

UFRRJ
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS E FLORESTAIS

DISSERTAÇÃO

**Utilização de métodos não destrutivos na avaliação da
qualidade da madeira de *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze
proveniente de plantios de restauração florestal**

Pablo Vieira dos Santos

2016



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS NA AVALIAÇÃO
DA QUALIDADE DA MADEIRA DE *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze
PROVENIENTE DE PLANTIOS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL**

PABLO VIEIRA DOS SANTOS

Sob a Orientação do Professor
Alexandre Monteiro de Carvalho

e Co-orientação do Professor
Alexandre Miguel do Nascimento

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de concentração em Ciência e Tecnologia de Produtos Florestais.

Seropédica, RJ
Fevereiro de 2016

634.98

S237u Santos, Pablo Vieira dos, 1989-

T Utilização de métodos não destrutivos na avaliação da qualidade da madeira de *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze proveniente de plantios de restauração florestal / Pablo Vieira dos Santos. - 2016.

xi, 32 f.: il.

Orientador: Alexandre Monteiro de Carvalho.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, 2016.

Bibliografia: f. 27-32.

1. Madeira - Qualidade - Teses. 2. Madeira - Radiografia - Teses. 3. Reflorestamento - Teses. I. Carvalho, Alexandre Monteiro de, 1971- II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais. III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

PABLO VIEIRA DOS SANTOS

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de concentração em Ciência e Tecnologia de Produtos Florestais.

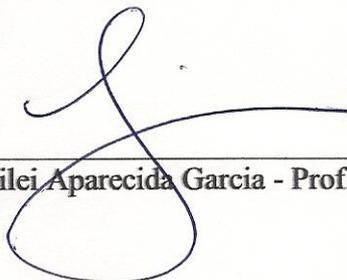
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 26/02/2016



Alexandre Monteiro de Carvalho - Prof. Dr. UFRRJ
(Orientador)



Pedro Henrique Santin Brancalion - Prof. Dr. ESALQ/USP



Rosilei Aparecida Garcia - Prof. Ph.D. UFRRJ

*A Deus,
A minha esposa Marcelly,
Aos meus pais Paulo, Cleida e Sônia
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pelo dom da vida e por tudo que tem me concedido nessa jornada.

À minha esposa Marcelly por ser tão companheira, me ajudando e estando comigo durante todo o período de realização desta dissertação, sem ela não conseguiria realizar um trabalho deste tamanho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pela oportunidade da realização do mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro concedido através da bolsa de mestrado.

Ao Professor Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho, pelo apoio e orientação desde a graduação, sem esquecer das conversas e viagens muito divertidas.

Ao Professor Dr. Alexandre Miguel do Nascimento, pelas contribuições como co-orientador.

Ao Professor Dr. João Vicente de Figueiredo Latorraca, por permitir a utilização dos equipamentos QTRS-01X Tree-Ring Analyzer (densitometria de raios X) e tomógrafo.

Ao Professor Dr. Marcos Gervásio Pereira, pela realização das análises de solo.

Ao Professor Dr. Marco Antônio Monte, pela ajuda no entendimento de questões relacionadas à silvicultura de florestas nativas.

A toda equipe do Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal (LERF - ESALQ - USP), pelo convite à participação no projeto que serviu como base para essa dissertação. Além de toda assistência dada, financeiramente ou não, proporcionando o estudo na área de Itacemápolis-SP.

A doutoranda Carina Camargo Silva, pelo apoio nas idas ao campo e na disponibilização de dados das espécies, além de dar todo o suporte no intermédio de questões relativas ao projeto.

Aos colegas de laboratório e de campo, Carlos Eduardo Silveira da Silva (Cadu) e Carolina Nogueira Xavier, pelo apoio durante as fases da dissertação.

Ao amigo Ananias, por ceder a sua casa nas viagens à campo.

Ao técnico Tiago Bandeira do Laboratório de Anatomia e Dendrocronologia da madeira, pelo auxílio no campo em vários testes, principalmente na retirada de amostras com a sonda de Pressler.

Ao marceneiro Dinaldo, do Laboratório de Processamento da Madeira, pela ajuda de diversas formas, além de seu fiel café.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, José (Zé), Camila, Raquel, Renata, Rafael, Marcelo (Coxinha), Júlio e Flávio, pelas conversas, sugestões e momentos de descontração.

Aos demais Professores e funcionários do Instituto de Florestas, que contribuíram de forma direta ou indireta para a conclusão dessa dissertação.

À todos, minha eterna gratidão.

RESUMO

SANTOS, Pablo Vieira dos. **Utilização de métodos não destrutivos na avaliação da qualidade da madeira de *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze proveniente de plantios de restauração florestal.** 2016. 32 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

A restauração florestal é um importante mecanismo, no qual se consegue recuperar ambientes antropizados. Neste contexto, o uso de espécies nativas visando a produção madeireira tem se tornado uma alternativa bastante positiva na viabilização econômica desta atividade, de modo que, conhecer informações a respeito de espécies nativas com potencial na produção de madeira de alta qualidade, utilizadas na restauração florestal, é uma tarefa de grande importância. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade da madeira de *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze proveniente de plantios de restauração florestal, através de métodos não destrutivos. Foram selecionados 20 indivíduos no campo por meio de uma avaliação silvicultural e em seguida determinou-se as características dendrométricas (diâmetro à altura do peito (DAP), altura total, volume da árvore em pé e a espessura da casca). Quatro diferentes métodos não destrutivos de avaliação da qualidade da madeira foram utilizados, sendo eles a extensometria, resistografia, tomografia de impulso e densitometria de raios X (retirando-se amostras do lenho por meio da sonda de Pressler), todos os ensaios tiveram como referência a altura do DAP (1,30m a partir da base da árvore). A deformação residual longitudinal (DRL) média da madeira foi de 0,054 mm, valor este inferior ao encontrado na literatura para muitas espécies, como para o gênero *Eucalyptus*. As amplitudes geradas pelo resistógrafo permitiram estimar os valores de densidade básica da madeira de *Cariniana legalis*, apresentando uma correlação positiva e significativa ($r = 0,68$) ao nível de 1% de significância. A densidade aparente média, obtida por meio da densitometria de raios X, foi de $0,528 \text{ g/cm}^3$. De maneira geral os indivíduos de *Cariniana legalis* se mostraram homogêneos, apresentando boa sanidade do lenho (sem ocos internos ou podridões) e densidade moderadamente densa, sendo de fácil trabalhabilidade e indicada para a indústria moveleira.

Palavras-chave: ensaios não destrutivos; resistografia; deformação residual longitudinal; densitometria de raios x; tomografia de impulso.

ABSTRACT

SANTOS, Pablo Vieira dos. **Use of non-destructive methods to evaluate the quality of the wood *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze from forest restoration plantings.** 2016. 32 p. Dissertation (Master in forest and Environmental Sciences). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

Forest restoration is an important mechanism which can recover anthropized environments. In this context, the use of native species in order to wood production has become a very positive alternative in the economic viability of this activity, so that, know information about native species with potential for production of high quality wood, used in forest restoration, is an important task. Concerning this, the objective of this study was to evaluate the quality of the wood *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze from forest restoration plantings, through non-destructive methods. Were selected 20 individuals in the field through a silvicultural assessment and then were determined dendrometric characteristics: diameter at breast height (DBH), total height, tree standing volume and bark thickness. Four different non-destructive methods of assessing wood quality based on the DBH (1.30 m from the base of the tree): extensometry, resistograph, impulse tomograph and x-ray densitometry (pulling out wood samples by Pressler probe). The longitudinal residual strain (LRS) average of wood was 0.054 mm, a value lower than that found in the literature for many species, as for the *Eucalyptus* genus. The amplitudes generated by resistograph allowed the estimation the basic density values of wood *Cariniana legalis*, presenting a positive and significant correlation ($r = 0.68$) at 1% significance level. The average apparent density average, obtained by X-ray densitometry, was 0.528 g / cm³. In general, *Cariniana legalis* trees were homogeneous, with good sanity wood (without internal rot or hollow) and moderately dense density being easy workability and suitable for the furniture industry.

Key words: non-destructive testing; resistograph; longitudinal residual strain (lrs); x-ray densitometry; impulse tomography.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ilustração dos locais de ocorrência natural da espécie <i>Cariniana legalis</i> no Brasil. (Fonte: CARVALHO, 2005).	3
Figura 2. Aspecto da árvore (A) e da madeira (B) de <i>Cariniana legalis</i>	4
Figura 3. Imagem da tomografia de impulso mostrando diferentes porções de qualidade da madeira, como uma parte biodegradada central (Fonte: RINNTECH, 2005).	7
Figura 4. Localização do reservatório municipal de Iracemápolis, SP. (Fonte: Contribuidores do © OpenStreetMap).....	8
Figura 5. Reservatório de Iracemápolis antes da restauração florestal (1984) e 14 anos depois (2002) (Fonte: BRANCALION et al. 2014).	9
Figura 6. Distribuição dos indivíduos de <i>Cariniana legalis</i> georreferenciados no entorno do reservatório municipal de Iracemápolis - SP (Fonte: Google Earth).	10
Figura 7. Extensômetro instalado em um dos indivíduos de <i>Cariniana legalis</i>	11
Figura 8. A: Abertura de painel para fixação do extensômetro. B: Fixação do extensômetro. C: Perfuração do tronco com arco de pua para liberação das tensões.	12
Figura 9. Medição da resistência da madeira a penetração broca utilizando o resistógrafo. ..	12
Figura 10. A: Sensores fixados no tronco de uma árvore de <i>Cariniana legalis</i> . B: Imagem gerada por meio da tomografia de impulso.....	13
Figura 11. Extração das amostras do lenho utilizando-se a Sonda de Pressler.	14
Figura 12. Amostra do lenho com 2 mm de espessura.	14
Figura 13. A: Equipamento QTRS-01X Tree-Ring Analyzer utilizado na densitometria de raios X. B: Software QMS para obtenção dos perfis radiais de densidade.	15
Figura 14. Interação dos valores de densidade básica e amplitude, obtidos ao nível do DAP.	18
Figura 15. Perfis diametrais da amplitude (%), com características homogêneas.	20
Figura 16. Perfis diametrais da amplitude (%), com características heterogêneas.	21
Figura 17. Imagens tomográficas das seções transversais do lenho dos indivíduos 1-10 de <i>Cariniana legalis</i>	22
Figura 18. Imagens tomográficas das seções transversais do lenho dos indivíduos 11-20 de <i>Cariniana legalis</i>	23
Figura 19. Perfis radiais da densidade aparente (casca-medula) de três indivíduos de <i>Cariniana legalis</i>	25
Figura 20. Detalhamento da variação densitométrica entre lenho inicial e lenho tardio.	26
Figura 21. Correlação entre a densidade aparente média e o DAP dos indivíduos de <i>Cariniana legalis</i>	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características dendrométricas dos indivíduos de <i>Cariniana legalis</i> com base nos anos estudados.....	16
Tabela 2. Valores médios gerais encontradas para <i>Cariniana legalis</i> nas avaliações realizadas.	16
Tabela 3. Matriz de correlação de Pearson entre a deformação residual longitudinal (DRL), densidade básica (DB), espessura de casca (EC), diâmetro a altura do peito (DAP), altura total (H) e volume da árvore em pé (VOL).....	17
Tabela 4. Valores médios de amplitude, densidade básica real e densidade básica estimada pela equação.....	19

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 Restauração Florestal Visando a Produção Madeireira	2
2.2 <i>Cariniana legalis</i> (Mart.) Kuntze (Jequitibá - Rosa).....	3
2.3 Qualidade da Madeira	4
2.4 Métodos Não Destrutivos de Avaliação da Qualidade da Madeira	5
2.4.1 Resistógrafo	6
2.4.2 Extensometria	6
2.4.3 Tomografia de impulso	6
2.5.4 Densidade aparente do lenho por meio da densitometria de raios X.....	7
3 MATERIAL E MÉTODOS	8
3.1 Caracterização e Histórico da Área de Estudo.....	8
3.2 Amostragem.....	9
3.3 Determinação das Variáveis Dendrométricas	10
3.4 Avaliação da Qualidade da Madeira por Meio de Métodos Não Destrutivos	11
3.4.1 Determinação da deformação residual longitudinal (DRL).....	11
3.4.2 Estimativa da densidade por meio do resistógrafo	12
3.4.3 Verificação da qualidade da madeira por meio de tomografia de impulso.....	13
3.4.4 Avaliação da densidade aparente através de densitometria de raios X.....	14
3.4.5 Determinação da densidade básica da madeira.....	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
4.1 Caracterização Dendrométrica dos Indivíduos	15
4.2 Avaliações Não Destrutivas da Madeira de <i>Cariniana legalis</i>	16
4.2.1 Correlações entre a DRL, densidade básica e as características de crescimento....	17
4.2.2 Resistografia	18
4.2.2.1 Estimativa da densidade básica média por meio da resistografia.....	18
4.2.2.2 Avaliação do perfil diametral de amplitude (resistógrafo)	20
4.2.3 Análise tomográfica.....	21
4.2.4 Análise da densitometria de raios X	24
5. CONCLUSÕES.....	26
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

1. INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta uma enorme diversidade de espécies nativas, em seus aproximados 456 milhões de hectares de florestas naturais (SFB, 2013), as quais apresentam grande vantagem por serem naturalmente adaptadas as regiões onde ocorrem, além de serem muito importantes para o equilíbrio ambiental, pois existe complexas relações dos demais seres vivos com essas árvores. No entanto, muitas dessas florestas nativas foram e são fortemente antropizadas, nesse sentido a restauração florestal tem sido umas das principais ferramentas para se unir conservação e recuperação da biodiversidade com o setor econômico florestal no Brasil.

Nos últimos anos, tem se constatado um aumento no consumo e na valorização de espécies nativas com potencial madeireiro, ocasionando uma crescente demanda no mercado (FAO, 2012). No entanto, existem poucas informações a respeito dessas espécies, no que concerne a atingir maior produtividade e qualidade da madeira.

Dentro da lista de espécie promissoras para plantações comerciais madeireiras, a *Cariniana legalis*, conhecida como jequitibá-rosa, apresenta madeira de alto valor econômico e um bom desempenho silvicultural, podendo ser inserida em plantações mistas ou puras (REMADE, 2007).

