid Wood. 592 p.

LEÃO, R.M. **A Floresta e o Homem**. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000. 448 p.

LIMA, J.T.; HEIN, P.R.G.; TRUGILHO, P.F.; SILVA, J.R.M. Desempenho do Resistógrafo na estimativa da densidade básica da madeira de eucalipto. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeiras, 2006, São Pedro. **Anais...** São Pedro: UNESP / CEVEMAD / IBRAMEM, 2006. (CD-ROM)

LOPES, C.A.C. **Propriedades físico-mecânicas e usos comuns de 30 espécies de madeiras da Amazônia**. Belém, SUDAM, 1983, 97p.

LUIZÃO, F.J. Litter Production and Mineral Element Input to the Forest Floor in a Central Amazonian Forest. **GeoJournal**, 19, 407-417. 1989

MANHIÇA, A. A. **Rendimento e eficiência no desdobro de Pinus sp. utilizando modelos de corte numa serraria de pequeno porte**. Curitiba– PR, 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná.

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

MATOS, J. L. M. Métodos não destrutivos para avaliação da qualidade da madeira. In: Seminário Sólidos de Eucalipto: Avanços Científicos e Tecnológicos, 1., 2002, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2002. p. 76-84.

MATTHECK, C.; BRELOER, R.C. **The body language of trees: a handbook for failure analysis**. London: The Stationery Office, 1997. 239 p.

MEIRELHES FILHO, J. **Livro de ouro da Amazônia**. Ediouro. 2006.

MIRANDA, E.V. 2002. **Padrão de desenvolvimento radial horário do fuste de três espécies florestais típicas da Amazônia utilizando dendrômetros automáticos**. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/ Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas. 76p. 2002.

MORESCHI, J. C. **Propriedades tecnológicas da madeira**. Apostila. Universidade Federal do Paraná – Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, 2005.

MURARA JUNIOR, M. I. **Desdobro de toras de pinus utilizando diagramas de corte para diferentes classes diamétricas**. Dissertação – Mestrado. Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal– Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005. 66p.

NADER, A.S.; GONÇALVES, R. **Utilização do ultrassom na avaliação da qualidade da madeira**. In: IX Congresso interno de Iniciação Científica. UNICAMP, Campinas. 2001.

NASCIMENTO, C.C.; VIANEZ, B.F. **Aproveitamento de resíduos madeireiros provenientes do processo de classificação na comercialização da espécie *Nectandra rubra* (Mez) C. K. Allen**. In Bioconversão de resíduos lignocelulolíticos da Amazônia para cultivo de cogumelos comestíveis, 2011.

NOGUEIRA, E.M.; NELSON, B.W. & FEARNSTIDE, P.M. 2003 **Volume and biomass of trees in central Amazonia: influence of irregularly shaped and hollow trunks**. Forest Ecology and Management 194: 14-21

NYLIDER, P. **Variations in density of planted spruce**. Statens. Skogsforninginst, 43: 1-44, 1953. In: TAPPI-The influence of Environmental and Genetics on Pulpwood Quality: An Annotated Bibliography. Atlanta, 1965. (Tappimonograph série, 24) p. 541.

OLIVEIRA, F. G. R., 2001, **Estudo de propriedades mecânicas de dicotiledôneas por meio de ensaios não destrutivos utilizando equipamento de ultra-som**. São Carlos. Dissertação de Mestrado – EESC,USP.

OLIVEIRA, A.M.F.; LELIS, A.T; LEPAGE, E.S.; LOPEZ, G.A.C.; OLIVEIRA, L.C.S.; CARNEDO, M.D.; MILANO. Agentes destruidores da madeira. In LEPAGE, E.S. (Coord). **Manual de Preservação da Madeira**. São Paulo: IPT; SICCT, 1986. V. 1. CAP. 5, P. 99-278. (Publicação IPT, 1637)

OLIVEIRA, F.G.R; CAMPOS, J.A.O; SALES, A. Ultrasonics measurement in Brazilian hard woods. **Materials Research**, São Carlos, v.5, n.1, p.51-55, 2002.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. Textbook of wood technology. 4. Ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 404p.

