



## Tomografia de impulso na avaliação da sanidade e rendimento de *Micrandopsis scleroxylon* W. Rodr.

Rômulo Geisel Santos MEDEIROS<sup>1</sup>, Claudete Catanhede do NASCIMENTO<sup>2</sup>, Sâmia Valéria dos Santos BARROS<sup>3</sup>, Adilene KROESSIN<sup>1</sup>, Estevão Vicente Cavalcanti Monteiro de PAULA<sup>2</sup>, Niro HIGUCHI<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil.

<sup>2</sup>Coordenação de Tecnologia e Inovação, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, Brasil.

<sup>3</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, Brasil.

<sup>4</sup>Coordenação de Dinâmica Ambiental, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, Brasil.

\*E-mail: romulogeisel@gmail.com

Recebido em janeiro/2017; Aceito em junho/2017.

**RESUMO:** A utilização de novas tecnologias para caracterizar madeiras tropicais é essencial para reduzir desperdícios na cadeia produtiva da indústria madeireira, aumentando o rendimento e produtividade do setor. Objetivou-se neste trabalho avaliar a utilização da tomografia de impulso na identificação do estado de sanidade e rendimento do lenho de árvores na floresta. O estudo foi conduzido em 01 hectare na Estação Experimental de Silvicultura Tropical – Núcleo ZF-2 - INPA. Foram selecionadas quatro árvores de *Micrandopsis scleroxylon* W. Rodr. para a utilização da tomografia de impulso; técnica essa que se baseia no cálculo da velocidade de propagação das ondas mecânicas no interior do lenho, originando uma imagem tomográfica. Utilizou-se a fórmula de Smalian para determinação dos volumes de madeira total e do oco, sendo sua diferença, o volume de madeira útil. Também foi estimado o volume de madeira útil a partir dos dados da tomografia de impulso. As árvores foram desdobradas na serraria para o cálculo do rendimento. Estes dados foram comparados com a classificação feita no software Envi 4.8, verificando a relação entre essas variáveis. A tomografia de impulso mostrou-se eficiente para estimar o estado de sanidade da árvore na floresta, demonstrando ser uma ferramenta útil no planejamento da exploração florestal.

**Palavra-chave:** metodologia não destrutiva, manejo florestal, madeiras da Amazônia.

## Impulse tomography in the evaluation sanity and performance of *Micrandopsis scleroxylon* W. Rodr.

**ABSTRACT:** The use of new technologies to characterize tropical Wood is essential to reduce waste in wood industry productive chain, increasing the performance and productivity of the sector. The goal of this work was to access the use of the non-destructive method of impulse tomography in the identification of sanity state and wood performance of standing trees in the forest. The study was led in 01 hectare in Experimental Station of Tropical Silviculture – Campus ZF-2 - INPA. Four trees of the *Micrandopsis scleroxylon* W. Rodr. were selected for the impulse tomography application, technique based on the calculation of the wave propagation speed in the interior of the wood, giving rise to a tomographic image. It was used the Smalian formula to determine the total wood volume taking away the hollow volume equals the volume of useful wood. It was also estimated the useful volume using the data of the impulse tomography. The trees were unfolded in the sawmill for performance calculation. These data were compared to the classification done in the Envi 4.8 software, verifying the relation between the variables. The impulse tomography proved to be efficient to estimate the health status of the tree in the forest, showing to be a useful tool the forest exploration planning.

**Keywords:** non-destructive methodology, forest management, Amazon wood.

### 1. INTRODUÇÃO

A Amazônia é a região que possui a maior reserva florestal contínua no mundo, cobrindo uma área de, aproximadamente, 250 milhões de hectares, conhecida por possuir uma das maiores reservas de recursos naturais do planeta e, abriga grande diversidade de espécies madeireiras que representam o patrimônio florestal amazônico (CLINEBELL et al., 1995).

Nessa região, a produção madeireira é caracterizada pela máxima retirada de madeira por área, com a exploração de poucas espécies de interesse comercial e pela geração de grande quantidade de resíduos, tanto na floresta quanto na indústria (ULIANA, 2010).

Atualmente, os métodos visuais e mecânicos são os mais utilizados para a avaliação do estado de sanidade da árvore na floresta. Como estes métodos são subjetivos, pois, dependem unicamente da experiência do operador de motosserra, podem gerar prejuízos, tanto econômicos, quanto ambientais, quando da exploração de árvores lesionadas ou ocas (ULIANA, 2010).