Ao se tratar de espécies nativas visando o uso comercial, é essencial que se conheça a qualidade da madeira dos indivíduos ali presentes, para isso, existem diversos métodos de avaliação, dentre eles, um tem chamado atenção por gerar resultados mais rápidos e, principalmente, por não causar a morte do indivíduo, sendo chamado de métodos não destrutivos de avaliação da qualidade da madeira.

Esses métodos podem ser, invasivos, caracterizado pela extração e posterior análise de amostras do lenho do tronco das árvores, sendo um deles a densitometria de raios x, que constrói, com precisão e detalhe, o perfil radial da densidade aparente do lenho, delimitando os lenhos inicial e tardio dos anéis de crescimento anuais. Já os métodos não invasivos, ocorrem quando a análise da qualidade do lenho é realizada diretamente no tronco das árvores, como exemplos podemos citar a tomografia de impulso e a resistografia, que permitem a reconstrução das seções transversais do tronco, e a extensometria, que permite a determinação das tensões de crescimento (TOMAZELLO FILHO et al. 2008; CASTRO, 2011; OLIVEIRA, 2011).

Os métodos não destrutivos permitem avaliar diversas características da madeira, sendo as principais: densidade, presença de tensões de crescimento e, principalmente, o estado fitossanitário da árvore. Podem ser aplicadas como ferramenta para o manejo florestal sustentado (efeito de desbaste, desrama, espaçamento, etc.), na seleção de árvores nos programas de melhoramento florestal, na tecnologia e usos da madeira, entre outros.

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo geral avaliar a qualidade da madeira de *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze proveniente de plantios de restauração florestal, através de métodos não destrutivos.

Foram ainda considerados os seguintes objetivos específicos:

- (i) Determinar as deformações residuais longitudinais (DRL) para cada árvore de *Cariniana legalis*;
- (ii) Avaliar a existência de correlações entre a DRL e as outras características analisadas (densidade básica, espessura de casca, diâmetro a altura do peito, altura total, volume da árvore em pé e fator de estabilidade);
- (iii) Determinar a densidade básica da madeira de *Cariniana legalis*;
- (iv) Caracterizar o perfil diametral gerada por meio da resistografia;
- (v) Estimar a densidade básica média por meio das amplitudes geradas pelo resistógrafo;

- (vi) Caracterizar o lenho de *Cariniana legalis* por meio da aplicação do tomógrafo de impulso;
- (vii) Avaliar o potencial da tomografia de impulso em pré-estabelecer parâmetros de qualidade;
- (viii) Caracterizar o lenho e determinar a densidade aparente à 15% de umidade de equilíbrio por meio da aplicação da densitometria de raios X.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Restauração Florestal Visando a Produção Madeireira

A palavra e a atividade “restauração” estão relacionadas à restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original (REIS & KAGEYAMA, 2003).

Na prática, restauração significa recuperar condições de sustentabilidade do ambiente, sem ter como objetivo principal a similaridade ao ecossistema que existiu no passado. Abrange como foco principal para o ambiente, a autossustentabilidade a longo prazo, podendo chegar à restauração da estrutura e função, que havia se perdido com o processo degradatório. Assim, naturalmente ocorrerão os processos naturais e a sucessão secundária neste ambiente, aumentando sua complexidade estrutural e funcional com o passar do tempo (ENGEL & PARROTA, 2003).

No Brasil a restauração florestal tem se expandido de forma rápida em função de dois fatores, sendo a regularização ambiental das atividades produtivas e a mitigação de impactos ambientais diversos. Esse fato tem sido acompanhado de uma constante revisão dos métodos de restauração utilizados, que evoluíram de reflorestamentos compostos predominantemente por espécies arbóreas exóticas a plantios com alta diversidade de espécies exclusivamente nativas regionais, incluindo também outras formas de catalisar o potencial de autorecuperação da área a ser restaurada (RODRIGUES et al. 2009).

A restauração florestal pode ser implantada em extensas áreas de pastos de baixa produtividade, visto que essa é a principal utilização da terra em muitos países em desenvolvimento, proporcionando assim, com essa exploração excessiva, condições economicamente favoráveis para a produção de madeira de espécies nativas em reflorestamentos voltados para a restauração, pois além de oferecer segurança econômica, catalisa os processos sucessionais no sítio em processo de restauração (RODRIGUES et al. 2009; BRANCALION et al. 2012).

Sabe-se que plantações florestais mistas para a produção de madeira são um dos poucos meios pelos quais grandes áreas abertas ou paisagens degradadas podem ser reflorestadas em grandes extensões, o que proporciona um elevado potencial de incremento da biodiversidade local e regional, além da função socioeconômica para a floresta, reduzindo a pressão sobre as florestas nativas (BRIENZA JÚNIOR et al. 2008; CHAZDON, 2008).

Avaliar quais das espécies tipicamente exploradas em florestas nativas apresentam maior potencial para a produção em plantios de restauração é primordial. Isso porque, em condições de plantios, o comportamento silvicultural e ecológico das mesmas pode diferenciar-se dos padrões conhecidos para florestas naturais, principalmente pelo fato dessas espécies ainda não terem sofrido nenhum processo de domesticação, o que fortalece ainda mais a importância do estabelecimento de plantios heterogêneos, já que o aumento da diversidade de espécies reduz os riscos causados pelo ataque de pragas, conciliando os interesses econômicos e ecológicos aos esforços de restauração (RODRIGUES et al. 2009; BRANCALION et al. 2012; citado por SILVA, 2013).

Os conhecimentos a respeito da produção de madeira tropical em plantios mistos ainda são muito limitados, o que leva muitos proprietários rurais à pensarem que plantações florestais de espécie nativas sejam uma atividade de risco. Por este fato que a primeira informação básica necessária para convencer um produtor rural a plantar espécies madeireiras nativas em modelos de restauração, ao invés de plantios puros de espécies exóticas, é a capacidade de crescimento dessas espécies, os ciclos de corte esperados e o volume de madeira que pode ser obtido a partir desses ciclos de exploração. A ausência da disponibilidade dessas informações acaba por incentivar o maior interesse desses produtores pelas plantações de espécies exóticas, devido à maior disponibilidade de conhecimento sobre as espécies (PIOTTO et al. 2003; PLATH et al. 2011).

Sendo assim, tornam-se cada vez mais necessários estudos voltados a geração de informações sobre espécies nativas com potencial madeireiro, de tal forma que se possa convencer os produtores que o uso de nativas é interessante tanto para estes quanto para o ambiente.

2.2 *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze (Jequitibá - Rosa)

A *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze, muito conhecida como jequitibá-rosa, é uma espécie nativa do Brasil típica da Floresta Atlântica, na formação Baixo Montana e na Submontana, e da Floresta Semidecidual, ocorrendo em baixadas e encostas úmidas com baixa densidade populacional. Possui tolerância moderada à luz direta durante os primeiros anos e seu crescimento varia de moderado a rápido (PEIXOTO et al., 1995; LORENZI, 2008).

A ocorrência se dá nos estados da Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Bahia, Espírito Santo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, São Paulo e Mato Grosso do Sul, tanto na floresta pluvial atlântica como na latifoliada semidecídua da bacia do Paraná (CARVALHO, 2005; LORENZI, 2008) (Figura 1).



Figura 1. Ilustração dos locais de ocorrência natural da espécie *Cariniana legalis* no Brasil. (Fonte: CARVALHO, 2005).

A árvore de *Cariniana legalis* é considerada uma das maiores e mais longevas dos biomas tropicais da América Latina, podendo ultrapassar 500 anos de idade. Seu tronco é reto e cilíndrico e na idade adulta pode atingir de 7 a 60 m de altura e 15 a 400 cm de diâmetro a altura do peito à 1,30 m do solo (DAP), constituído de aproximadamente 76% de lenho e 24% de casca (MORI & PRANCE, 1983; PEIXOTO et al. 1995; CARVALHO, 2003) (Figura 2A).

De modo geral a madeira apresenta alburno com coloração bege-claro, pouco diferenciado do cerne, que geralmente tem sua coloração róseo-acastanhado ou bege-rosado, ou ainda bege-rosado-escuro, eventualmente com sombras pardacentas. Superfície irregularmente lustrosa e ligeiramente áspera ao tato; textura média e uniforme; grã direita; cheiro e gosto imperceptíveis (Figura 2B). Apresenta massa específica aparente a 15% de umidade de cerca de 0,530 g/cm³, sendo considerada uma madeira moderadamente densa (MAINIERI & CHIMELO, 1989).

A madeira é utilizada em painéis compensados, laminas faqueadas, laminados, móveis e armação, acabamentos internos, carpintaria, marcenaria, obras de interior, construção civil, esquadrias, forros, fósforos, artigos escolares, caixotaria e saltos para sapatos. Além desses usos, esta espécie produz celulose de boa qualidade para a fabricação de papel, com um teor de celulose de 58,7% e teor de lignina de 24,2%. Como aspecto negativo, a madeira apresenta baixa resistência ao ataque de agentes xilófagos (BIELLA, 1978; LORENZI, 2002; CARVALHO, 2003).



Figura 2. Aspecto da árvore (A) e da madeira (B) de *Cariniana legalis*.

(Fonte: (A) www.arvores.brasil.nom.br; (B) www.madeireirasantabarbara.com.br)

2.3 Qualidade da Madeira

Segundo Rozenberg & Cahalan (1997), o termo qualidade da madeira pode ser definido como um conjunto de características inerentes à madeira que a tornam apropriada para uma determinada utilização. Esses atributos dependem das características e propriedades desejadas aos produtos finais e das necessidades e exigências dos consumidores. Dentre os atributos de qualidade, estão as características estruturais e estéticas, assim como as propriedades físicas, mecânicas e químicas, as quais variam entre espécies, entre árvores e até dentro de uma mesma árvore nas direções radial e longitudinal (CHAUHAN et al. 2006).

Pode-se dizer também que a qualidade da madeira é o resultado de uma combinação de

práticas de manejo florestal e características genéticas, físicas, anatômicas e químicas da madeira. Dentre os parâmetros empregados na avaliação da qualidade da madeira, a densidade tem merecida atenção especial, devido à alta relação com importantes características tecnológicas da madeira (PEREIRA, 1982).

A densidade é sem dúvida uma das propriedades mais importantes da madeira, sendo considerada um índice de qualidade utilizado na indicação do seu uso final. Em setores como o siderúrgico, celulose e papel e madeireiro a densidade pode contribuir de forma significativa na promoção de ganhos do processo e na alteração das características dos produtos (SHIMOYAMA, 1990).

Outro parâmetro que está relacionado com a qualidade da madeira é a tensão de crescimento. Presente na maioria das árvores, as tensões de crescimento estão relacionadas com o equilíbrio do tronco, suportando o peso da copa, a ação de fatores como vento e inclinação do terreno. É possível afirmar que as tensões de crescimento são as principais responsáveis pelos baixos rendimentos no processamento da madeira de eucalipto, devido a redução das dimensões das peças. Quando as árvores são derrubadas e suas toras são desdobradas, a tensão de crescimento se manifesta rotineiramente, na prática, como rachaduras de tábuas e empenamentos, o que resulta num produto final de má qualidade e em menor quantidade. Isto resulta num aumento de custos e conseqüente diminuição nos lucros. Essas restrições ao uso desse material são mais proeminentes em florestas jovens do que em adultas, como conseqüência de diversos fatores intrínsecos à madeira (NICHOLSON, 1973; TRUGILHO, 2005).

2.4 Métodos Não Destrutivos de Avaliação da Qualidade da Madeira

Com as inovações tecnológicas, métodos alternativos de avaliação da qualidade da madeira têm sido estudados, sem que se tenha a real necessidade de destruir uma peça ou mesmo derrubar uma árvore. Os ensaios não destrutivos têm tomado espaços significativos nos meios de divulgação científica de maneira que o uso dessas técnicas tem crescido rapidamente. Porém, tais técnicas ainda se encontram em desenvolvimento e, portanto, são encontrados poucos estudos, embora já tenha sido comprovada a eficiência prática e científica dessas metodologias (AMODEI, 2011).

A avaliação não destrutiva é definida como sendo a ciência de identificar as propriedades físicas, químicas e mecânicas de uma peça de determinado material sem, no entanto, alterar suas capacidades de uso final, além de utilizar estas informações para fazer inferências e tomar decisões sobre as aplicações mais adequadas, desempenho e condição do material avaliado, de modo a possibilitar a prevenção e antecipação da qualidade do produto final (ROSS, 1998; ROSS et al., 1999).

Os métodos não destrutivos podem apresentar caráter invasivo, quando ocorre a perfuração do tronco das árvores para a retirada de amostras do lenho para análises ou caráter não invasivo, em que não são retiradas amostras do lenho, e as análises são realizadas através de medições das velocidades de ondas mecânicas, resistência a perfuração da madeira, impacto de ferramentas ou pela fixação de pregos ou grampos no lenho das árvores ou das peças de madeira (CASTRO, 2011).

Segundo Amodei (2011), as vantagens dos métodos não destrutivos em relação aos métodos tradicionais são significativas, destacando-se, rapidez de aplicação e análise, confiabilidade dos valores obtidos, classificação do material favorecendo um melhor aproveitamento da matéria prima (madeira) e reduzindo as perdas, detecção de defeitos e doenças antes do abate do indivíduo, além das vantagens financeiras proporcionadas pelo conjunto de vantagens citadas.

2.4.1 Resistógrafo

O resistógrafo baseia-se no uso de uma broca de 3 mm de diâmetro, feita de aço, que penetra na madeira a uma determinada taxa de velocidade, dependendo da espécie de madeira e do modelo empregado. Ao perfurar a madeira, a broca encontra intensidades diferentes de resistência, influenciada por diversos fatores como a condição estrutural das paredes celulares; as variações entre lenhos inicial e tardio; densidade; dureza e o estado sanitário da espécie analisada. A medição fornecida pelo resistógrafo é denominada amplitude de penetração, expressa em porcentagem, e indica o consumo energético para a broca vencer a resistência à perfuração na madeira em relação a um valor de referência do aparelho. Essa amplitude é bastante utilizada na associação com algumas propriedades da madeira, como a densidade básica. Os resultados gerados pelo aparelho são de alta resolução, pois o mesmo registra amplitudes a cada milímetro (mm) de perfuração que a broca realiza no tronco. (RINN et al. 1996; LIMA et al. 2007; GONÇALVES, 2009).

