



NÁDIA SCHIAVON DA VEIGA

**INFERÊNCIA DA DENSIDADE DA MADEIRA
ESTIMADA POR ESCLEROMETRIA**

**CAMPINAS
FEVEREIRO DE 2014**



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Faculdade de Engenharia Agrícola

NÁDIA SCHIAVON DA VEIGA

***“INFERÊNCIA DA DENSIDADE DA MADEIRA
ESTIMADA POR ESCLEROMETRIA”***

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para obtenção do Título de Mestra em Engenharia Agrícola, na área de concentração de Construções Rurais e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. JULIO SORIANO

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA NÁDIA SCHIAVON DA VEIGA E ORIENTADA PELO PROF. DR. JULIO SORIANO

Assinatura do Orientador

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Soriano", is written over a horizontal line.

CAMPINAS

FEVEREIRO DE 2014

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

V533i Veiga, Nádia Schiavon da, 1986-
Inferência da densidade da madeira estimada por esclerometria / Nádia Schiavon da Veiga. – Campinas, SP : [s.n.], 2014.

Orientador: Julio Soriano.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Testes não-destrutivos. 2. Propriedades físicas. 3. Dicotiledônea. 4. Madeira - Tecnologia. 5. Correlação (Estatística). I. Soriano, Julio, 1967-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Inference of wood density estimated by sclerometry

Palavras-chave em inglês:

Nondestructive testing

Physical properties

Dicotyledon

Wood - Technology

Correlation (Statistically)

Área de concentração: Construções Rurais e Ambiência

Titulação: Mestra em Engenharia Agrícola

Banca examinadora:

Julio Soriano [Orientador]

Juliano Fiorelli

Raquel Gonçalves

Data de defesa: 24-02-2014

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da **Dissertação de Mestrado** defendida por **Nádia Schiavon da Veiga**, aprovada pela Comissão Julgadora em 24 de fevereiro de 2014, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

FEAGRI



Prof. Dr. Julio Soriano – Presidente e Orientador
Feagri/UNICAMP



Prof. Dr. Juliano Fiorelli – Membro Titular
Fzea/USP



Profa. Dra. Raquel Gonçalves – Membro Titular
Feagri/UNICAMP

Faculdade de
Engenharia Agrícola
Unicamp

RESUMO

A densidade da madeira é uma propriedade física importante às diversas aplicações, tais como na construção civil, na fabricação de móveis e na indústria de papel e celulose. Essa propriedade varia de espécie para espécie, sendo também influenciada por variações do teor de umidade. Convencionalmente, a densidade da madeira é obtida em laboratório por procedimentos padronizados. Diversas pesquisas buscam apontar métodos de ensaios não destrutivos que possam correlacionar seus resultados com a densidade da madeira. Neste contexto, esta pesquisa teve como objetivo estabelecer correlações dos resultados da esclerometria (ensaio não destrutivo) com a densidade da madeira. Para tanto, três espécies folhosas com densidades distintas foram escolhidas, sendo elas o Cumaru (*Dipteryx odorata*), a Garapa (*Apuleia leiocarpa*) e o Cedro (*Cedrela ssp*), das quais foram extraídas peças prismáticas medindo 80 mm x 200 mm x 300 mm. Duas condições de umidade foram consideradas: a de madeira não estabilizada, com umidade de pátio de madeireira, e a de madeira estabilizada por secagem. Esses prismas foram submetidos a impactos esclerométricos nas direções anatômicas longitudinal, radial e tangencial. As densidades foram determinadas pelo método da ABNT NBR 7190 (1997). Das correlações geradas para cada uma das direções anatômicas, foram obtidos coeficientes de correlação superiores a 0,81, indicando que os índices esclerométricos e a densidade podem ser correlacionados linearmente. Finalmente, pode-se concluir que a esclerometria é um método adequado para estimar a densidade da madeira.

Palavras Chave: ensaios não destrutivos; propriedades físicas; folhosas; tecnologia da madeira; correlação.

ABSTRACT

Wood density is an important physical property for various applications, such as in the construction, furniture making and pulp and paper industry. This property varies among species, being also influenced by variations in moisture content. Conventionally, the density of the wood is obtained in the laboratory by standardized procedures. Several researches are pointing nondestructive testing methods that can correlate their results with wood density. In this context, this study aimed to establish correlations between the results of sclerometry (nondestructive testing) with the density of the wood. For this purpose, three broadleaves species with different densities Cumaru (*Dipteryx odorata*), Garapa (*Apuleia leiocarpa*) e Cedro (*Cedrela ssp*) were chosen, of which were extracted prismatic pieces measuring 80 mm x 200 mm x 300 mm. Two moisture content conditions were considered: non-stabilized wood with moisture content of sawmill patio, and wood stabilized by drying. These prisms were subjected to esclerometric impacts in the longitudinal, radial and tangential anatomical directions. The densities were determined by method of ABNT NBR 7190 (1997). From the correlations generated for each anatomical direction, were obtained correlation coefficients greater than 0.81, indicating that esclerometric indexes and density can be correlated linearly. Finally, it can be concluded that sclerometry is a suitable method to estimate the density of the wood.