A aplicação de técnicas não destrutivas foi um dos grandes avanços obtidos nos últimos anos na caracterização de materiais. O grande diferencial dessas técnicas em relação à caracterização destrutiva é a rapidez na obtenção da informação.

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 como também não interferir em seu uso (ABENDE, 2011).

Para tornar o processo dinâmico e menos oneroso torna-se necessária a introdução de novas técnicas para auxiliar a exploração de madeiras tropicais, e assim evitar desperdícios no processo produtivo, e dessa forma, reduzir os impactos negativos quando da exploração de árvores com lesões internas.

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). Atualmente, há uma crescente utilização de técnicas que utilizam informações fornecidas pela passagem de ondas para a análise da qualidade da madeira.

A tomografia de impulso baseia-se no princípio da cronometragem de ondas mecânicas que percorrem o lenho das árvores, por meio de uma fonte de emissão e de recepção de sensores instalados em seus troncos para reconstrução de suas seções transversais, gerando um gráfico de velocidade das ondas mecânicas, também chamado de imagem tomográfica (RINNTECH, 2005).

Esse aparelho se destaca por ser um método não destrutivo que permite a avaliação do interior do lenho de árvores pela passagem de ondas mecânicas, sendo possível analisar a presença de defeitos (fungos, ataques de insetos, rachaduras, nós, ocos, entre outros) que alteram as propriedades físicas, químicas e mecânicas da madeira (AMODEI, et al., 2010).

A avaliação não destrutiva de madeiras por meio dessa técnica surge como uma opção promissora devido à relevância das informações que podem ser obtidas e também pela facilidade de operação (LATORRACA et al., 2011).

Nesse contexto, a utilização da tomografia de impulso pode fornecer informações importantes quanto ao estado de sanidade da árvore na floresta, sendo uma ferramenta inovadora para o planejamento da exploração florestal. Este trabalho teve por objetivo avaliar a utilização da técnica não destrutiva de tomografia de impulso na identificação do estado de sanidade e rendimento do lenho da espécie *Micrandopsis scleroxylon* W. Rodr. Euphorbiaceae (Piãozinho).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida 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). 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).

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 as alturas estão na faixa de 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).

### 2.1. Seleção das árvores

Em uma parcela de 01 hectare, instalada na área da Estação Experimental de Silvicultura Tropical - ZF-2 foram inventariados todos os indivíduos arbóreos que se incluíam na classe de diâmetro de 25 cm ≤ DAP ≤ 60 cm, com exceção dos indivíduos que apresentaram sapopema acima do diâmetro a altura do peito (DAP), totalizando 128 árvores. Desse total foram selecionados quatro indivíduos da espécie *Micrandopsis scleroxylon* W. Rodr, da família Euphorbiaceae (Piãozinho), por apresentar maior ocorrência na área de estudo, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Características dendométricas das árvores de *Micrandopsis scleroxylon* W. Rodr.

Table 1. Dendometric Characteristics of the trees of *Micrandopsis scleroxylon* W. Rodr.

Árvore	DAP (cm)	Altura (m)
1	44,80	12,80
2	30,5	17,90
3	36,2	13,20
4	31,2	10,40

As quatro árvores foram analisadas primeiramente pelo método visual, no sentido de verificar o estado de sanidade, se havia ou não a ocorrência de ocos visíveis, ataque de insetos como coleópteros, térmitas ou até mesmo se havia a ocorrência de fungos. A segunda etapa consistiu na análise do material lenhoso utilizando a tomografia de impulso.

### 2.2. Avaliação da árvore em pé pelo método da tomografia de impulso

Nessa etapa do trabalho foi utilizado o equipamento Tomógrafo de impulso ARBOTOM<sup>®</sup>, versão 2.01. Esse aparelho baseia-se no princípio da cronometragem de ondas mecânicas que percorrem o lenho das árvores, por meio de uma fonte de emissão e de recepção de sensores instalados em seus troncos para reconstrução de suas seções transversais, gerando um gráfico de velocidade das ondas mecânicas, também chamado de imagem tomográfica (RINNTECH, 2005).

Os sensores do tomógrafo foram fixados no fuste das árvores com pregos a aproximadamente 02 cm de profundidade na altura do DAP (diâmetro à altura do peito). Esses foram numerados e dispostos no sentido horário e conectados entre si por um cabo e uma bateria interligada a um computador portátil, onde está instalado o *software* do ARBOTOM, versão 2.01 (Figura 1).