2.4.2 Extensometria

A extensometria é uma técnica não destrutiva utilizada na determinação das deformações residuais longitudinais (DRL) presentes no lenho, por meio da liberação tensões de crescimento em árvores vivas.

Essa técnica foi desenvolvida pelo Departamento do Centro de Cooperação Internacional em Pesquisas Agronômicas para o Desenvolvimento – CIRAD, pertencente ao “Centre Technique Forestier Tropical” (França) e apresenta como vantagem, a facilidade de uso e a rapidez na coleta de dados, já que a avaliação é feita na árvore em pé. Esse método se baseia na determinação da DRL, mensurada pelo extensômetro (medidor de deformações de crescimento) a uma distância fixa, a qual é diretamente proporcional à tensão de crescimento na direção longitudinal (TRUGILHO et al. 2004).

O extensômetro é constituído por um relógio comparador, que registra em seu mostrador a liberação de tensão, sendo fixado no tronco da árvore por dois pinos distantes entre si 45 mm no sentido longitudinal do tronco na direção da grã. Com o auxílio de um arco de pua (furadeira manual) é realizado um orifício de 20 mm de diâmetro entre os dois pinos, no ponto médio entre eles, onde ocorre então a liberação de tensão que é registrada (GONÇALVES, 2009).

Segundo Trugilho et al. (2004) a utilidade desde método não destrutivo de medição das tensões é refletida tanto na área de ciência e tecnologia da madeira quanto na de melhoramento florestal. Sua importância na área de tecnologia da madeira é caracterizada pelo estudo da distribuição dessas forças ao longo do tronco e suas relações com outras características da madeira. Para o melhoramento florestal esse método possibilita a seleção do material genético com as características desejáveis, tal como a menor propensão de defeitos.

2.4.3 Tomografia de impulso

A tomografia consiste em um ensaio não destrutivo que permite a visualização do interior de um corpo sem a necessidade de danificá-lo de qualquer forma. Diferentes ondas mecânicas e eletromagnéticas podem ser utilizadas para fornecer informações sobre o objeto, como o som, ultrassom, eletricidade, raios γ e raios x, produzindo desta maneira, o gráfico de superfície da seção transversal ou imagem tomográfica. Com relação a madeira, a tomografia tem sido principalmente utilizada na análise da integridade do interior de árvores urbanas (NICOLOTTI et al. 2003; ROLLO, 2009).

A tomografia de impulso baseia-se na cronometragem e no cálculo da velocidade de ondas mecânicas por meio de sensores fixados em troncos ou galhos das árvores. Tais ondas

permitem a reconstrução de seções transversais dos mesmos, por meio das imagens tomográficas (Figura 3), possibilitando a correlação com as propriedades físico-químicas da madeira (densidade, módulo de elasticidade, umidade, etc.) e a determinação da percentagem de cerne/ alburno, madeira de reação, nós, lenho biodegradado, excentricidade da medula, entre outros. (RINNTECH, 2005; PICUS, 2009).

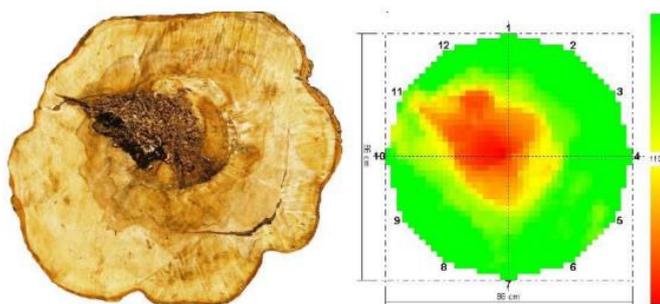


Figura 3. Imagem da tomografia de impulso mostrando diferentes porções de qualidade da madeira, como uma parte biodegradada central (Fonte: RINNTECH, 2005).

Rollo (2009) afirma que a velocidade de propagação das ondas mecânicas é determinada pelas propriedades físico-mecânicas da madeira, principalmente pelo módulo de elasticidade, pela densidade e umidade. A velocidade do impulso pode ser influenciada por alguns fatores, como o estado de sanidade do lenho e a anatomia da madeira. Lenhos saudáveis apresentam maiores valores de velocidade em relação aos lenhos lesionados (fratura, cavidade, podridão, etc.), que apresentam menores velocidades de propagação da onda mecânica. Com relação à anatomia da madeira, deve-se tomar certo cuidado, pois o lenho possui diferentes tipos de madeiras, como a madeira juvenil e adulta, relacionadas aos estágios de sua formação. Por este fato, diferenças particulares entre as espécies precisam ser levadas em consideração nas avaliações dos resultados obtidos pelo tomógrafo de impulso, a fim de evitar conclusões equivocadas (RINNTECH, 2005; PICUS, 2009).

2.5.4 Densidade aparente do lenho por meio da densitometria de raios X

A densitometria de raios X é um método que permite a análise dos anéis de crescimento e os valores de densidade aparente do lenho em intervalos micrométricos (variações intra e inter-anéis de crescimento) em comparação com os métodos gravimétricos. A análise dos parâmetros densitométricos do lenho das árvores pode ser aplicada nos estudos da relação da genética, fertilização, irrigação, desrama, ataque de fungos e insetos, fatores climáticos e do solo, com a estrutura e qualidade da madeira (TOMAZELLO FILHO et al. 2005).

Esse método apresenta como principais vantagens, o registro radiográfico permanente das amostras do lenho e a alta sensibilidade e resolução, aliadas à velocidade de processamento dos dados de densidade e a interpretação através dos perfis radiais de densidade (SILVA & LOUSADA, 2001).

Anteriormente as análises eram realizadas por meio do uso de filmes radiográficos, porém o avanço da tecnologia propiciou, nos últimos anos, a utilização de equipamentos, como o QTRS-01X “Tree Ring Scanner”, que permite a determinação da densidade aparente do lenho e dos anéis de crescimento, através da passagem de feixe colimado de raios X, dispensando o uso de filmes radiográficos. Os equipamentos propiciam a otimização do tempo, o aumento da

velocidade de processamento das análises e da coleta dos dados de densidade aparente com excelente resolução, permitindo arquivar os dados de densidade das amostras do lenho analisadas (CASTRO et al. 2014).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização e Histórico da Área de Estudo

Neste estudo foram avaliadas árvores de *Cariniana legalis* de 27 anos de idade, localizadas em uma área de reflorestamento, mais precisamente dentro de uma área de preservação permanente (APP), em processo de restauração florestal, situada às margens do reservatório municipal de Iracemápolis - SP (Figura 4). A área apresenta solo do tipo latossolo roxo, uma altitude de 605 m, temperatura média anual de 21,5 C°, precipitação média anual de 1061 mm.

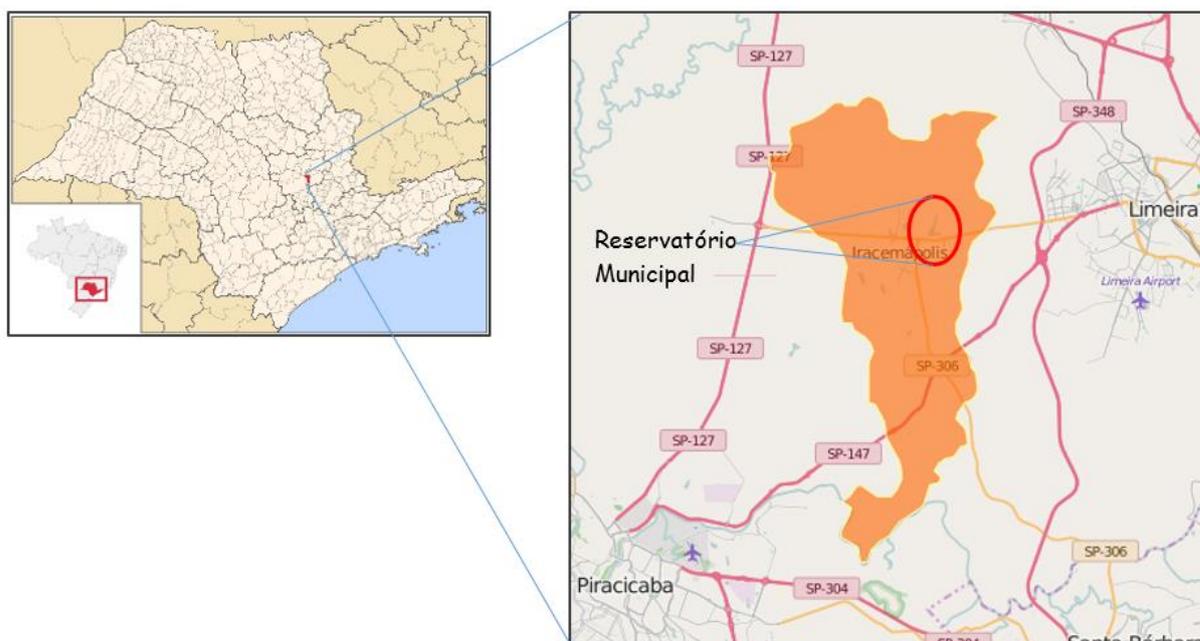


Figura 4. Localização do reservatório municipal de Iracemápolis, SP. (Fonte: Contribuidores do © OpenStreetMap)

No início da década de 1980 a cidade de Iracemápolis, localizada no interior do estado de São Paulo, sofreu com a falta de água para o abastecimento público devido ao assoreamento de seu reservatório, causado pela erosão dos terrenos ao redor, cobertos por plantações de cana-de-açúcar. Este fato fez com que, entre os anos de 1988 e 1990, se realizasse um projeto de restauração florestal com o plantio de vegetação nas áreas de preservação permanente (APP), formando um cinturão de mata em torno do reservatório com objetivo de proteger as margens, o solo e as nascentes ali presentes (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE - GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2002).

A Figura 5 mostra duas fotos aéreas do reservatório de Iracemápolis, a primeira de 1984, antes da implantação da restauração florestal na área, e a segunda em 2002 após, aproximadamente, 14 anos da implantação da mesma.



Figura 5. Reservatório de Iracemápolis antes da restauração florestal (1984) e 14 anos depois (2002) (Fonte: BRANCALION et al. 2014).

De acordo com Brancalion et al. (2014), a restauração florestal realizada no entorno do reservatório de Iracemápolis, trouxe diversos benefícios para a população da cidade. Os principais benefícios indicados pelos moradores locais foram maior quantidade e melhor qualidade da água disponível após a restauração da mata do entorno do reservatório; proporcionar um local de recreação para a população, como pescaria, ciclismo e trilhas; visitas de estudantes no local; proteção da biodiversidade; proteção do solo contra erosão; entre outros.

3.2 Amostragem

Com base no estudo prévio de Silva (2013), realizou-se um levantamento de todos os indivíduos de *Cariniana legalis* presentes no local. De posse dessas informações, efetuou-se uma pré-seleção de 20 indivíduos, por amostragem aleatória, por meio de uma avaliação silvicultural, com base nas seguintes características de crescimento e do fuste:

- Circunferência à altura do peito (CAP) maior que 50 cm, medida a 1,30 m do solo;
- Altura comercial (HC) maior que 7 metros, correspondente à distância do eixo do solo até à primeira limitação do fuste para uso comercial em serraria (bifurcação ou tortuosidade no tronco);
- Fuste único;
- Ausência de doenças ou ataques por pragas (avaliação visual).

Após a seleção e mensuração dos indivíduos de interesse, estes foram identificados e georreferenciados (Figura 6) com o objetivo de facilitar sua identificação no campo.



Figura 6. Distribuição dos indivíduos de *Cariniana legalis* georreferenciados no entorno do reservatório municipal de Iracemápolis - SP (Fonte: Google Earth).

3.3 Determinação das Variáveis Dendrométricas

Foram determinados os valores das variáveis dendrométricas DAP, altura total, espessura da casca e o volume da árvore em pé. Com a finalidade de avaliar o crescimento dos indivíduos, utilizou-se os valores de DAP e altura total dos mesmos indivíduos mensurados por Silva (2013) no ano de 2012.

A mensuração do DAP foi realizada com o auxílio de uma fita métrica, determinando-se o diâmetro com casca das árvores. Foi também feita uma estimativa visual da altura total de cada árvore.

Logo após a tabulação dos dados, os valores da altura total foram corrigidos com base na equação hipsométrica (Equação 1), gerada por meio dos dados de 2012 mensurados por Silva (2013).

$$H = 13,397 + 0,2269 DAP \quad (1)$$

Em que: H = altura total da árvore (m); DAP = diâmetro à altura do peito (cm).

O volume da árvore em pé foi determinado por meio da altura, diâmetro à altura do peito e do fator de forma (Equação 2). Com relação ao valor de fator de forma, utilizou-se 0,60 para os anos de 2012 e 2015. Esse valor foi utilizado com base na observação dos indivíduos no campo e nos trabalhos de Martins (2012) e Souza & Jesus (1991), ao estudarem a espécie *Cariniana legalis*.

$$V = \left(\frac{\pi \times d^2}{4} \right) \times h \times f_{1,3} \quad (2)$$

Em que: V = volume da árvore em pé (m^3); d = diâmetro à altura do peito (m); h = altura total da árvore (m); $f_{1,3}$ = fator de forma.

O incremento periódico anual (IPA) para DAP, altura total e volume foi calculado por meio da diferença entre os valores de 2015 e 2012, dividido pelo número de anos ($n = 3$).

Na determinação da espessura da casca, utilizou-se um formão para a retirada de uma pequena porção da casca, à altura do DAP e, em seguida, utilizando um paquímetro digital, mediu-se a mesma.

3.4 Avaliação da Qualidade da Madeira por Meio de Métodos Não Destrutivos

3.4.1 Determinação da deformação residual longitudinal (DRL)

Para a determinação da deformação residual longitudinal (DRL) e avaliação de tensões de crescimento foi utilizado o equipamento de medição extensômetro (medidor de deformações de crescimento) (Figura 7).