PELLERIN, R.F.; ROSS, R.J. **Nondestructive evaluation of wood**. Forest Service, Madison: USDA, 2002. 210p.

PEREIRA, L.C.; SILVA FILHO, D.F.; TOMOZELO FILHO, M.; COUTO, H. T. Z.; MOREIRA, J.M.M.Á.P.; POLIZEL, J.L. Tomografia de impulso para avaliação do interior do lenho de árvores. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba, v. 2, n. 2, p. 65-75, 2007.

PEREIRA, L.C.R. U. **Tomografia de Impulso para estimativa da densidade da madeira**. 2009.48p. Dissertação de Mestrado – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

PINTO, A.C.M.; SOUZA, A.L. DE; SOUZA, A.P. DE; MACHADO, C.C.; MINETTE, L.J.; VALE, A.B. Análise de danos de colheita de madeira em floresta tropical úmida sob regime

de manejo florestal sustentado na Amazônia oriental. **Revista Árvore**. v. 26, n 4, p.459-466. Minas Gerais: Viçosa, 2002.

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

RADAM-BRASIL 1978. **Programa de Integração Nacional. Levantamentos de Recursos Naturais**. V. 18 (Manaus) - Radam (Projeto) DNPM, Ministério das Minas e Energia. 626 p. 1978.

RANZANI, G. Identificação e Caracterização de Alguns Solos da Estação de Silvicultura Tropical. **Acta Amazonica**, v. 10 p. 7-41. 1980.

RAYNER, A.D.M.; BODDY, L. **Fungal decomposition of wood: its biology and ecology**. Chichester; John Wiley, 1988.587 p.

RIBEIRO. P. G. Utilização de Técnicas não Destrutivas para Caracterização de madeiras de *Pinus Caribaea* var. *Hondurensis* e de *Eucalyptus grandis*. 114f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade de Brasília. Brasília. 2009.

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.

RINTECH. **User Manual**– Arbotom 3-D Tree Impulse Tomograph, version 1.59 for Microsoft Windows 98,2000, XP. Heidelberg: Microsoft Window; 2005. 42 p.

ROLLO, F.M.A. **Identificação de padrões de resposta à tomografia de impulso em tipuanas (*Tipuanatipu* (Benth) O.Kuntze)**. 2009. Dissertação de Mestrado – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

ROSS, R. J.; PELLERIN, R. F. NDE of green material with stress waves: preliminary results using dimension lumber. **Forest Products Journal, Madison**, v. 41, n. 6, p. 57-59, jun. 1991.

ROSS, R. J. Inspection of timber bridges using stress wave timing nondestructive evaluation tools – A guide for use and interpretation. **Forest Products Laboratory, Madison**, General Technical report, n. 114, abr. 1999.

ROSS, R.J.; PELLERIN, R.F.; VOLNY, N.; SALSIG, W.W.; FALK. R.H. **Inspection of timber bridges using stress wave timing nondestructive evaluation tools – A guide for use and interpretation**. FPL – GTR – 114, USDA, 1998. 17p.

ROSS, R. J.; BRASHAW, B. K.; Structural condition assessment of in-service wood. **Forest Products Journal**: 56; 6; ABI/INFORM Global, p. 4, 2006.

SCHAD, K. C.; SCHMOLDT, D. L.; ROSS, R. J. **Nondestructive methods for detecting defects in softwoods logs.** US Forest Laboratory. Research Paper FPLN. 546, Madison, fev. 1996.

SCOLFARO, J.R.S. **Manejo Florestal.** Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 443 p.

SHIGO, A.L. **A new tree biology:** facts, photos, and philosophies on tree and their problems and proper care. Durham: New Hampshire, 1989. 618 p.

SHIMOYAMA, V.R.S. **Estimativas de propriedades de madeira de *Pinus taeda* através de método não destrutivo de ondas de tensão, visando a geração de produtos de alto valor agregado.** Tese de Doutorado – Universidade Federal do Paraná, 2005.