Em cada sensor foi produzida uma onda de impacto por meio de pancadas do martelete, realizando no mínimo cinco batidas por sensor, ou até que a percentagem de erro atingisse a faixa de valor aceitável (entre 0 e 10%), de acordo com a

matriz Delta do software, como recomendado pelo manual do equipamento (RINNTECH, 2005).



Figura 1. (A) Coleta de dados na árvore 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 no computador.

Figure 1. (A) Collection of data in the trees at DAP height, (B) Fix the sensors and cable connectors, (C) Hammer hits for wave emissions, (D) Reception of data in the computer.

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, gerando um gráfico de velocidade de onda da seção transversal (imagem tomográfica) para cada árvore.

Para a interpretação das imagens foi utilizado o filtro “Rainbow” do *software* do ARBOTOM, com resolução de superfície de 1 mm. As imagens foram exportadas do *software* original para o formato de imagem .tiff, permitindo que no *software* Envi 4.8, por meio da classificação decision tree, as imagens fossem separadas em duas classes: cor azul – tecido sadio e cor vermelha – tecido deteriorado/oco. A partir dessa classificação, o *software* foi capaz de quantificar a porcentagem de tecido sadio e tecido deteriorado/oco para cada seção estudada.

Para a validação dos resultados obtidos com a tomografia de impulso e pela análise do Envi 4.8, foram retiradas do fuste comercial das quatro árvores, toras de quatro metros para registro das dimensões do oco. Ressalta-se que essas medições ocorreram na primeira tora da árvore selecionada, a contar de sua base, em função da avaliação realizada com o tomógrafo de impulso na altura do DAP.

### 2.3. Determinação do volume das árvores

A cubagem rigorosa foi feita até a altura comercial da árvore utilizando o Método de Smalian, conforme descrito a seguir (Equação 1).

$$V = \frac{(AS_1 + AS_2)}{2} L \quad \text{(Equação 1)}$$

em que: V = volume da tora (m<sup>3</sup>); AS<sub>1</sub> = área da seção transversal na extremidade 1 (m<sup>2</sup>); AS<sub>2</sub> = área da seção transversal na extremidade 2 (m<sup>2</sup>); L = comprimento da tora (m).

Para a obtenção do volume comercial da árvore foi medido o diâmetro a cada dois metros utilizando uma suta, até que fosse atingida a primeira bifurcação do indivíduo analisado. Na ocorrência de deterioração/oco, realiza-se a medição do diâmetro do oco com uma fita métrica na base da tora e na outra extremidade, sendo anotadas a altura e a largura do oco. A partir dos resultados da cubagem foram realizadas as seguintes estimativas: Volume de madeira total da tora; Volume do oco e Volume de madeira útil da tora, ou seja, a diferença entre volume de madeira total da tora e volume do oco.

### 2.4. Determinação do rendimento em madeira serrada

Após as medições da deterioração/oco, as toras das árvores foram desdobradas em peças comerciais para a determinação do rendimento. Essa avaliação ocorreu tanto em árvores onde existia ou não biodegradação. O volume das peças foi determinado conforme descrito a seguir (Equação 2).

$$V_{pi} = C \times L \times E \quad \text{(Equação 2)}$$

em que: V<sub>pi</sub> = Volume da peça (m<sup>3</sup>); C = Comprimento da peça (m); L = Largura da peça (m); E = Espessura da peça (m).

Depois de calculado o volume de cada peça de madeira serrada, obteve-se o volume total em madeira serrada através da seguinte fórmula (Equação 3).

$$S = \sum V_{pi} \quad \text{(Equação 3)}$$

em que: S = Volume total em madeira serrada (m<sup>3</sup>) e  $\sum V_{pi}$  = Somatório do volume individual das peças (m<sup>3</sup>)

O rendimento em madeira serrada (R%) é obtido a partir da Equação 4.

$$R = (S/T) \times 100 \quad \text{(Equação 4)}$$

em que: R = Rendimento (%); S = Volume em madeira serrada (m<sup>3</sup>); T = Volume de toras em m<sup>3</sup>.

### 2.5. Análise dos dados

Os resultados obtidos pela tomografia de impulso foram comparados com os resultados da avaliação da presença de deterioração/oco das árvores após exploração e desdobro da tora, sendo avaliada a presença ou não de deterioração/oco nas árvores estudadas.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Avaliação da qualidade da madeira pelo método da tomografia de impulso e após a exploração

A avaliação não destrutiva a partir da aplicação da tomografia de impulso possibilitou a reconstrução da seção transversal do indivíduo arbóreo na altura de seu DAP, formando uma imagem com as características internas do lenho. Isso permitiu a interpretação por meio da verificação da diferença de tonalidade das cores, sendo: tecido sadio (azul/verde) e tecido deteriorado (vermelho/laranja).