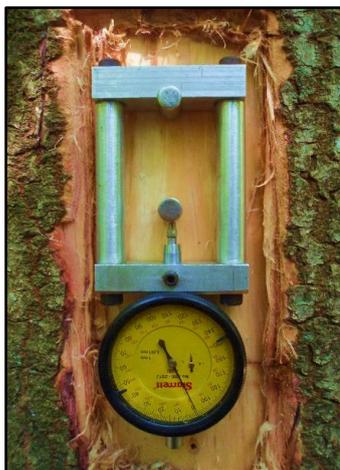


Figura 7. Extensômetro instalado em um dos indivíduos de *Cariniana legalis*.

Em cada árvore primeiramente realizou-se a abertura de um painel, retirando-se a casca, e logo em seguida fixou-se dois pinos metálicos, a uma distância de 45 mm um do outro, na direção longitudinal do tronco acompanhando a grã. Após a fixação dos pinos, efetuou-se uma pequena perfuração por meio de um arco de pua com broca de 20 mm (Figura 8).

A perfuração é realizada entre os pinos, provocando o rompimento dos tecidos do lenho (liberação de tensões) e fazendo com que eles se aproximem, sendo essa deformação mensurada pelo relógio comparador do aparelho. A profundidade da perfuração é feita até a estabilização da leitura no relógio, o que ocorre em torno de 2,5 cm.

As medições foram realizadas nas árvores em pé, na altura do DAP e na direção do norte magnético. Além disso, com o intuito de evitar qualquer interferência dos ventos nas medições, as mesmas foram efetuadas na parte da manhã, quando os ventos eram mais suaves ou

imperceptíveis, pois a incidência deste faz com que o ponteiro do relógio comparador oscile muito, dificultando a leitura.



Figura 8. A: Abertura de painel para fixação do extensômetro. B: Fixação do extensômetro. C: Perfuração do tronco com arco de pua para liberação das tensões.

3.4.2 Estimativa da densidade por meio do resistógrafo

Para a obtenção da densidade da madeira em pé, assim como as regiões mais densas e mais macias, utilizou-se o resistógrafo (RESISTOGRAPH® 4452 - S), um aparelho que permite a medição da resistência da madeira à penetração de uma broca de 3 mm de diâmetro por 500 mm de comprimento, como ilustra a Figura 9.



Figura 9. Medição da resistência da madeira a penetração broca utilizando o resistógrafo.

As medições foram realizadas na altura do DAP e em dois pontos, um na direção Norte-Sul e outro na Leste-Oeste. As perfurações foram realizadas na parte da manhã, quando os ventos eram imperceptíveis ou suaves, evitando-se possíveis efeitos das tensões internas do tronco sobre a broca.

Durante a furação do tronco pelo resistógrafo, simultaneamente, uma impressora acoplada ao aparelho gerava um gráfico do perfil do avanço da furação, registrando os valores

de resistência à penetração da broca. O gráfico e os valores encontrados também eram armazenados pelo software do aparelho.

Após as medições por meio do software DECOM foram analisados os perfis e correlacionada a resistência da broca ou amplitude, expressa em porcentagem, com a densidade da madeira, além da análise da sanidade da árvore.

3.4.3 Verificação da qualidade da madeira por meio de tomografia de impulso

Para a realização do exame de tomografia, foi utilizado um tomógrafo de impulso ARBOTOM® da RINNTECH. O equipamento, por meio de uma fonte de emissão e de recepção de sensores instalados no troco das árvores, determina a velocidade das ondas mecânicas que percorrem o lenho das árvores e são expressos através de uma imagem da seção transversal do tronco com diferentes colorações.

Na avaliação, primeiramente foi determinada a circunferência da árvore na altura do DAP, que foi dividida pelo número de sensores metálicos (n=5). Na sequência, os sensores foram fixados de maneira equidistante ao longo da circunferência do tronco em cada indivíduo a analisado (Figura 10). Em cada sensor, foram produzidas ondas de impacto através de pancadas de martelo, essas ondas mecânicas percorreram o lenho até alcançarem os demais sensores e, assim, geraram os tempos de propagação da onda utilizados no cálculo de sua velocidade.

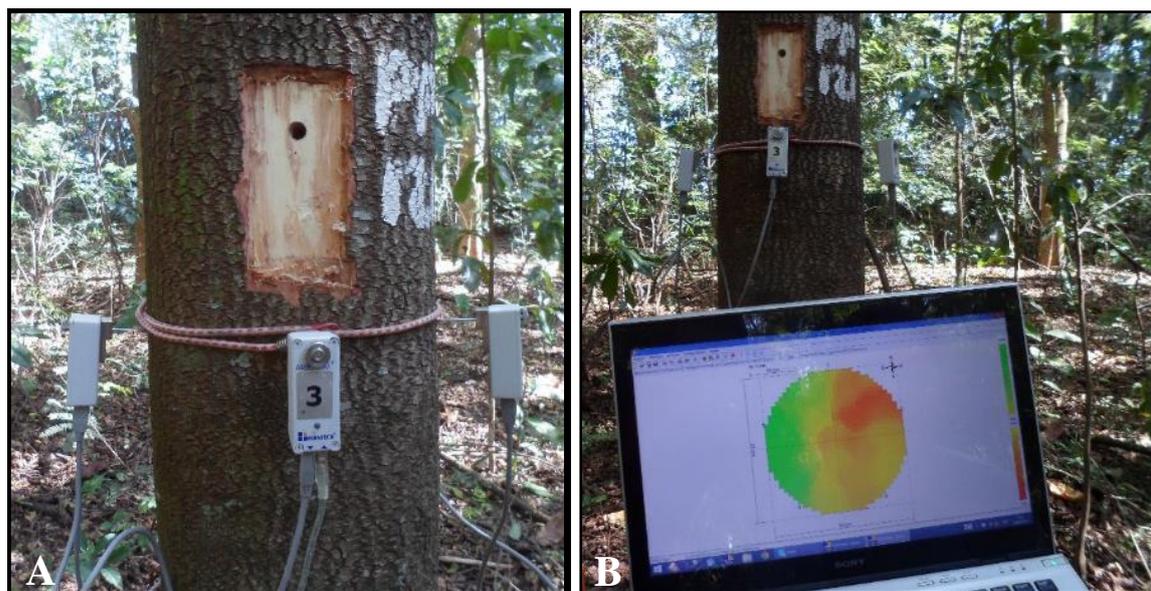


Figura 10. A: Sensores fixados no tronco de uma árvore de *Cariniana legalis*. B: Imagem gerada por meio da tomografia de impulso.

Após as medições, utilizou-se o software ARBOTOM® para o cálculo das velocidades das ondas entre os sensores, gerando um gráfico da velocidade da onda da seção transversal (imagem tomográfica) de cada indivíduo. As variações da coloração nas imagens permitiram a identificação das características distintas da madeira geradas pelas diferentes velocidades de propagação de onda dentro do lenho.

Utilizou-se o modelo de cor “rainbow” para as imagens, pela maior variedade de cores disponíveis no software com resolução de superfície em duas dimensões (comprimento e largura) a cada milímetro. Os tons violeta, vermelho, laranja e amarelo indicam, em escala ascendente, menor velocidade de propagação da onda mecânica; por outro lado, as tonalidades

azul e verde representam maior velocidade de propagação da onda mecânica, indicativo de maiores densidades da madeira.

3.4.4 Avaliação da densidade aparente através de densitometria de raios X

Com um auxílio de uma Sonda de Pressler (trado de incremento) foram extraídas amostras diametrais do lenho em dois pontos (sentidos Norte-Sul e Leste-Oeste) na altura do DAP (Figura 11), compreendendo a mesma faixa selecionada para a realização da resistografia, tomografia e extensômetria.



Figura 11. Extração das amostras do lenho utilizando-se a Sonda de Pressler.

Uma vez obtidas as amostras, as mesmas foram coladas em suporte de madeira e sua seção transversal foi cortada em equipamento de dupla-serra circular paralela, com 2 mm de espessura (Figura 12). As amostras do lenho foram acondicionadas em câmara de climatização sob condições de 70% UR e temperatura de 20°C, durante o período de 24 horas até que atingissem 15% de umidade de equilíbrio.

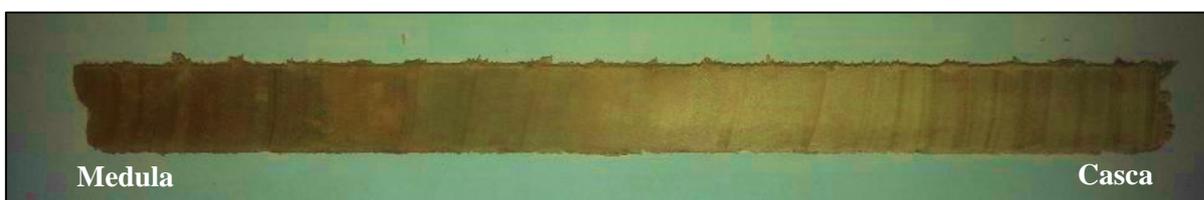


Figura 12. Amostra do lenho com 2 mm de espessura.

O perfil de densidade do lenho foi obtido por meio do equipamento QTRS-01X Tree-Ring Analyzer (Figura 13). As amostras (à 15% de umidade) foram dispostas no suporte metálico e inseridas no compartimento de leitura e analisadas diretamente no sentido radial, através de fonte colimada de feixes de raios X. A leitura da densidade foi feita a cada 0,4 mm

e a obtenção dos perfis radiais de densidade dos lenhos foi possível através da aplicação do software QMS.

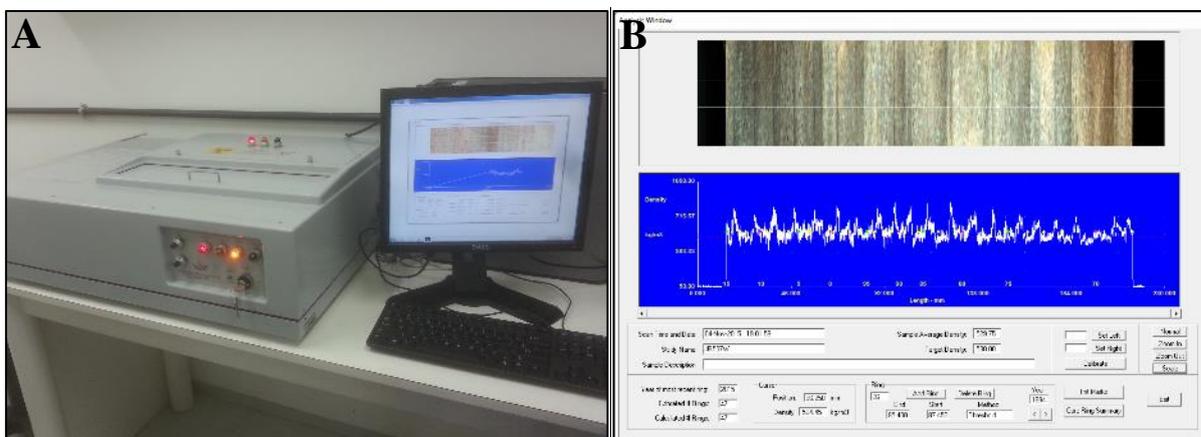


Figura 13. A: Equipamento QTRS-01X Tree-Ring Analyzer utilizado na densitometria de raios X. B: Software QMS para obtenção dos perfis radiais de densidade.

3.4.4 Determinação da densidade básica da madeira

Para a determinação da densidade básica da madeira de *Cariniana legalis* utilizou-se as mesmas amostras da seção transversal usadas na densitometria de raios X, obtidas pela Sonda de Pressler.

As amostras foram imersas em água até que atingissem a saturação completa. Uma vez saturadas, foi calculado o volume de cada amostra com a utilização de um paquímetro digital com precisão de leitura de 0,002 cm. O cálculo do volume baseou-se nas medições das dimensões das amostras: a largura, a espessura e o comprimento.

Após a obtenção do volume saturado, as amostras foram levadas para uma estufa de secagem à uma temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$, até que atingissem o peso constante. Após 48 horas na estufa, quando se obteve a estabilização do peso, determinou-se os pesos secos das amostras com o auxílio de uma balança digital com precisão de 0,001g.

Uma vez obtido os valores de massa seca e volume saturado, determinou-se a densidade básica das amostras, em adequação a norma ABNT NBR 7190:1997.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização Dendrométrica dos Indivíduos

Os valores médios das características dendrométricas diâmetro, altura total e o volume da árvore em pé, bem como seus incrementos periódicos anuais do ano de 2015 em relação ao ano de 2012 mensurado por SILVA (2013), estão apresentados na Tabela 1.

Os resultados apresentados na Tabela 1 mostram um crescimento médio de 14,13%, 4,56% e 36,90% para as características dendrométricas diâmetro (DAP), altura total e volume da árvore em pé, respectivamente, no período de três anos.

Martins (2012) estudando a mesma espécie (*Cariniana legalis*) com 23 anos de idade, encontrou valores de incremento médio anual (IPA) de 0,75 cm/ano e 0,60 m/ano para as

variáveis DAP e altura total, respectivamente, estando próximo aos valores encontrados neste trabalho.

Tabela 1. Características dendrométricas dos indivíduos de *Cariniana legalis* com base nos anos estudados.

Valores médios	Ano		IPA (2012 - 2015)
	2012	2015	
DAP (cm)	28,72 (\pm 22,46)	32,78 (\pm 23,41)	1,35
Altura total (m)	19,92 (\pm 12,88)	20,83 (\pm 8,50)	0,30
Volume (m ³)	0,84 (\pm 52,08)	1,15 (\pm 53,66)	0,10

Em que: Valores entre parênteses significam os coeficientes de variação em porcentagem.

4.2 Avaliações Não Destrutivas da Madeira de *Cariniana legalis*

Os valores médios gerais encontrados para a deformação residual longitudinal (DRL), espessura da casca, amplitude (resistógrafo), densidade básica e densidade aparente (densitometria de raios X) encontram-se apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios gerais encontradas para *Cariniana legalis* nas avaliações realizadas.