SILVA, G.F.; FIEDLER, N.C.; PINHO, G.S.C.; KUTSCHENSKI JR, F.E. e VENTUROLI, F. **O manejo florestal e seus aspectos legais.** In: 2º Simpósio Latino-Americano sobre Manejo Florestal, Anais. Santa Maria, 2002. p. 677-683.

SILVEIRA, R.R. **Avaliação não destrutiva na estimativa de propriedades de flexão de algumas madeiras tropicais comercializadas no Distrito Federal.** Monografia. Universidade de Brasília – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, 2007.

SOUZA, D.R. DE; SOUZA, A.L. DE; LEITE, H.G.; YARED, J.A.G. Análise estrutural em floresta ombrófila densa de terra firme não explorada, Amazônia Oriental. **Revista Árvore.** Vol. 30, nº1, p. 75-87. Minas Gerais: Viçosa, 2006.

TARGA, L.A.; BALLARIN, A.W.; BIAGGIONI, M.A.M. Avaliação do módulo de elasticidade da madeira com uso de método não-destrutivo de vibração transversal. **Energia na Agricultura,** Botucatu, v.25, n.2, p.291-299, 2005.

TSOUMIS, G. Science and technology of Wood: structure, properties, utilization. New York: Chapman and Hall, 1991, 494p.

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

VITAL, B. R. **Método de determinação da densidade da madeira.** Viçosa, SIF, 1984. 21p. (Boletim Técnico, 1).

VITAL, B. R. **Planejamento e operação de serrarias.** Universidade Federal de Viçosa, MG, 2008.

WANG, X.; ROSS, R.J.; MATTSON, J.A.; ERICKSON, J.R.; FORSMAN, J.W.; GESKE, E.A.; WEHR, M.A. **Several nondestructive evaluation techniques for assessing stiffness and MOE of small-diameter logs.** Forest Service, Madison: USDA, 2001.

WANG, X.; ALLISON, B. Decay detection in red oak trees using a combinations of visual inspection, acoustic testing, and resistance microdrilling. **Arboriculture & Urban Forestry**, Champaign, v. 34, n. 1, p 1-4, Jan. 2008.

WILCOX, W.W. Degradation in relation too wood structure. In: NICHOLAS, D.D. **Wood deterioration and its prevention by preservative treatments**: degradation and protection of wood. Syracuse; New York: Syracuse University Press, 1973. v. 1, p. 107-148.

ZOBEL, B.J. – Inheritance of wood properties in conifers. *Silva e Genetica*, Frankfurt, 10(3): 65-96, 1961

ZOBEL, B.J. & VAN BUIJTENEN, J.P. – **Wood variation: its cuases and control**. Berlin, Spirnger-Verlag, 1989. 418p.

ZHANG, H.; WANG, X.; ROSS, R.J. Stress wave propagation on standing-trees – Part 1. Time-of-flight measurement and 2D Stress Wave Contour Maps. *In: Proceedings of the 16th Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium*. October 12-14, Beijing, China: Beijing Forestry University, Beijin, China p. 53-58. 2009.

ANEXOS

ANEXO A – Autorização para uso de matéria prima florestal emitida pelo Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas - IPAAM



GOVERNO DO ESTADO DO AMAZONAS

AUTORIZAÇÃO PARA USO DE MATÉRIA PRIMA FLORESTAL Nº 006/12

1. DADOS DA AUTORIZAÇÃO

Detentor: Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia - INPA.	CPF: 01.263.896/0015-60
Endereço: Av. André Araújo, nº 2936, Aleixo, Manaus-AM	
Processo: 1629/T/12	Volume Autorizado (m ³) 23,68
Telefone: (92) 3643-3274	Nº de Árvores Autorizado: 20
Responsável Técnico: Claudete Catanhede do Nascimento	
Localização da Atividade: Rodovia BR 174,, km 34, km 34, ZF-2, Reserva do Cuieiras, Manaus-AM	
Coordenadas Geográficas: 02°36'32,6" S e 60°12'33,4"W.	
Local do Desdobra e Avaliação: Av. Cosme Ferreira, nº 3300, Coroado III, Manaus-AM.	
Transporte: Caminhão MUNCK, Placa NOT-4467	

2. FINALIDADE

Autorizar a exploração de 20 árvores que servirão de amostras para realização de Trabalhos Científicos, para testar o rendimento de madeiras da Amazônia.