A comparação entre os dados obtidos pela tomografia de impulso e pela qualidade da madeira após exploração mostra

que o aparelho foi capaz de estimar de forma aproximada as condições internas do fuste das quatro árvores analisadas, sendo que a diferença entre as duas metodologias variou de 0,79 a 8,80% (Tabela 2).

Tabela 2. Comparação do estado de sanidade do lenho obtido pela imagem tomográfica e pela qualidade da madeira após exploração.  
Table 2. Comparison of the internal sanity of its wood obtained impulse tomography and the quality of the wood after exploration

Árv.	Qualidade da Madeira (%)				Diferença (%)
	Após exploração		Imagem tomográfica		
	Sad.	Det.	Sad.	Det.	
1	90,61	9,39	91,34	8,66	0,79
2	91,40	8,60	84,00	16,00	8,80
3	100,00	0,00	96,46	3,54	3,54
4	85,46	14,54	89,66	10,34	4,68

Árv. = Árvore; Sad. = fuste sadio; Det.= fuste deteriorado

Para cada árvore foi confeccionada uma ficha comparando os resultados obtidos por meio do tomógrafo de impulso, da análise pela classificação Decision tree e pela análise após o corte das quatro árvores. Na escala das imagens (Figuras 2 a 5), verifica-se que as porções com coloração azul foram as que apresentaram maiores valores de velocidade de onda, e as porções com coloração rosa foram as que apresentaram menores valores de velocidade de onda, significando, respectivamente, tecido sadio e tecido deteriorado/oco.

A Figura 2 mostra a imagem do material lenhoso interno da árvore 1 registrada pelo tomógrafo de impulso. A área vermelho/laranja, na parte central da secção transversal da árvore 1 indica a presença de material deteriorado/oco. Na análise após exploração foi constatada a presença de oco, apresentando uma área deteriorada bem próxima àquela encontrada pela tomografia de impulso.

Na Figura 3 observa-se uma área vermelho/laranja na parte central da secção transversal da árvore 2, o que indica a presença de material deteriorado/oco. Após a exploração constatou-se a presença do oco, todavia a sua área é menor do que a observada com a utilização da tomografia de impulso.

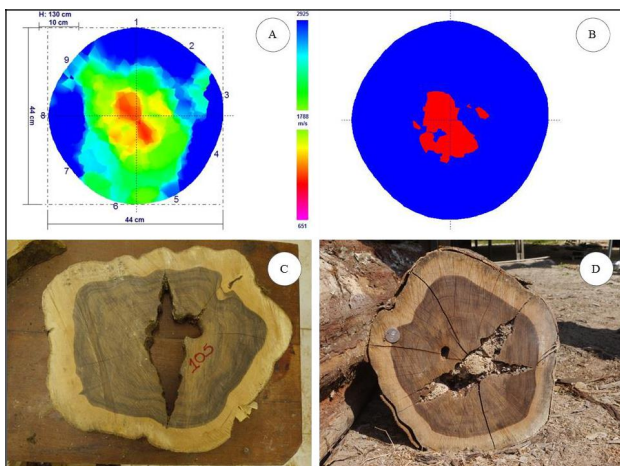


Figura 2. Árvore 1 – Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da classificação Decision Tree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da secção transversal da árvore (C e D).

Figure 2. Tree 1 – Tomographic image of tree (A), Image of the Decision Tree classification– Healthy tissue in blue and deteriorated/hollow in red (B), Image of the transversal section of the tree (C e D).

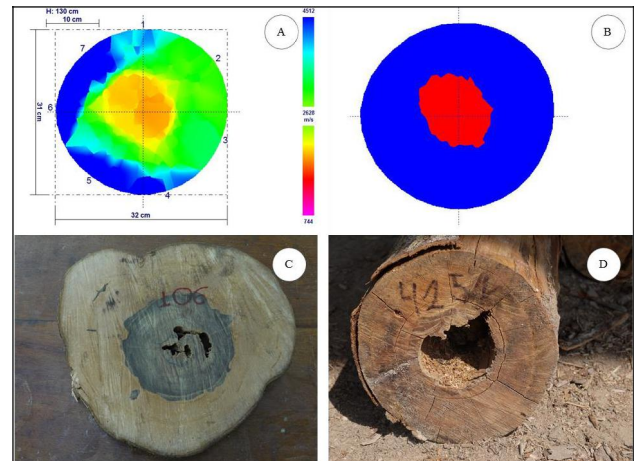


Figura 3. Árvore 2 – Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da classificação Decision Tree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da secção transversal da árvore (C e D).