Variável	Valor médio geral
Deformação residual longitudinal - DRL (mm)	0,054
Amplitude (%)	16,79
Densidade básica (g/cm ³)	0,474
Densidade aparente - 15% (g/cm ³)	0,528
Espessura da casca (mm)	8,58

Na Tabela 2, observa-se que a DRL média nas árvores vivas, ocasionada pelas tensões de crescimento, foi de 0,054 mm. Este valor médio se assemelha ao encontrado por Gonçalves (2009), 0,056 mm, quando trabalhou com a espécie *Toona ciliata* em diferentes idades. Para o gênero *Eucalyptus* todos os valores de DRL encontrados foram superiores ao de *Cariniana legalis*. Este comportamento é evidenciado por Rodrigues (2007), Trugilho (2005) e Cardoso Junior et al. (2005), que ao estudarem clones de *Eucalyptus* spp, encontraram valores médios de 0,081 mm; 0,090 mm e 0,065 mm, respectivamente.

Diferenças de comportamento das tensões de crescimento entre espécies, entre árvores e até mesmo entre toras de uma mesma árvore são normais. Essas diferenças podem estar associadas a diversos fatores, como genética, condições ambientais, constituição e inclinação do fuste, tipo de grã, presença de madeira de reação, tortuosidade, locais de estudo e idade (VIDAURRE et al. 2015; SCHACHT et al. 1998; CHAFE, 1979).

O baixo valor de DRL encontrado para a espécie estudada indica produção de madeira com menores tensões de crescimento o que, conseqüentemente possibilita a produção de madeiras de melhor qualidade, com menores índices de rachaduras e empenamentos. Essas reduções dos defeitos resultam de maneira significativa na qualidade e no rendimento do produto final, agregando um maior valor da na comercialização da madeira (RODRIGUES, 2007; CRESPO, 2000).

O valor da amplitude média geral, obtida por meio da resistografia, para a espécie estudada foi de 16,79%. O valor encontrado se encontra dentro da faixa de amplitude encontrada por Lima et al. (2007), 12,00 a 33,00%, quando avaliaram sete clones de *Eucalyptus*

aos 16 anos de idade.

Com relação a densidade básica, encontrou-se um valor médio de 0,474 g/cm³. Este valor está em acordo com Lima et al. (2011) que ao estudarem a mesma espécie (*Cariniana legalis*) com 26 anos de idade, encontraram uma densidade básica média de 0,488 g/cm³.

Além da densidade básica, determinou-se também a densidade aparente, por meio da densitometria de raios x da madeira de *Cariniana legalis* à 15% de umidade, no qual o valor encontrado foi de 0,528 g/cm³. Esse resultado se assemelha aos encontrados na literatura para as árvores da espécie, com variação de 0,50-0,65 g/cm³ (MAINIERI & CHIMELO, 1989).

De forma geral não foram encontrados na literatura valores de referência dos parâmetros analisados para outras espécies nativas para que pudessem ser comparados com os resultados encontrados neste estudo.

4.2.1 Correlações entre a DRL, densidade básica e as características de crescimento

Na Tabela 3, são apresentadas as estimativas da correlação de Pearson estabelecidas entre a deformação residual longitudinal (DRL) e outras variáveis do estudo como densidade básica, espessura de casca, diâmetro a altura do peito, altura total, volume da árvore em pé.

Tabela 3. Matriz de correlação de Pearson entre a deformação residual longitudinal (DRL), densidade básica (DB), espessura de casca (EC), diâmetro a altura do peito (DAP), altura total (H) e volume da árvore em pé (VOL).

	DRL (mm)	DB (g/cm ³)	EC (mm)	DAP (cm)	H (m)	VOL (m ³)
DRL (mm)	1	-0,019 ^{NS}	0,214 ^{NS}	0,459*	0,459*	0,528*
DB (g/cm ³)		1	0,498*	0,302 ^{NS}	0,302 ^{NS}	0,277 ^{NS}
EC (mm)			1	0,550*	0,550*	0,482*
DAP (cm)				1	1**	0,976**
H (m)					1	0,976**
VOL (m ³)						1

Em que: * = significativo ao nível de 5%; ** = significativo ao nível de 1%; NS = não significativo.

Observa-se na Tabela 3 que as correlações foram positivas e significativas entre os valores de DRL e as características de crescimento (DAP, H e VOL). Essa tendência também foi encontrada por Beltrame (2010) em um dos clones de *Eucalyptus* spp estudados, quando correlacionou DRL com DAP. Da mesma forma, Trugilho (2005), estudando árvores de *Eucalyptus dunnii* com 8, 15 e 19 anos de idade, encontrou esse mesmo comportamento através de modelos quadráticos de regressão, constatando o aumento da DRL com o aumento do DAP. Muneri et al. (2000), encontraram essa mesma tendência quando correlacionaram DRL com altura ($r = 0,44$) e diâmetro das árvores ($r = 0,51$) de *Eucalyptus cloeziana*.

De modo contrário ao encontrado neste trabalho, Carvalho et al. (2010), obtiveram correlações negativas e significativas da DRL com o DAP e altura ao estudarem árvores de *Eucalyptus urophylla* de 15 anos de idade. Muneri et al. (1999) também encontraram correlação negativa ($r = -0,39$) entre os valores de DRL com o diâmetro em *Eucalyptus cloeziana* com 10 anos de idade. Já Beltrame et al. (2013) e Vidaurre et al. (2015) não obtiveram correlações significativas da DRL com as características de crescimento ao estudarem *Eucalyptus saligna* Smith e *Eucalyptus benthamii*, respectivamente.

Esses fatos mostram o quanto são variadas as interações das DRL com as características de crescimento entre uma espécie e outra, evidenciando a importância de se analisar caso a caso.

Para a variável EC encontrou-se correlação significativa e positiva com as características de crescimento (DAP, H e VOL). Da mesma forma, Beltrame et al. (2013) e Beltrame et al. (2012), estudando indivíduos de *Eucalyptus saligna* Smith e clones de *Eucalyptus* spp, respectivamente, de 9 anos de idade encontraram correlação significativa e positiva entre a variável espessura da casca e as características de crescimento.

Ainda na Tabela 3, podemos ver que a variável DB não apresentou correlação significativa com a DRL, indicando nenhuma influência sobre essa variável. Beltrame et al. (2012) ao estudarem clones de *Eucalyptus* spp de 9 anos de idade, não encontraram correlação significativa entre a DRL e a densidade básica da madeira.

Com isso, deduz-se que as DRLs são mais fortemente correlacionadas com as características de crescimento do que com as propriedades da madeira, que são mais difíceis de serem dimensionadas (LIMA et al. 2004). Entretanto, Muneri et al. (2000) encontraram correlação positiva e significativa da DRL com a densidade do alburno ($r = 0,40$) para *Eucalyptus cloeziana*. Da mesma forma, Lima et al. (2004) obtiveram em seu estudo uma correlação significativa e positiva ($r = 0,534$) entre a DRL e a densidade básica da madeira em híbridos naturais de *Eucalyptus*.

4.2.2 Resistografia

4.2.2.1 Estimativa da densidade básica média por meio da resistografia

Afim de encontrar correlações entre os valores de densidade básica e as amplitudes (resistência percentual da madeira referente a penetração da broca) de cada uma das árvores, realizou-se a correlação de Pearson entre essas variáveis, no qual se obteve uma correlação positiva e significativa ($r = 0,68$) ao nível de 1% de significância. Esse resultado está um pouco abaixo do valor de correlação encontrado por Lima et al. (2007), $r = 0,80$, estudando clones de *Eucalyptus*. Gouvêa et al. (2009) encontraram correlação de $r = 0,59$ entre a densidade básica no DAP e a amplitude em um clone amostrado em quatro locais, sendo menor do que o encontrado nesse estudo.

As interações entre os valores de densidade básica real e amplitude podem ser observadas na Figura 14.

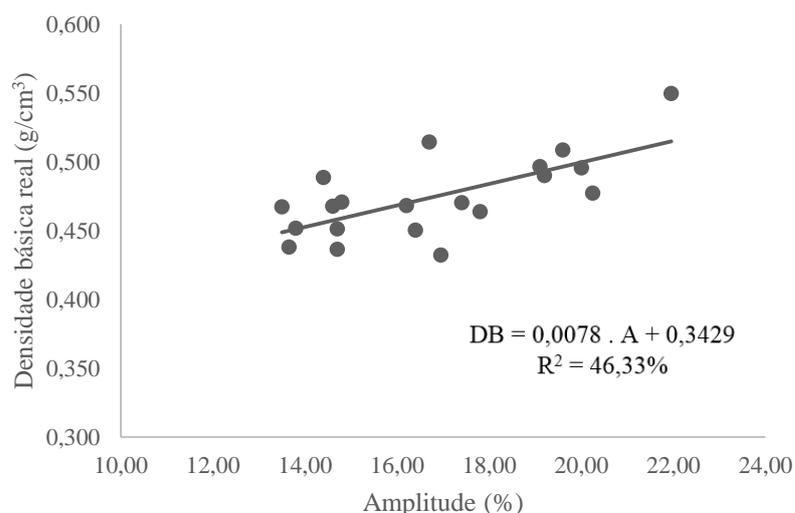


Figura 14. Interação dos valores de densidade básica e amplitude, obtidos ao nível do DAP.

Na Figura acima, observa-se que a regressão linear mostra que 46,33% da variação da densidade básica é explicada pela amplitude, de modo concluir que a densidade básica pode ser

estimada pela amplitude. Já Lima et al. (2007), estudando clones de *Eucalyptus*, encontraram correlação superior, $R^2 = 0,64$, em comparação com este trabalho.

Diferenças encontradas nos valores e nas correlações podem estar associadas a diversos fatores, como espécie, idade, número de indivíduos analisados, entre outros, que podem influenciar no resultado final. Além desses fatores, a orientação da broca do resistógrafo no tronco deve ser verificada com cuidado para que ela atravesse o mais proximamente possível a região da medula, pois sem esse devido cuidado, poderão ser produzidos gráficos que não representem o perfil real da madeira avaliada. Árvores com troncos de seção assimétrica ou com medula excêntrica devido à ocorrência de lenho de tração, a execução dessa tarefa exige mais experiência e atenção (LIMA et al. 2007).

A partir da equação gerada pela regressão linear, estimou-se os valores de densidade básica com base nas amplitudes encontradas pela resistografia. Os valores de amplitude, densidade básica real e densidade básica estimada se encontram na Tabela 4.

Tabela 4. Valores médios de amplitude, densidade básica real e densidade básica estimada pela equação.

Indivíduo	Amplitude (%)	Densidade básica observada (g/cm ³)	Densidade básica estimada (g/cm ³)
1	19,10	0,497	0,492
2	13,65	0,438	0,449
3	19,60	0,508	0,496
4	14,60	0,468	0,457
5	14,40	0,489	0,455
6	21,95	0,550	0,514
7	16,70	0,514	0,473
8	17,80	0,464	0,482
9	14,70	0,451	0,458
10	13,50	0,467	0,448
11	13,80	0,452	0,451
12	16,95	0,432	0,475
13	16,40	0,450	0,471
14	19,20	0,490	0,493
15	20,25	0,477	0,501
16	17,40	0,470	0,479
17	20,00	0,496	0,499
18	14,70	0,436	0,458
19	14,80	0,471	0,458
20	16,20	0,468	0,469
Média	16,79	0,474	0,474
CV (%)	15,14	6,17	4,18

Observa-se que os valores de densidade básica estimadas pela equação se aproximaram muito aos valores de densidade real.

Esses resultados indicam que avaliações, como a densidade básica da madeira, podem ser realizadas por meio de método não destrutivo, como a resistografia, através da utilização das amplitudes geradas pelo resistógrafo. Por essas medidas serem de fácil determinação e relativamente rápidas de serem obtidas, haverá uma economia de tempo nas avaliações da

densidade básica da madeira, possibilitando por exemplo o estudo de grande quantidade de materiais genéticos no campo, auxiliando em seleções de melhoramento para determinadas características desejadas (RODRIGUES, 2007).

4.2.2.2 Avaliação do perfil diametral de amplitude (resistógrafo)

Por meio das análises dos gráficos gerados pelo resistógrafo, notou-se uma certa tendência de aumento da amplitude à medida que a broca era introduzida no lenho das árvores da espécie estudada. Essa tendência foi observada também por outros autores como, Lima et al. (2007) ao estudarem seis clones de *Eucalyptus* spp. de 16 anos e Gantz (2002) ao perfurar caules de *Eucalyptus globulus* e de *E. urophylla*, utilizando o Resistograph RESI(R) B400 Pro.

Analisando os diferentes gráficos referentes a cada um dos indivíduos perfurados pelo resistógrafo, foi possível identificar certa similaridade entre alguns perfis de amplitude, sendo alguns perfis mais homogêneos e outros heterogêneos. As Figuras 15 e 16 mostram exemplos representativos dessas tendências entre os indivíduos. As setas indicam a possível posição da medula (considerando medulas excêntricas).