3. ESPÉCIES AUTORIZADAS/VOLUME AUTORIZADO (m³)

Espécie	Nome Científico	Volumetria	Nº de Árvores
Abiurana	<i>Pouteria sp</i>	8,22	3
Breu Vermelho	<i>Protium heptaphyllum</i>	2,85	3
Ingá-vermelho	<i>Ingá Alba</i>	3,78	3
Matamatá	<i>Eschweilera odora</i>	2,17	3
Murici	<i>Bysonina sp</i>	1,88	3
Piãozinho	<i>Micrandopsis scleroxylon</i>	3,17	3
Muiragiboi	<i>Swartzia recurva poepp</i>	1,61	2
TOTAL		23,68	20

Validade: 180 dias

Manaus, 10 de Maio de 2012


José Carlos Monteiro de Souza
Diretor Técnico


Antonio Ademir Stroski
Diretor Presidente

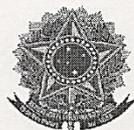
IMPORTANTE:

- O uso irregular desta autorização implica na sua cassação, bem como nas sanções previstas na legislação vigente.
- Esta autorização não contém emendas nem rasuras.
- Cópia desta autorização deverá ser mantida no local da exploração para efeito de fiscalização.
- Os volumes autorizados para exploração são de inteira responsabilidade do técnico analista.
- Os volumes autorizados correspondem ao volume geométrico.

RESTRICÇÕES E/OU CONDIÇÕES DE VALIDADE DESTA AUTORIZAÇÃO – Nº 006/12

1. A presente **Autorização** está sendo concedida com base nas informações constantes no processo n.º **1629/12**.
2. Proteger à fauna, conforme estabelecido na Lei n.º 5.197/67;
3. Manter integral as Áreas de Preservação Permanente, conforme estabelecido a Lei n.º 4771/65, com redação dada pela Medida Provisória n.º 2.166-67/01 e Lei n.º 7.803/89;
4. Fica expressamente proibido o corte da: **andiroba** (*Carapa guianensis*; *Carapa paraense*) e **copaíba** (*Copaifera trapezifolia* hayne; *Copaifera reticulata*; *Copaifera multijuga*), de acordo com Decreto Estadual n.º 25.044/05;
5. Não são passíveis de exploração para fins madeireiros a castanheira (*Bertholetia excelsa*) e a seringueira (*Hevea* spp) em florestas naturais, primitivas ou regeneradas (Decreto Federal 5.975/06);
6. Proteger o solo e os cursos d'água da contaminação por substâncias tóxicas (combustíveis, óleos, graxas, inseticidas, tintas e outros);
7. Fica proibida a interrupção dos cursos d'água, quando da construção das vias de acesso na área;
8. É expressamente proibida a queima e deposição inadequada de resíduos de qualquer natureza.
9. É expressamente proibida a deposição de resíduos em Área de Preservação Permanente, conforme Lei n.º 4.771/65.
10. Esta **Autorização** deve permanecer na localização da exploração da madeira para efeito de fiscalização.
11. O transporte da madeira autorizada deverá ser realizado através do sistema eletrônico de Controle de Produtos Florestais – (sistema DOF).
12. Cadastrar junto ao Sistema DOF um pátio para armazenamento de matéria prima florestal.
13. Este documento autoriza somente a exploração das espécies e volumetria listadas na Autorização para Uso de Matéria Prima Florestal – AUMPF, sendo esta autorização que permite a exploração e a emissão de DOF's e Notas Fiscais para o transporte dos produtos de origem florestal.
14. Fica expressamente proibido o transporte da matéria prima autorizada por este IPAAM, sem o Documento de Origem Florestal – DOF.