Figure 3. Tree 2 – Tomographic image of tree (A), Healthy tissue in blue and deteriorated/hollow in red (B), Image of the transversal section of the tree (C and D).

Na Figura 4 nota-se a presença de uma pequena área vermelho/laranja entre os sensores 6-7 e 7-8, indicando a presença de material deteriorado/oco na árvore 3. Entretanto, na análise após a exploração, a madeira está sadio, não apresentando qualquer indicio de defeito interno na árvore, sendo que o percentual de defeito interno estimado pelo tomógrafo de impulso foi de apenas 3,54%.

Na Figura 5 observa-se uma área vermelho/laranja presente desde a região central até a área periférica da secção transversal da árvore 4. Após exploração foi confirmada a presença de deterioração/oco, entretanto, essa avaliação apresentou área deteriorada superior àquela que foi encontrada pela tomografia de impulso.

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 desdobra foi feito de forma direcionada visando maximizar o rendimento para cada tora desdobrada (Tabela 4).

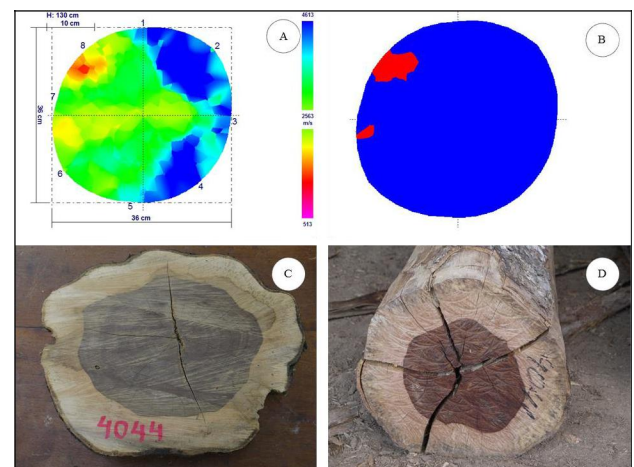


Figura 4. Árvore 3 – Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da classificação Decision Tree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da secção transversal da árvore (C e D).

Figure 4. Tree 3 – Tomographic image of tree (A), Healthy tissue in blue and deteriorated/hollow in red (B), Image of the transversal section of the tree (C and D).

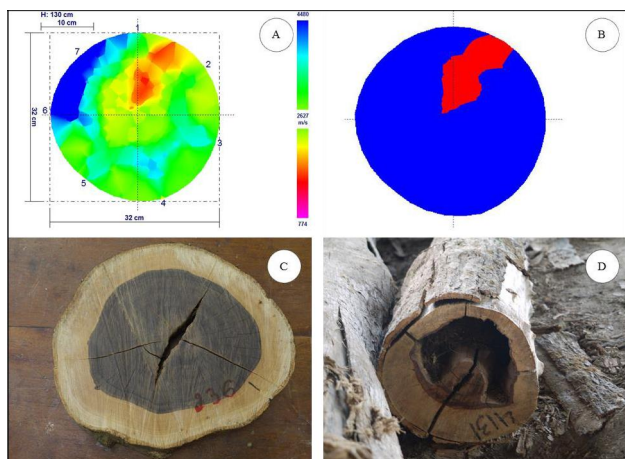


Figura 5. Árvore 4 – Imagem tomográfica da árvore (A), Imagem da Classificação Decision Tree – tecido sadio em azul e tecido deteriorado/oco em vermelho (B), Imagem da Seção Transversal da Árvore (C e D).

Figure 5. Tree 4 – Tomographic image of tree (A), Healthy tissue in blue and deteriorated/hollow in red (B), Image of the transversal section of the tree (C and D).

Tabela 4. Rendimento das árvores exploradas.

Table 4. Performance of explored trees.

Árvore	Volume útil estimado pelo tomógrafo (%)	Rendimento (%)
1	91,34	71
2	84,00	70
3	96,46	76
4	89,66	60

Embora as quatro árvores tenham apresentado qualidade de fuste diferenciado em relação à sanidade, o rendimento variou de 60 a 76%.