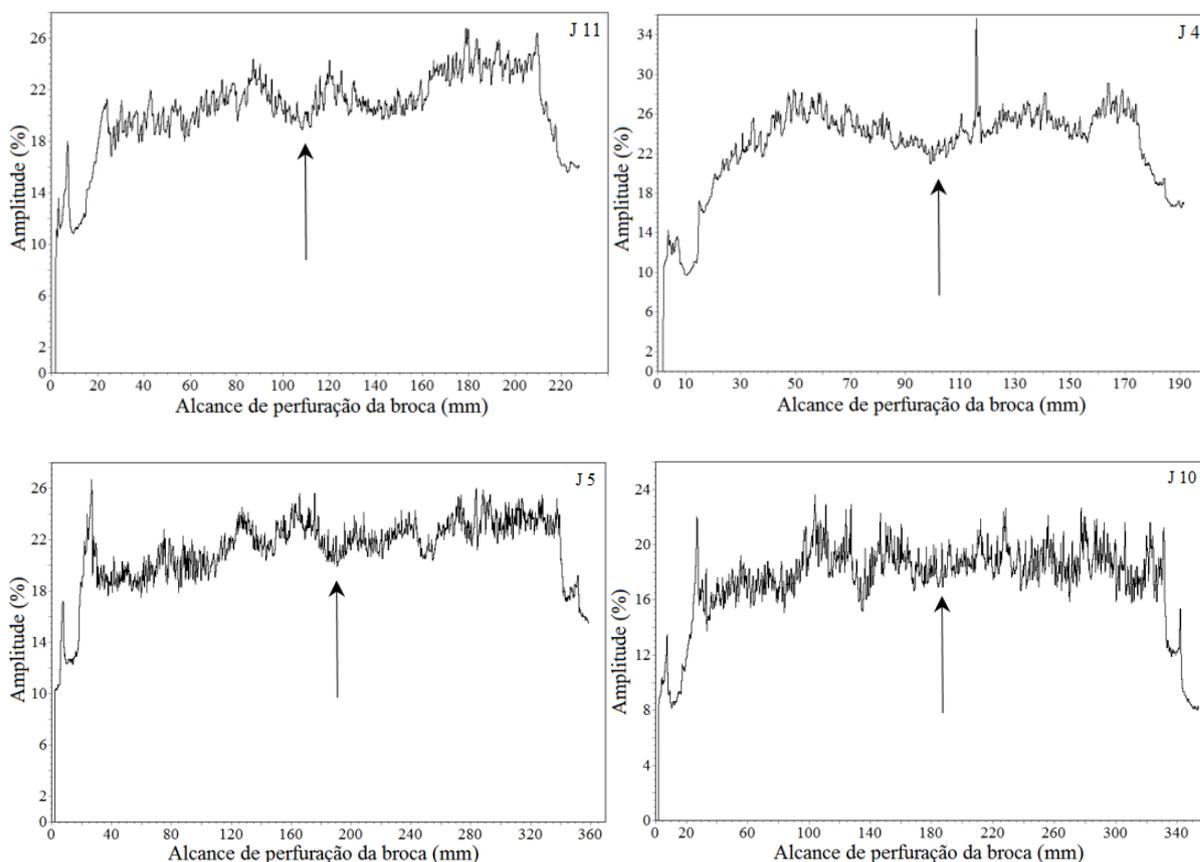


Figura 15. Perfis diametrais da amplitude (%), com características homogêneas.

Na observação dos gráficos, percebe-se uma tendência geral parecida para todos os indivíduos analisados até as proximidades da possível região da medula. Porém após esse ponto é possível identificar homogeneidade entre alguns perfis (Figura 15) e heterogeneidade em outros (Figura 16). Considerando que todos os indivíduos foram plantados num mesmo sítio, é possível supor que indivíduos com perfis mais homogêneos apresentam maior estabilidade ambiental (LIMA et al. 2007).

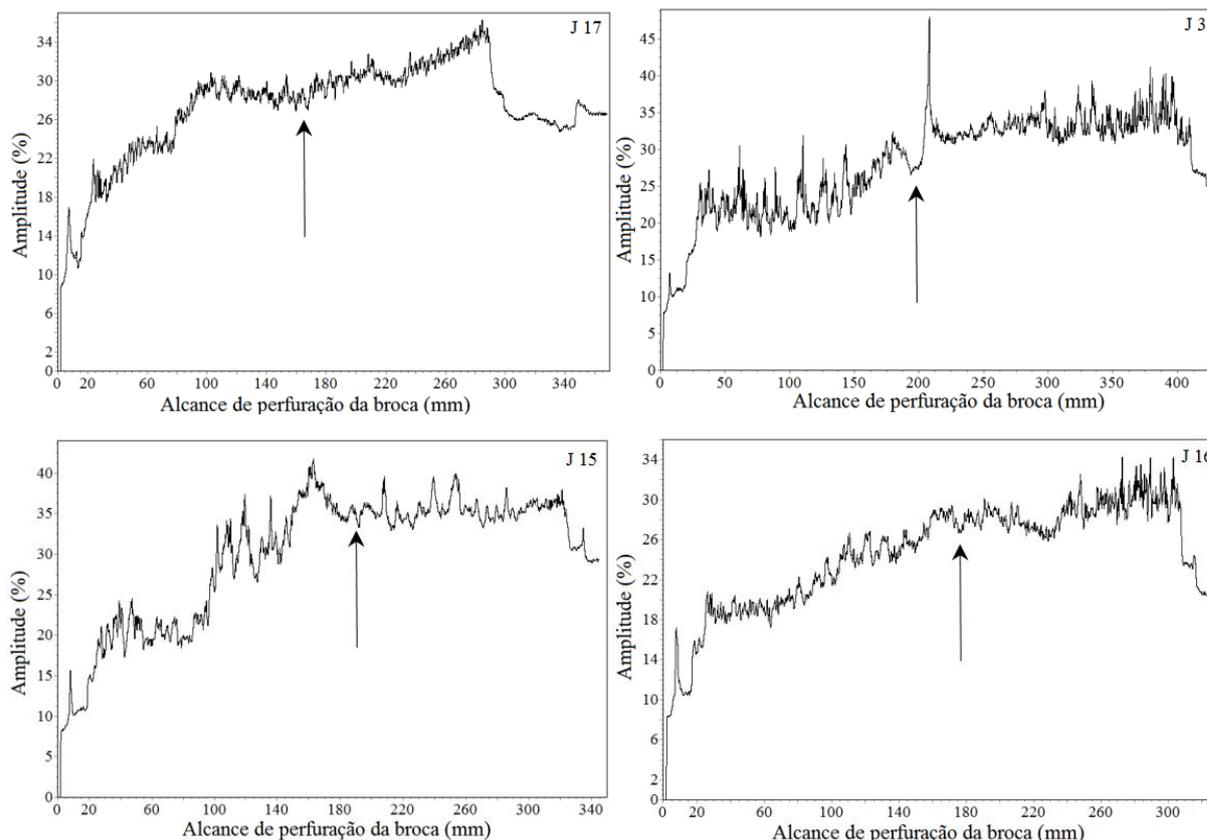


Figura 16. Perfis diametrais da amplitude (%), com características heterogêneas.

A partir da medula, a heterogeneidade dos perfis encontrados em alguns indivíduos pode ter sido causada pela assimetria do tronco, dificultando o acerto da possível região da medula na linha do diâmetro, pela presença de defeitos internos da madeira no local da penetração do resistógrafo ou até mesmo de tensões internas de crescimento.

Observa-se também nesses perfis heterogêneos a tendência crescente das amplitudes após a possível região da medula. Esse fato pode ter ocorrido devido ao aumento gradativo do atrito da haste da broca com o lenho, o que demandaria maior esforço do aparelho. Esse atrito tende a ser aumentado pela serragem produzida pela própria perfuração. Adiciona-se a esse fator, o efeito que a umidade da madeira exerce na resistência à perfuração (LIMA et al. 2007).

4.2.3 Análise tomográfica

O uso do tomógrafo de impulso, por meio da geração de imagens tomográficas, permitiu a reconstrução de toda a seção transversal do lenho na região na altura do DAP. Diferenças de tonalidades nas imagens possibilitaram uma análise imediata do lenho. As imagens tomográficas da seção transversal do lenho do tronco das 20 árvores de *Cariniana legalis* são apresentadas nas Figuras 17 e 18.

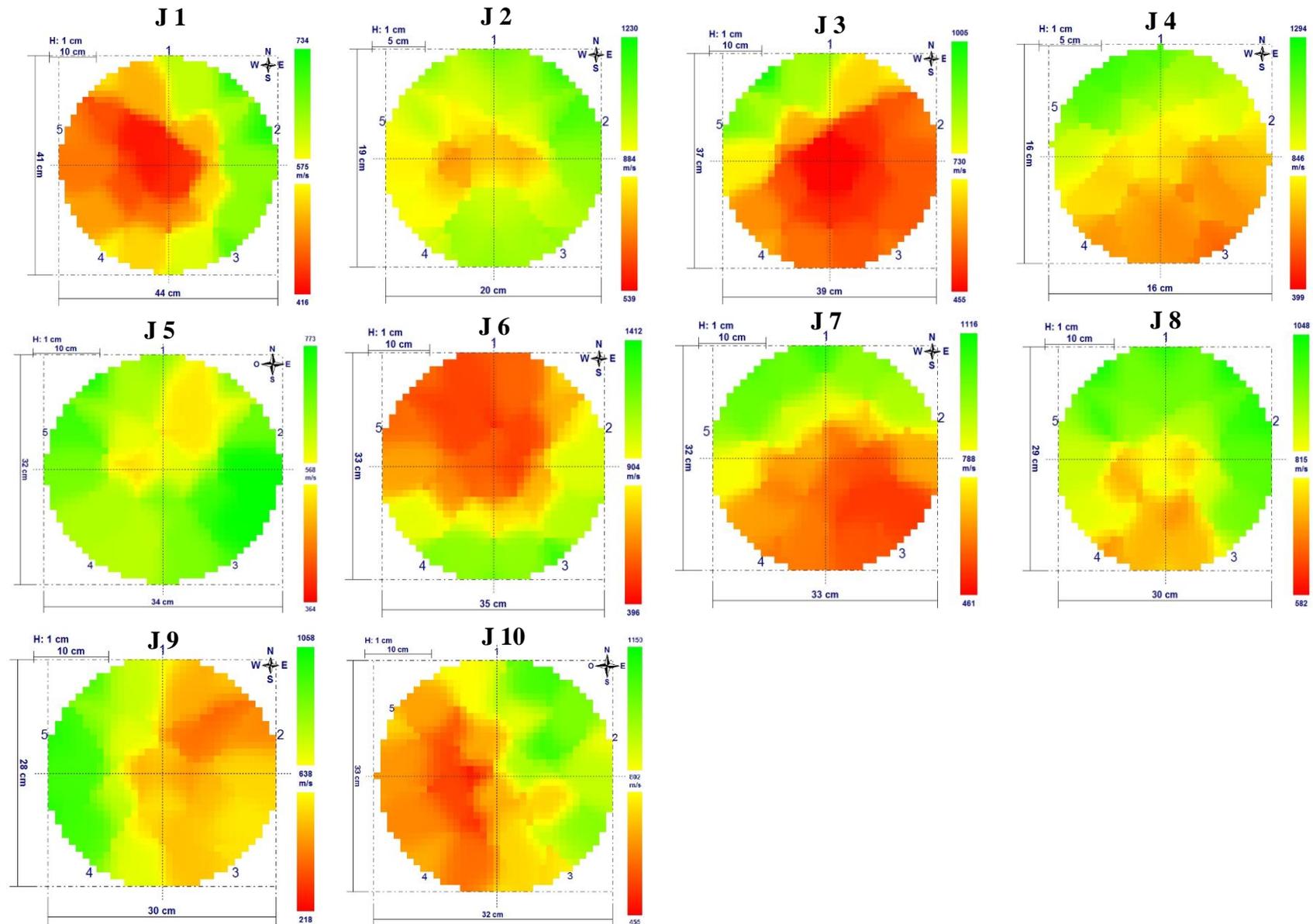


Figura 17. Imagens tomográficas das seções transversais do lenho dos indivíduos 1-10 de *Cariniana legalis*.

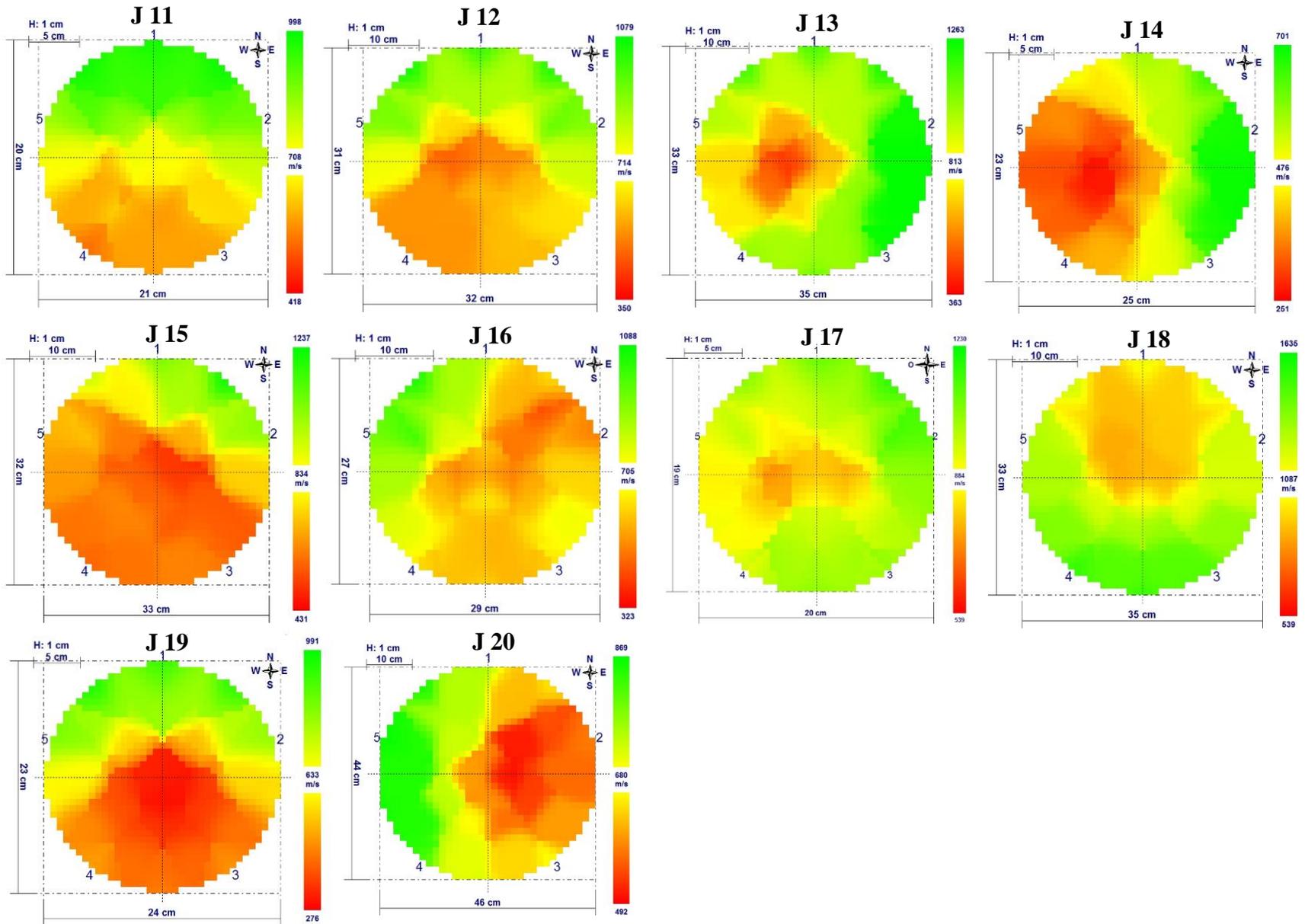


Figura 18. Imagens tomográficas das seções transversais do lenho dos indivíduos 11-20 de *Cariniana legalis*.