Keywords: nondestructive testing; physical properties; broadleaves, wood technology, correlation.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivo Geral	2
1.2 Objetivos Específicos	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Propriedades da Madeira	5
2.2 Relações entre as Propriedades da Madeira	6
2.3 Densidade da Madeira e sua Importância em Diversas Aplicações do Material	9
2.4 Fatores Influentes na Densidade.....	12
2.5 Densidade Estimada por Métodos de Ensaio Não Destrutivos	14
2.6 Esclerometria.....	17
3 MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 Confeção dos Corpos de Prova.....	20
3.2 Equipamentos	23
3.3 Preparação dos prismas para os Ensaios Esclerométrico	23
3.4 Ensaio Esclerométrico	24
3.5 Teor de umidade	28
3.6 Densidade	28
3.7 Análise Estatística.....	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 Densidade Aparente e Teor de Umidade	31
4.2 Impactos Esclerométricos.....	32
4.3 Índices Esclerométricos.....	32
4.4 Correlações entre a Densidade e Índices Esclerométricos	34
5 CONCLUSÃO.....	43
5.1 Sugestões para Pesquisas Futuras.....	43
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
ANEXOS	50

AGRADECIMENTOS

A Deus,

À minha família, especialmente meus pais, Rosa e Pedro, e meu irmão, Yuri, pelo apoio desde quando decidi cursar Engenharia, e seguir carreira acadêmica,

Ao Prof. Julio Soriano, por me orientar sempre com paciência e dedicação, e pelo incentivo para participação em eventos científicos,

À Faculdade de Engenharia Agrícola, e aos funcionários da Pós-Graduação,

Aos meus amigos, especialmente aqueles do LabEnd e da FEAGRI, pelo auxílio nos ensaios e companheirismo em cursos, congressos e momentos de descontração, nos intervalos entre aulas e ensaios,

Ao CNPq, pela bolsa de estudos.

EPÍGRAFE

“Nada é impossível, há caminhos que conduzem a todas as coisas.”

La Rochefoucauld

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Direções de crescimento da madeira.....	5
Figura 2. Ensaio de Dureza Janka.....	8
Figura 3. Usos da madeira na área rural.....	11
Figura 4. Medição de umidade (MP1-E, Merlin).....	13
Figura 5. Equipamento para obtenção de densidade por Raios-X.....	14
Figura 6. Disparo e leitura com o equipamento Pilodyn.....	15
Figura 7. Aplicação do método do resistógrafo.....	16
Figura 8. Aplicação de golpe esclerométrico na madeira.....	18
Figura 9. Esclerômetro de Reflexão Schimidt.....	18
Figura 10. Esquema para a extração dos corpos de prova a partir da ponta de uma prancha para os lotes de Cumaru.....	21
Figura 11. Estabilização das peças em câmara de climatização e secagem.....	22
Figura 12. Esquema para extração dos corpos de prova das espécies submetidas à secagem em estufa.....	22
Figura 13. Posicionamento do gabarito e demarcação dos pontos na face tangencial às fibras (a) e na face transversal (b).....	24
Figura 14. Pontos de Aplicação da Esclerometria.....	25
Figura 15. Método de aplicação da esclerometria na direção radial.....	26
Figura 16. Método de aplicação da esclerometria na direção tangencial.....	26
Figura 17. Aparelho de ultrassom (USLab, AGRICEF).....	27
Figura 18. Corpos de prova para determinação do teor de umidade e densidade aparente.....	28
Figura 19. Densidade <i>versus</i> índice esclerométrico na direção longitudinal.....	36
Figura 20. Densidade <i>versus</i> índice esclerométrico na direção radial.....	37
Figura 21. Densidade <i>versus</i> índice esclerométrico na direção tangencial.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dimensões e número de corpos de prova para cada espécie.	23
Tabela 2. Cargas de fixação do corpo de prova para aplicação da esclerometria.	27
Tabela 3. Médias das densidades aparentes e dos teores de umidade das três espécies.	31
Tabela 4. Grupos de índices esclerométricos para o lote de Cumaru não estabilizado.	32
Tabela 5. Grupos de índices esclerométricos para o lote de Cumaru estabilizado.	32
Tabela 6. Grupos de índices esclerométricos para o lote de Garapa não estabilizado.	33
Tabela 7. Grupos de índices esclerométricos para o lote de Garapa estabilizado.	33
Tabela 8. Grupos de índices esclerométricos para o lote de Cedro não estabilizado.	33
Tabela 9. Grupos de índices esclerométricos para o lote de Cedro estabilizado.	34
Tabela 10. Grupos de índices esclerométricos das três espécies por direção para a condição não estabilizada.	34
Tabela 11. Grupos de índices esclerométricos das três espécies por direção para a condição estabilizada.	34
Tabela 12. Equações de correlação entre os índices esclerométricos obtidos para a direção longitudinal e a densidade.	36
Tabela 13. Equações de correlação entre os índices esclerométricos obtidos para a direção radial e a densidade.	37
Tabela 14. Equações de correlação entre os índices esclerométricos obtidos para a direção tangencial e a densidade.	38
Tabela 15. Agrupamentos dos valores médios dos índices esclerométricos obtidos na direção longitudinal.	39
Tabela 16. Agrupamentos dos índices esclerométricos obtidos na direção radial.	39
Tabela 17. Agrupamentos dos índices esclerométricos obtidos na direção tangencial.	40
Tabela 18. Média dos índices esclerométricos (IE) das três espécies e normalidade dos dados para as direções longitudinal (L), radial (R) e tangencial (T) após a retirada de outliers.	40