#### 4. DISCUSSÃO

##### 4.1. Avaliação do estado de sanidade pelo método da tomografia de impulso e após a exploração

A avaliação do estado de sanidade interna da árvore na floresta é uma informação de extrema importância para o manejo florestal sustentável. Com o conhecimento prévio da sanidade da madeira ainda em pé na floresta será possível planejar de forma mais eficiente as atividades de exploração.

Esse avanço poderá maximizar o rendimento das árvores exploradas, uma vez que árvores com excesso de defeitos internos não serão abatidas. A exploração equivocada de indivíduos arbóreos inaptos eleva os custos com mão de obra, maquinário e transporte; o que encarece, significativamente, a cadeia produtiva desse setor.

Um fator importante que deve ser considerado quanto ao inventário de qualidade, é que este pode ser visto como uma medida de prevenção de acidentes, tendo em vista que a maior parte dos acidentes graves que ocorrem na exploração florestal são provocados pela derrubada de árvores com ocos, pois elas caem rapidamente e sem direção previsível (AMARAL et al., 1998).

Outra vertente que é contemplada com a implantação dessa metodologia, diz respeito à questão ecológica que o espécime desempenha com a sua permanência na floresta. Esses continuarão desempenhando sua função ecológica,

seja como árvore porta semente, abrigo de animais, entre outras.

Conforme visto na Tabela 2, as diferenças entre a tomografia de impulso e a análise após a exploração foram baixas, demonstrando que o tomógrafo de impulso foi eficiente na verificação do estado de sanidade interno para a espécie estudada.

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; Smiley (2004), utilizando o tomógrafo de impulso na avaliação da qualidade do lenho de *Quercus alba* e *Carya* sp afirmam que o método foi capaz de identificar espacialmente e quantitativamente as lesões observadas visualmente e, Wang; Allison (2008), avaliando a precisão da tomografia em dois indivíduos centenários de *Quercus rubra*, concluíram que o método foi capaz de identificar a localização e a magnitude aproximada dos tecidos lesionados nos indivíduos avaliados.

As conclusões dos autores supracitados, acerca da aplicação da tomografia de impulso na avaliação interna do lenho de árvores, corroboram os resultados deste estudo.

Entretanto, Uliana (2010), analisando a resposta da tomografia de impulso em indivíduos de Maçaranduba (*Manilkara huberi*), encontrou resultado diverso do encontrado no presente trabalho, no qual afirma que a tomografia de impulso superestima a área deteriorada de 7 a 15%, não se mostrando eficiente para diferenciar tecido deteriorado de tecido sadio para essa espécie em indivíduos acima de 90 cm de DAP. Essa afirmativa pode estar relacionada a diversos fatores, tais como: diâmetro do fuste, forma do fuste e pequena diferença de densidade entre madeira sadia e madeira lesionada da espécie estudada.

Essa autora afirma que o rendimento de desdobro fica comprometido em árvores com volume de oco superior a 15%, ressaltando que toras ocas tendem a ter maior susceptibilidade à rachaduras 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. Essa afirmação diverge dos resultados do trabalho de Danielli (2016), que não encontrou diferenças estatísticas no rendimento de toras ocas e sadias de *Manilkara* spp.

Quanto à tomada de decisão para o corte das árvores, a utilização da tomografia de impulso se mostrou eficiente, pois, não houve grandes divergências entre a imagem tomográfica obtida e a situação real das quatro árvores após a exploração, sendo que essas estavam aptas, tanto pela avaliação de corte pelo operador de motosserra, quanto pela avaliação da tomografia de impulso.

Verificou-se que os volumes úteis, estimados pelo tomógrafo, variaram de 84 a 96,46%, demonstrando que as árvores estavam em condições favoráveis de aproveitamento.

A tomografia de impulso revela-se como uma revolução para a avaliação da qualidade do interior das árvores, pois não havia instrumentos que possibilitassem conhecer seções inteiras de árvores com tamanha rapidez e praticidade (PEREIRA et al., 2007).

O uso deste método na operação de corte de árvores demonstrou ser uma ferramenta importante para o planejamento do manejo florestal, tanto do ponto de vista econômico, quanto ambiental, o que 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 a destinação final da madeira a ser explorada, pois, mesmo com a presença de oco, pode haver a viabilidade de exploração, devido ao alto valor comercial da madeira.

Na Amazônia, o rendimento médio das toras de madeira processadas nas serrarias é de aproximadamente 30% (CLEMENT; HIGUCHI, 2006). Para esses autores, o rendimento deve-se ao baixo nível tecnológico empregado, o que resulta em grande desperdício, pois, cerca de 70% de uma tora vira lixo urbano e rural no ato de processamento.