ANEXO B – Laudo de identificação botânica emitido pelo Laboratório de Anatomia da Madeira – LAM/INPA.



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
Coordenação de Tecnologia e Inovação

LABORATORIO DE ANATOMIA E IDENTIFICAÇÃO DE MADEIRA / XILOTECA

Resultado da Análise

Laudo Técnico Nº

Solicitante: Dra. Claudete Catanhede do Nascimento.

Número de amostras: 19 amostras de Madeiras

Procedência: ZF 2 – INCT – Madeiras da Amazônia

Tipo de Material: Amostras de madeiras comerciais.

Número/Nome Vulgar da Amostra: Abiurana (122; 160; 140), Breu-vermelho (89; 239; 220), Inga-vermelha (217; 210; 130), Matá-matá (116; 128), Murici (94; 97; 92), Peãozinho (236; 223; 105), Muiragiboia (106; 136). 4013? ; 4004? ; 125?

IDENTIFICAÇÃO MACROSCÓPICA:

- 136- Muiragiboia
 N. Científico: *Swartzia laevicarpa* Amshoff.
 Família: Fabaceae
- 106- Peãozinho
 N. Científico: *Eschweilera coriacea* (A. DC.) Mori..
 Família: Lecythidaceae
- 105- Peãozinho
 N. Científico: *Eschweilera coriacea* (A. DC.) Mori..
 Família: Lecythidaceae
- 217- Ingá-vermelha / Angelim-vermelho
 N. Científico: *Dinizia excelsa* Ducke.
 Família: Mimosaceae



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
 e Inovação**





MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
 Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
 Coordenação de Tecnologia e Inovação

- 89- Breu-vermelho
 N. Científico: *Protium puncticulatum* Macbr.
 Família: Burseraceae
- 4013- Murici / Murici-da-mata
 N. Científico: *Byrsonima crisa* Juss.
 Família: Malpighiaceae
- 4004- Murici / murici-da-mata
 N. Científico: *Byrsonima crisa* Juss.
 Família: Malpighiaceae
- 125- Matamatá
 N. Científico: *Eschweilera odora* (Poepp.) Miers.
 Família: Lecythidaceae
- 140- Abiurana / Maparajuba
 N. Científico: *Manilkara amazonica* (Huber.) Standley.
 Família: Sapotaceae
- 210- Ingá-vermelho
 N. Científico: *Inga paraensis* Ducke.
 Família: Mimosaceae
- 97- Murici / Murici-da-mata
 N. Científico: *Byrsonima crisa* Juss.
 Família: Malpighiaceae
- 160- Abiurana
 N. Científico: *Pouteria guianensis* Aubl.
 Família: Sapotaceae



Ministério da
 Ciência, Tecnologia
 e Inovação





MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
 Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
 Coordenação de Tecnologia e Inovação

- 128- Matamatá
 N. Científico: *Eschweilera odora* (Poepp.) Miers.
 Família: Lecythidaceae
- 223- Peãozinho
 N. Científico: *Eschweilera coriacea* (A. DC.) Mori..
 Família: Lecythidaceae
- 236- Peãozinho
 N. Científico: *Eschweilera coriacea* (A. DC.) Mori..
 Família: Lecythidaceae
- 116- Matamatá
 N. Científico: *Eschweilera odora* (Poepp.) Miers.
 Família: Lecythidaceae
- 130- Ingá-vermelho
 N. Científico: *Inga alba* (Sw.) Willd.
 Família: Mimosaceae
- 239- Breu-vermelho
 N. Científico: *Protium tenuifolium* Engl.
 Família: Burseraceae
- 220- Breu-vermelho
 N. Científico: *Protium tenuifolium* Engl.
 Família: Burseraceae

JORGE ALVES DE FREITAS.

Anatomista de Madeira

Lab. De Anatomia e Identificação de Madeiras / Xiloteca.

Coordenação de Tecnologia e Inovação - COTI / INPA

Fone: (92) 3643 3084 / 3085



Ministério da
 Ciência, Tecnologia
 e Inovação