As imagens tomográficas da seção transversal do lenho foram caracterizadas, de modo geral, pelas colorações esverdeadas (região externa) e avermelhada (região interna), indicativas de maiores e menores velocidades das ondas mecânicas, respectivamente.

Analisando as imagens tomográficas, nota-se uma variação da coloração nas análises dos lenhos dos indivíduos estudados. No entanto, na maioria das imagens, é possível notar uma tendência do aumento das velocidades de onda das regiões mais próximas do centro para a casca.

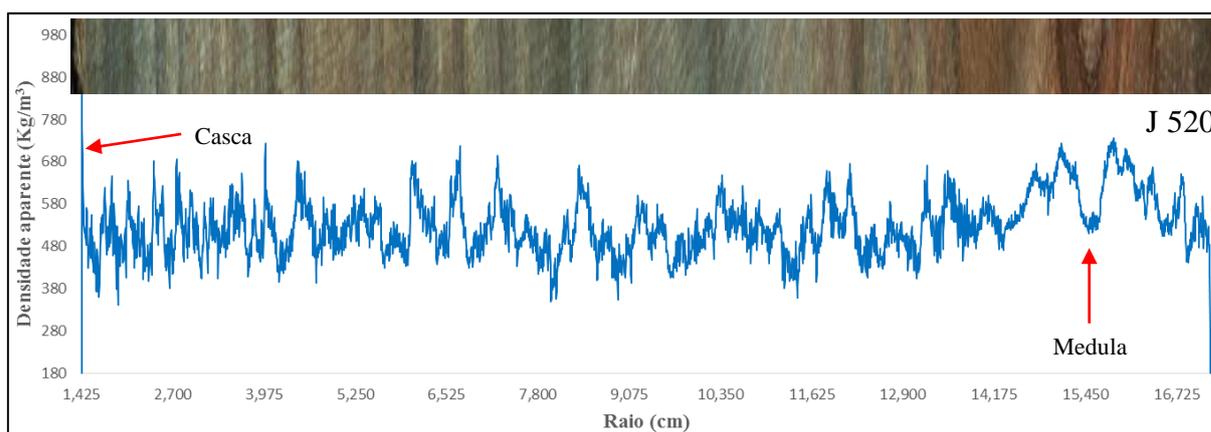
Esse fato possivelmente ocorreu devido a essas regiões centrais serem próximas à medula, com a presença de lenho juvenil, caracterizado por apresentar propriedades físico-mecânicas diferenciadas, como baixa densidade e conseqüentemente baixa velocidade de propagação de ondas mecânicas (AMODEI, 2011).

De modo geral, observa-se que para a maioria dos indivíduos, as imagens mostraram o bom estado de sanidade do lenho, não demonstrando evidências de lesões causadas por agentes xilófagos ou por outro fator. Contudo, em algumas árvores, verificou-se que as imagens não corresponderam a expectativa da análise visual do indivíduo.

As variações encontradas nas análises das imagens tomográficas podem ser atribuídas às diferenças anatômicas e físicas encontradas entre as árvores ou até mesmo dentro da mesma árvore. Além disso, a utilização de somente cinco sensores pode ter influenciado nos resultados de velocidade de onda, uma vez que o recomendado é a utilização de um número maior de sensores. Da mesma forma, um outro fator que dificulta a comparação entre as imagens, é o fato de que cada imagem possui um padrão específico na escala de variação das cores relacionadas às velocidades de onda.

4.2.4 Análise da densitometria de raios X

A técnica de densitometria de raios X, utilizando o equipamento QTRS – 01X, possibilitou a análise de forma precisa das variações radiais da densidade aparente do lenho de árvores de *Cariniana legalis*. Os perfis radiais de densidade aparente do lenho do tronco de três árvores, representativos das 20 analisadas, estão dispostos na Figura 19.



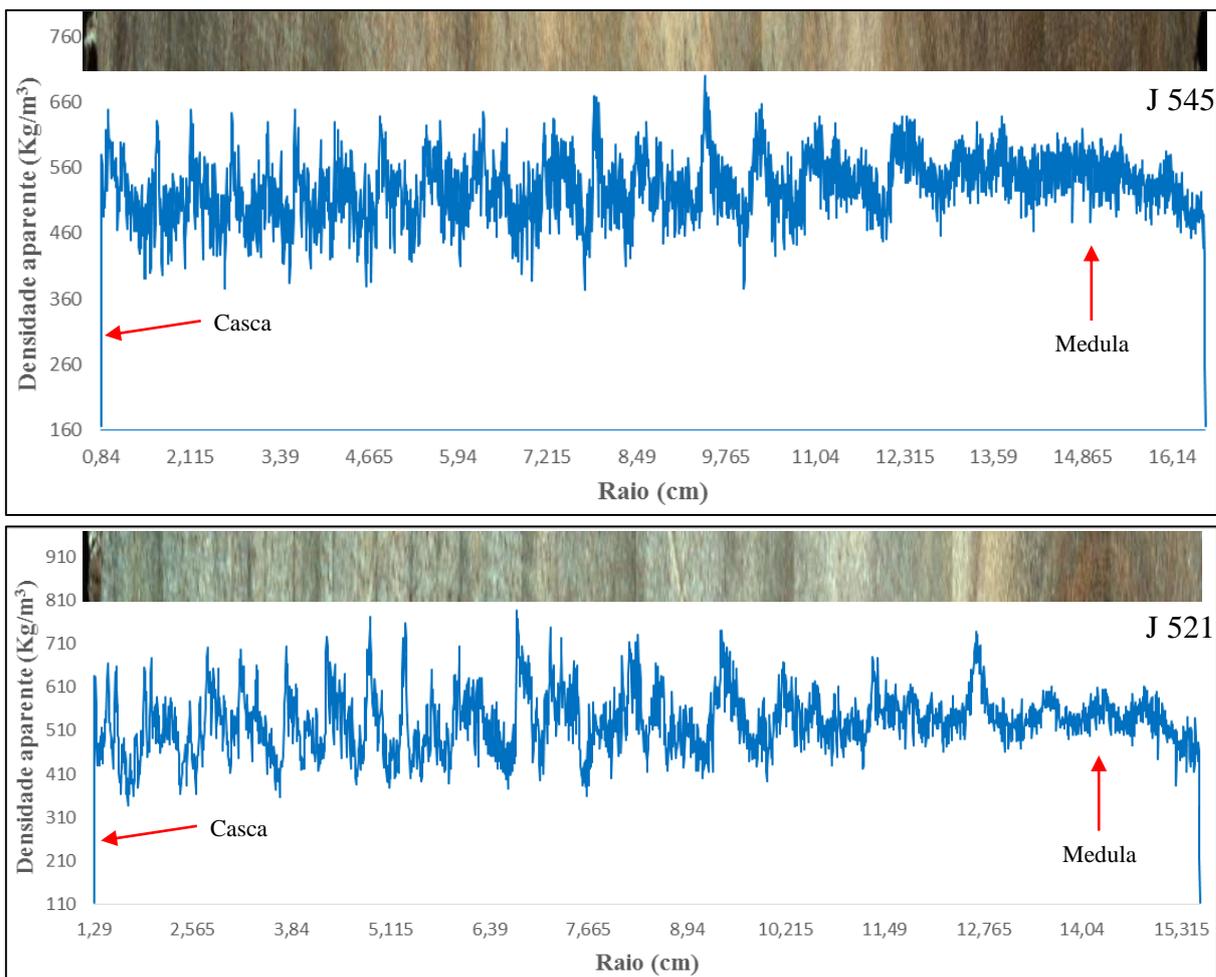


Figura 19. Perfis radiais da densidade aparente (casca-medula) de três indivíduos de *Cariniana legalis*.

Amodei (2011) e Moya et al. (2009), estudando o lenho de *Tectona grandis* por meio do perfil microdensitométrico, encontraram uma certa tendência crescente nos valores de densidade aparente no sentido medula-casca. Essa tendência também foi observada neste trabalho para a maioria dos indivíduos analisados, porém de forma menos atenuada. Segundo Moreira (1999), essa tendência crescente no sentido medula-casca é ocasionada, provavelmente, pela presença de madeira juvenil na região próxima à medula.

Por meio dos perfis de densidade aparente do lenho, foi possível observar as variações da estrutura anatômica, sendo evidenciado pelos anéis de crescimento, formados pelo lenho inicial (LI), apresentando os menores valores de densidade ($200 - 350 \text{ kg/m}^3$) e possuindo poros grandes e numerosos, e pelo lenho tardio (LT), com maiores valores ($700 - 800 \text{ kg/m}^3$) e poros pequenos e escassos (Figura 20).

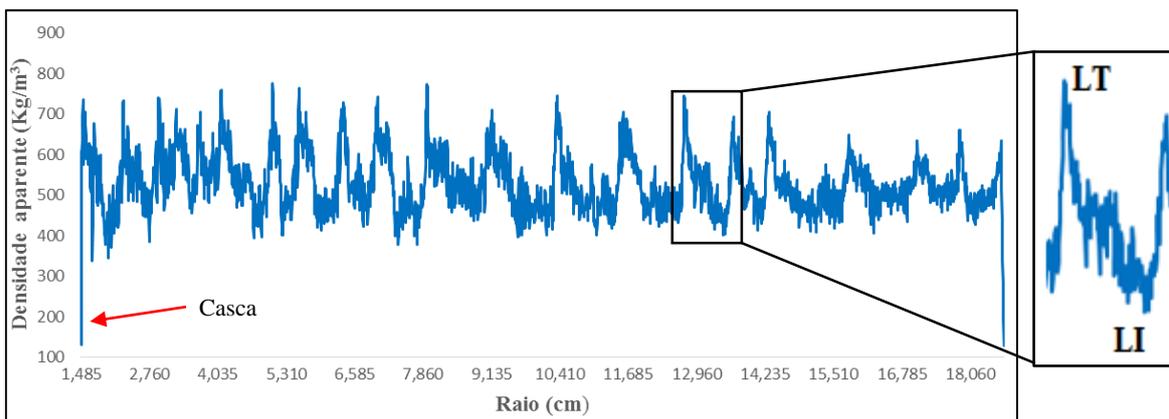


Figura 20. Detalhamento da variação densitométrica entre lenho inicial e lenho tardio.

Correlacionou-se os valores de densidades aparentes média com os de DAP, afim de encontrar correlações entre essas variáveis, no qual obteve-se uma correlação positiva e significativa ($r = 0,52$) ao nível de 5% de significância. Por meio da regressão linear observa-se que 28% da variação da densidade aparente é explicada pelos valores de DAP (Figura 21). Esse valor é superior ao encontrado por Castro et al. (2014), $R^2 = 0,2312$, ao realizarem a correlação entre o diâmetro do tronco de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e a densidade aparente média do lenho.

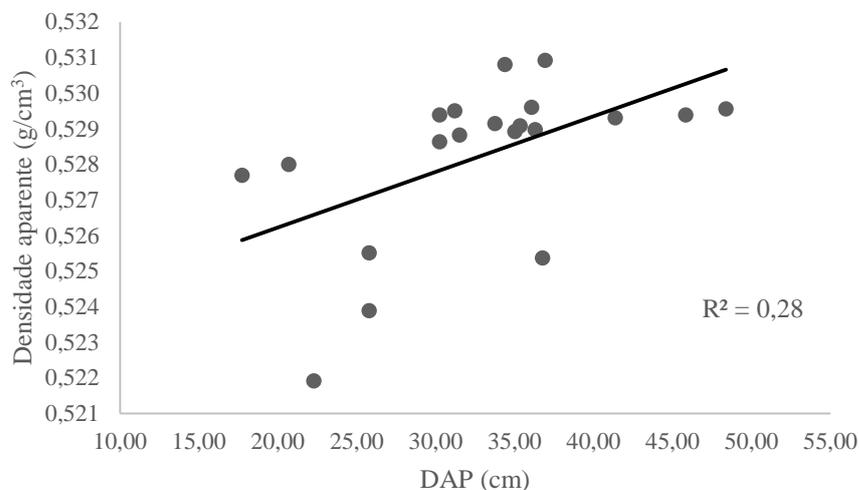


Figura 21. Correlação entre a densidade aparente média e o DAP dos indivíduos de *Cariniana legalis*.

5. CONCLUSÕES

Os resultados do presente trabalho, permitiram concluir que:

- Os resultados das características dendrométricas revelam grande potencial de crescimento da espécie *Cariniana legalis* na área de restauração florestal avaliada;
- A extensômetria se mostrou eficaz em determinar as deformações residuais longitudinais (DRL) para cada árvore de *Cariniana legalis*;

- A espécie *Cariniana legalis* proveniente de plantios de restauração florestal pressupõe, com base nos valores de DRLs, uma produção madeira de boa qualidade e com poucos defeitos relacionados as tensões de crescimento;
- As correlações entre as DRLs e as características de crescimento, DAP e altura total foram positivas e significativas, havendo assim, um crescimento das DRLs com o aumento dos valores das características de crescimento;
- As correlações mostraram que as DRLs são mais fortemente correlacionadas com as características de crescimento do que com as propriedades da madeira;
- A densidade básica da madeira pode ser estimada pelas amplitudes geradas pelo resistógrafo;
- O resistógrafo se mostrou um instrumento de fácil operacionalidade em campo, demonstrando grande potencial para utilização em futuros trabalhos e para avaliação de árvores nativas de forma rápida e não destrutiva;
- Não foi possível pré-estabelecer parâmetros de qualidade e uso da madeira somente com a tomografia de impulso;
- A densitometria de raios X possibilitou a caracterização dos perfis radiais dos indivíduos, além de se mostrar eficiente na determinação da densidade aparente da madeira;
- De modo geral não foram constatadas grandes diferenças nos valores de densidade ao longo dos perfis gerados pelos métodos não destrutivos. Além disso, não foi possível verificar distinções entre cerne e alburno.
- Os resultados demonstraram homogeneidade entre os indivíduos, não havendo grandes diferenças nos valores das variáveis analisadas entre árvores.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMODEI, J. B. **Avaliação da qualidade da madeira de *Tectona grandis* L. f. por meio de análise tomográfica, microdensitométrica e anatômica.** 2011. 50p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190:1997** projetos de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.