Oliveira et al. (2003) em seu estudo com 15 espécies tropicais da Amazônia na avaliação de três serrarias do município de Jarú, estado de Rondônia, obtiveram um rendimento médio do desdobro das toras de 49,28%, com amplitude de 28,04 a 72,02%, sendo que as espécies com maior rendimento foram: *Brosimum* sp (72,20%), *Cordia* sp (69,08%) e *Cedrela odorata* L. (66,09%), resultados próximos aos encontrados nesse estudo para *Micrandopsis scleroxylon* W. Rodr, e as com menores rendimentos: *Trichilia* sp (28,04%), *Peltogyne confertiflora* (Hayne) Benth. (34,85%) e *Myroxylon balsamum* (L.) Harns. (34,86%).

Cavalcante e Nascimento (2003), ao estudar o rendimento de *Couratari stellata* (Tauari), encontrou rendimento de 57%, enquanto na *Hura crepitans* (Assacu) chegou ao rendimento de 90%, por ser usada em tábuas azimbre que não exige qualidade por parte do consumidor.

Neste trabalho, fazendo uso do desdobro direcionado, obteve-se um rendimento superior aos encontrados na literatura, referentes à utilização dos métodos convencionais de desdobros, a citar os trabalhos de avaliação do rendimento de madeiras tropicais realizados por Cavallet et al. (2010), 35,18% e Marchesan (2012), 29,88% e Danielli (2016), 30,1%.

A partir dos resultados encontrados no presente estudo com a espécie *Micrandopsis scleroxylon* W. Rodr., se vislumbra no futuro predizer o volume útil nas árvores na floresta para essa espécie, com a utilização dessa técnica não destrutiva.

A diferença entre volume útil estimado pelo tomógrafo e rendimento em madeira serrada, variou de 14 a 29,66%. A árvore 4 foi a que apresentou maior grau de degradação ao longo da tora, o que influenciou negativamente em seu desdobro, resultando em maior desperdício de material lenhoso.

A partir desses resultados encontrados para a espécie estudada, considerando a média de 21%, obtida pela diferença entre volume estimado pelo tomógrafo de impulso e o rendimento em madeira serrada, pode se fazer uma predição do rendimento antes da exploração florestal, evitando, dessa forma, o corte desnecessário de árvores com lesões internas significativas.

Cabe ressaltar que esse rendimento só será alcançado se forem utilizadas técnicas de desdobro adequadas para cada espécie e características internas das toras, pois foi observado no momento do desdobro que o grau de degradação incide de

maneira diferenciada nas árvores da espécie em questão. Resultados semelhantes foram encontrados por Uliana (2010) ao estudar árvores de *Manilkara huberi* (Ducke).

Dessa forma, são imprescindíveis novas pesquisas quanto ao processamento mecânico da madeira em serrarias, o que diminuiria, de forma significativa, as perdas de matéria-prima nesse setor.

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

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 na floresta, bem como foi possível estimar o volume útil das árvores selecionadas, dessa forma sendo considerado um método 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 do manejo florestal. A partir do inventário 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 seja divergente daquele planejado, o que pode comprometer economicamente o manejo florestal.

Dessa forma, a estimativa do volume útil da madeira que será explorada 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. Isso demonstra a importância da introdução do método da tomografia de impulso em planos de manejo florestal na região Amazônica.

## 5. CONCLUSÕES

A tomografia de impulso foi capaz de identificar a sanidade da madeira e estimar o volume útil nas quatro árvores de *Micrandopsis scleroxylon* W. Rodr.

A utilização da tomografia de impulso pode ser utilizada como ferramenta auxiliar para a decisão de corte na exploração florestal.

Novos estudos devem ser realizados para calibração do aparelho em diferentes espécies tropicais para viabilizar seu uso no manejo florestal.

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos Ao Projeto INCT Madeiras da Amazônia, CNPq e FAPEAM pelo financiamento para aquisição do equipamento e realização as pesquisa.

## 7. REFERÊNCIAS

- AMODEI, J. B.; OLIVEIRA B. R. U.; GURGEL, M. M.; CARVALHO, A. M.; MEDEIROS R. A.; LATORRACA, J. V. F. Avaliação Preliminar da Qualidade da Madeira de *Tectona grandis* L. f. Através da Tomografia de Impulso. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 17, n. 4, p. 124-128, jul/dez. 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/loram.2011.016>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E INSPEÇÃO (ABENDE). **Ensaio Não Destrutivo**. Disponível em: [http://www.abende.org.br/ensaios\\_ao\\_destrutivos.html](http://www.abende.org.br/ensaios_ao_destrutivos.html). Acessado em 10 de outubro de 2011.