BELTRAME R. **Determinação das deformações residuais longitudinais decorrentes das tensões de crescimento em *Eucalyptus* spp.** 2010. 81p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

BELTRAME, R.; LAZAROTTO, M.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R.; AGUIAR, A. M. Determinação das deformações residuais longitudinais decorrentes das tensões de crescimento em *Eucalyptus* spp. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 22, n. 2, p. 343-351, abr./jun. 2012.

BELTRAME, R.; MATTOS. B. D.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; GATTO, D. A.; CADEMARTORI, P. H. G. de; PEDRAZZI, C. Evaluation of longitudinal residual strain of *Eucalyptus saligna* Smith. Wood. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, v. 41, n. 97, p. 95-101, mar. 2013.

BIELLA, L. C.; **Gênero: *Cariniana* - Jequitibá. Engenharia Florestal**, Piracicaba, v. 1, n. 1, p. 10-20, 1978.

BRANCALION, P. H. S.; VIANI, R. A. G.; STRASSBURG, B.B.N.; RODRIGUES, R.R. Finding the money for tropical forest restoration, **Unasyuva**, Roma, v. 63, n. 239, p. 41-50, 2012.

BRANCALION, P. H. S.; CARDOZO I.V.; CAMATTA, A.; ARONSON, J.; RODRIGUES, R. R. 2014. Cultural Ecosystem Services and Popular Perceptions of the Benefits of an Ecological Restoration Project in the Brazilian Atlantic Forest. **Restoration Ecology**, 22(1):65 - 71.

BRIENZA JÚNIOR, S.; PEREIRA, J. F.; YARED, J. A. G.; MOURÃO JÚNIOR, M.; GONÇALVES, D. de A.; GALEÃO, R.R. Recuperação de áreas degradadas com base em sistema de produção florestal energético-madeireiro: indicadores de custos, produtividade e renda. **Revista Amazônia: Ciência e Desenvolvimento**, Belém, v. 4, n. 7, p. 197-219, 2008.

CARDOSO JÚNIOR, A. A.; TRUGILHO, P. F; LIMA, J. T; ROSADO, S. C. da S.; MENDES, L.M. Deformação residual longitudinal em diferentes espaçamentos e idades em clone de híbrido de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 218-224, 2005.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras. Brasília: Embrapa Informações Tecnológica; Colombo: Embrapa Floresta**, 2003. 739 p.

CARVALHO, P. E. R. Jequitibá-rosa. **Circular Técnica**. Embrapa Florestas. Colombo - PR. n 107, 10 p., 2005.

CARVALHO, A. M.; GONÇALVES, M. P. M.; AMPARADO, K. F.; LATORRACA, J. V. F.; GARCIA, R. A. Correlações da altura e diâmetro com tensões de crescimento em árvores de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla*. **Revista Árvore**. v.34, n.2, p.323- 331, 2010.

CASTRO, V. R. **Aplicação de métodos não destrutivos na avaliação das propriedades físicas do lenho de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf. e *Tectona grandis* (L.f.)**. 2011. 108p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

CASTRO, V. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; SURDI, P. G. Avaliação do perfil radial do lenho de árvores de *Pinus* (*Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf.) por densitometria de raios X. **Scientia Forestalis** (IPEF) , v. 42, p. 353-360, 2014.

CHAFE, S. C. Growth stresses in trees. **Australian Forest Research**, v.9, p.203-223, 1979.

CHAUHAN, S; DONNELLY, R.; HUANG, C. L.; NAKADA, R.; YAFANG, Y.; WALKER J. Wood Quality: In Context. In: Walker J. **Primary Wood Processing Principles and Practice**. 2nd ed. Christchurch: University of Canterbury, Springer; 2006.

CHAZDON, R.L. Beyond Deforestation: Restoring Forests and Ecosystem Services on Degraded Lands. **Science**, Washington, v. 320, n. 5882, p. 1458-1460, 2008.

CRESPO, E. A. **Tensão de crescimento e suas consequências, controláveis e não controláveis, no desdobro e secagem do *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna***. 2000. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2000.

ENGEL V. L.; PARROTTA J. A. Definindo a Restauração Ecológica: Tendências e Perspectivas Mundiais. **Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais**. Botucatu: FEPAF, 2003, pp. 1-26.

FAO. **States of the world's forests**. Rome, 2012. p. 24-41. REMADE. Espécies tropicais promissoras. Revista Madeira, Brasília, n. 108, 2007. Disponível em:<<http://www.remade.com.br>>. Acesso em: 10 set. 2015.

FREITAS, M. C. P. G. **Estudo das madeiras de Timor**. II Contribuição, Junta de Investigação Ultramar, Lisboa, 1958.

GANTZ, C.H. **Evaluating the efficiency of the Resistograph to estimate genetic parameters for wood density in two softwood and two hardwood species**. 2002. 78p. Dissertação (Mestrado) - North Carolina State University, Raleigh, 2002.

GONÇALVES, S. V. B. **Ferramentas para avaliação das propriedades da madeira de árvores vivas de *Toona ciliata* (Roemer) e aplicações no melhoramento genético**. 2009. 61 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

GOUVÊA, A. F. G.; TRUGILHO, P. F.; COLODETTE, J. L.; GOMES, C. M.; ALVES, I. C.; GOMES, F. J. B.; SOUZA, E. **Relação funcional entre os métodos não destrutivos e a produção de polpa celulósica**. Poster. In: 42o CONGRESSO E EXPOSIÇÃO INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL. ABTCP, São Paulo, 26 a 29 de outubro de 2009.

LIMA, J. T. et al. Deformações residuais longitudinais decorrentes de tensões de crescimento em eucaliptos e suas associações com outras propriedades. **Revista Árvore**, v. 28, n. 1, p. 107-116, 2004.

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

LIMA, I. L.; LONGUI, E. L.; GARCIA, M. F.; ZANATTO, A.C.S.; FREITAS, M. L. M.; FLORSHEIM, S. M. B. Variação radial da densidade básica e dimensões celulares da madeira de *Cariniana legalis* (Mart.) O. Kuntze em função da procedência. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 4, p. 517-524, out./dez. 2011.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 4. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. v. 1.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. São Paulo: Plantarum, 2008. v.1, p.135

MAINIERI, C.; CHIMELO, J.P. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1989. 418 p.

MARTINS, Leandro Tose. **Caracterização dendrométrica e crescimento de dez espécies florestais nativas em plantios homogêneos no estado do Espírito Santo**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES, 2012.

MOREIRA, W. S. **Relações entre propriedades físico - mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira**. 1999. 107f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

MORI, S.A.; PRANCE, G.T. **Lecitidaceas: família da castanha-do-pará**. Ilhéus: EMBRAPA; 1983. 35 p. (Boletim Técnico, 116).

MOYA, R.; BERROCAL, A.; SERRANO, J. R.; TOMAZELLO FILHO, M. Variación radial de la anatomía, densidad y durabilidad de la madera de teca (*Tectona grandis*) procedente de dos calidades de sitio y dos regiones climáticas de Costa Rica. **Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales**, n.18, v. 2, p. 119-131. 2009.

MUNERI, A.; LEGATE, W.; PALMER, G. Relationships between surface growth strain and some tree wood and sawn timber characteristics of *Eucalyptus cloeziana*. **Southern African Forestry Journal**, Pretoria, v.187, p.41-49, 1999.

MUNERI, A. et al. Relationships between surface longitudinal growth strain and tree size, wood properties and timber distortion of 4 years old plantation grown *Eucalyptus cloeziana*. In: IUFRO CONFERENCE – The Future of Eucalyptus for Wood Products, 2000, Launceston, Australia, IUFRO. **Proceedings... Launceston..** p.292-300. 2000.

NICHOLSON, J. E. Growth stresses differences in *Eucalyptus*. **Forest science**, v. 19, n. 3, p. 169-174, 1973.

NICOLOTTI, G.; SOCCO, L. V.; MARTINIS, R.; GODIO, A.; SAMBUELLI, L. Application and comparison of three tomographic techniques for detection of decay in trees. **Journal of Arboriculture**, Champaign, v. 19, n. 2, p. 66-78, Mar. 2003.

OLIVEIRA, B.R.U. **Dendrocronologia de árvores de teca na região de Cárceres, Mato Grosso**. 2011. 97 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.

PEIXOTO, A. L.; ROSA, M. M. T.; JOELS, L. C. M. Diagrama de perfil e de cobertura de um trecho da floresta de tabuleiro na Reserva Florestal de Linhares (Espírito Santo, Brasil). **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 9, n. 2, p. 177-193, 1995.

PEREIRA, J.C.D. **A influência do ritmo de crescimento na densidade da madeira de *Pinus Elliottii* engelm var. *elliottii***. 1982, 98p. (Dissertação de Mestrado), Piracicaba: USPESALQ, 1982.

PICUS. **Picus home page**. [cited 2009 set. 30]. Available from: <http://www.argus-electronic.de/index.php/en/picus-sonic-tomograph/faq-sonic>.

PIOTTO, D.; MONTAGNINI, F.; UGALDE, L.; KANNINEN, M. Performance of forest plantations in small and medium-sized farms in the Atlantic lowlands of Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 175, n. 1-3, p. 195-204, 2003.

PLATH, M.; MODY, K.; POTVIN, C.; DORN, S. Establishment of native tropical timber trees in monoculture and mixed-species plantations: Small-scale effects on tree performance and insect herbivore. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 261, n. 3, p. 741-750, 2011.

REIS A.; KAGEYAMA P. Y. Restauração de áreas degradadas utilizando interação interespecíficas. in: KAGEYAMA, P. Y.; OLIVEIRA, R. E.; MORAES, L. F. D. et al. (coords.). **Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais**. Botucatu: FEPAF, , pp. 90-110, 2003.

REMADE. **Espécies tropicais promissoras**. Revista Madeira, Brasília, n. 108, 2007. Disponível em:<<http://www.remade.com.br>>. Acesso em: 10 set. 2015.

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

RINN, E. SCHWEINGRUBER, E.; SCHAR, E. Resisitograph and X-ray density charts of wood: Comparative evaluation of drill resistance profiles and X-ray density charts of different wood species. **Holzforschung**, vol. 4, p.303-311. 1996.

RODRIGUES, E. A. C. **Estimação de parâmetros genéticos, fenotípicos e ambientais para a qualidade da madeira de *Eucalyptus* em árvores vivas**. 2007. 102 f. Tese (Doutorado em Florestas e Produção) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

RODRIGUES, R. R.; LIMA, R. A. F.; GANDOLFI, S.; NAVE, A. G. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological conservation**, Essex, v. 142, p. 1242-1251, 2009.

ROLLO, L. C. P. **Tomografia de impulso para estimativa da densidade da madeira**. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2009.

ROSS, R. J.; BRASHAW, B. K.; PELLERIN, R. F. Nondestructive evaluation of wood. **Forest Products Journal**, Madison, v. 48, n. 1, p. 14-19, jan. 1998.

ROSS, Robert. J.; PELLERIN, Roy. 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**. Madison: USDA, 1999. 15 p.

ROZENBERG, P.; CAHALAN, C. Spruce and wood quality: Genetic Aspects (A Review). **Silva e Genetica**. v.46, n.5, p.270-274. 1997.

SCHACHT, L.; GARCIA, J. N.; VENCOVSKY, R. Variação genética de indicadores de tensão de crescimento em clones de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, v. 54, p. 55-68, 1998.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE - GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. MATA CILIAR. **Recuperações bem-sucedidas**, 2012.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Florestas do Brasil em resumo**. 188 p., il.; 9 x 12,5 cm. 2013.

SHIMOYAMA, V. R. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* spp.** 1990. 93 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Madeira) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1990.

SILVA, M. E C. M; LOUZADA, J. L. P. C. Utilização da microdensitometria por raios X na avaliação qualitativa da madeira de choupo (*Populus x euramericana*.cv I.214).In: SIMPÓSIO DEL CHOPO,1., 2001. **Zamora. Proceedings... Zamora**, p.469-478. 2001.

SILVA, C. C. **Potencial de espécies nativas para a produção de madeira serrada em plantios de restauração florestal**. 2013. 99 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2013.

SOUZA, A. L.; JESUS, R. M. Equações de volume comercial e fator de forma para espécies da mata atlântica ocorrentes na reserva florestal companhia vale do rio doce, Linhares, ES. **Revista Árvore**, Viçosa, 15 (3): 257 – 273, 1991.

TOMAZELLO FILHO, M.; CHAGAS, M.P.; ROQUE, R.M. **Manual de aplicação de densitometria de raios-X em amostras de madeira, CRAD e CERD**. Piracicaba-SP. 32p. 2005.

TOMAZELLO FILHO M.; BRAZOLIN, S.; CHAGAS, M.P.; OLIVEIRA, J.T.S.; BALLARIN, A.W. Application of technique in nondestructive evaluation of eucalyptus wood. **Maderas: Ciencia y Tecnologia**. Concepcion, v. 10, n. 2, p. 139-150, 2008.

TRUGILHO, P. F; IWAKIRI, S; ROCHA, M. P; MATOS, J. L. M.; SALDANHA, L. Efeitos da idade e classe diamétrica na deformação residual longitudinal em árvores de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.5, 2004.

TRUGILHO, P. F. **Tensão de crescimento em árvores vivas de clones de *Eucalyptus* spp. e de *Eucalyptus dunnii* Maiden e propriedades de sua madeira**. 2005. 123 f. Tese (Pós Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

VIDAURRE, G. B.; NUTTO, L; FRANÇA, F. J. N, BRAZ, R. L.; WATZLAWICK, L. W.; MOULIN, J. C. Tensão de Crescimento no Lenho de *Eucalyptus benthamii* e sua Relação com Características Dendrométricas em Diferentes Espaçamentos. **Floresta e Ambiente**, 22(3): 408 415, 2015.