- AMARAL, P. H. C.; VERISSIMO, J. A. O.; BARRETO, P. G.; VIDAL, E. J. S. **Floresta para sempre: um manual para produção de madeira na Amazônia**. Belém: IMAZON, 1998. 137p.
- 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.
- CAVALCANTE, M. A.; NASCIMENTO C. C.; AZEVEDO, C. P. Desenvolvimento de modelos para diagnosticar rendimento e desperdício de madeiras em três serrarias da cidade de Manaus. IN. **XII Jornada de Iniciação Científica do PIBIC/INPA**, Manaus-AM, p201-202, 2003.
- CAVALLET, J.; OLIVEIRA, A. L. A.; ARRUDA, T. P. M.; ACOSTA, F. C. 2010. **Rendimento em madeira de Jatobá (*Hymenaea courbaril*)**. Anais do II SICCA – II Simpósio de Iniciação Científica das Ciências Agrárias. Alta Floresta/MT. p.20-23. 2010.
- CLEMENT, C. R.; HIGUCHI, N. A floresta amazônica e o futuro do Brasil. *Ciência e Cultura (SBPC)*, São Paulo, v. 58, n. 3. p. 44-49, jul./set. 2006.
- CLINEBELL, R. R.; PHILLIPS, O. L.; GENTRY, A. H.; STARK, N.; ZUURING, H. Prediction of Neotropical tree and liana species richness from soil and climatic data. *Biodiversity and Conservation*, v. 4, n. 1 p.56-90. 1994. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/BF00115314>
- DANIELLI, F. E.; GIMENEZ, B. O.; OLIVEIRA, C.K. A.; SANTOS, J.; HIGUCHI, N. Modelagem do rendimento no desdobro de toras de *Manilkara* spp. (Sapotaceae) em serraria do estado de Roraima, Brasil. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 44, n. 111, p. 641-651, set. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v44n111.10>
- GILBERT, E. A.; SMILEY, T. Picus Sonic tomography for the quantification of decay in white oak (*Quercus alba*) and hickory (*Carya* spp.). *Journal of Arboriculture*, Champaign, v. 30, n. 5, p. 277-281, sept. 2004.
- LATORRACA, J. V. F.; RODRIGUES, N. D.; VIEIRA, M. C.; OHANA, C. C.; TEIXEIRA, J. G. Efeito da umidade da madeira na propagação de ondas mecânicas, **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 18, n. 4, p. 451-459, out/dez. 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2011.064>
- LUIZAO, F. J. Litter production and mineral element input to the forest floor in a central Amazonian forest. *Geo Journal*, v.19, n.4, p.407-417, 1989. DOI: 10.1007/BF00176910.
- MARCHESAN, R. **Rendimento e qualidade de madeira serrada de três espécies tropicais**. 2012. 94f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- MIRANDA, E. V. **Padrão de desenvolvimento radial horário do fuste de três espécies florestais típicas da Amazônia utilizando dendrômetros automáticos**. 2002. 76f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2002.
- 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, jan./mar. 2002. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-14392002000100009>
- OLIVEIRA, A. D.; MARTINS, E. P.; SCOLFORO, J. R. S.; REZENDE, J. L. P.; SOUZA, A. N. Viabilidade econômica de serrarias que processam madeira de florestas nativas – o caso do município de Jaru, estado de Rondônia. *Cerne*, Lavras, v. 9, n. 1, p.01-15, 2003.
- PEREIRA, L. C.; SILVA FILHO, D. F.; TOMOZELLO FILHO, M. T.; COUTO, H. T. Z.; MOREIRA J. M. M. A. 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.
- 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.
- ROLLO, F. M. A. **Identificação de padrões de resposta à tomografia de impulso em tipuanas (*Tipuana tipu* (Benth.) O. Kuntze)**. 2009. 124f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- RINNTECH. **User Manual – Arbotom 3-D Tree Impulse Tomograph**, version 1.59 for Microsoft Windows 98,2000, XP. 2005. Heidelberg: Microsoft Window, 42 p.
- ULIANA, L. R. **Aplicação da tomografia de impulso na avaliação da qualidade do lenho de árvores de maçaranduba, *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier**. 2010. 157f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- 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.