Tabela 19. Equações de Correlação entre Densidade e Índices Esclerométricos sem distinção do teor de umidade.	41
Tabela 20. Estimativa da Densidade em função dos Índices Esclerométricos e do teor de umidade.	42
Tabela A1. Valores de densidade e teor de umidade para os dois lotes de Cumaru.	51
Tabela A2. Valores de densidade e teor de umidade para os dois lotes de Garapa.	52
Tabela A3. Valores de densidade e teor de umidade para os dois lotes de Cedro.	53
Tabela A4. Agrupamentos por densidade para as três espécies estudadas.	54
Tabela A5. Agrupamentos por teor de umidade para as três espécies estudadas.	54
Tabela A6. Valores obtidos nos impactos esclerométricos (Q) aplicados ao lote de Cumaru Não Estabilizado.	55
Tabela A7. Valores obtidos nos impactos esclerométricos (Q) aplicados ao lote de Cumaru Estabilizado.	56
Tabela A8. Valores obtidos nos impactos esclerométricos (Q) aplicados ao lote de Garapa Não Estabilizado.	57
Tabela A9. Valores obtidos nos impactos esclerométricos (Q) aplicados ao lote de Garapa Estabilizado.	58
Tabela A10. Valores obtidos nos impactos esclerométricos (Q) aplicados ao lote de Cedro Não Estabilizado.	59
Tabela A11. Valores obtidos nos impactos esclerométricos (Q) aplicados ao lote de Cedro Estabilizado.	60
Tabela A12. Índices esclerométricos obtidos nas três direções estudadas do Cumaru, em condição de umidade não estabilizada.	61
Tabela A13. Índices esclerométricos obtidos nas três direções estudadas do Cumaru, em condição de umidade estabilizada.	61
Tabela A14. Índices esclerométricos obtidos nas três direções estudadas da Garapa, em condição de umidade não estabilizada.	62

Tabela A15. Índices esclerométricos obtidos nas três direções estudadas da Garapa, em condição de umidade estabilizada.....	62
Tabela A16. Índices esclerométricos obtidos nas três direções estudadas do Cedro, em condição de umidade não estabilizada.	63
Tabela A17. Índices esclerométricos obtidos nas três direções estudadas do Cedro, em condição de umidade estabilizada.....	63
Tabela A18. Coeficiente de correlação e coeficiente de determinação para regressão linear entre os valores de índice esclerométrico (IE) e densidade, por espécie.....	64
Tabela A19. Coeficientes de correlação e coeficientes de determinação para regressão linear entre os valores de índices esclerométricos (IE) e densidades, separados apenas por direção do ensaio esclerométrico e condição de umidade dos lotes.....	65
Tabela A20. Velocidades obtidas pelo ultrassom para os lotes de Cumaru ($m.s^{-1}$).	66
Tabela A21. Velocidades obtidas pelo ultrassom para os lotes de Garapa ($m.s^{-1}$).	66
Tabela A22. Velocidades obtidas pelo ultrassom para os lotes de Cedro ($m.s^{-1}$).	67
Tabela A23. Grupos de ultrassonografia para o lote de Cumaru não estabilizado.	67
Tabela A24. Grupos de ultrassonografia para o lote de Cumaru estabilizado.	67
Tabela A25. Grupos de ultrassonografia para o lote de Garapa não estabilizado.	68
Tabela A26. Grupos de ultrassonografia para o lote de Garapa estabilizado.	68
Tabela A27. Grupos de ultrassonografia para o lote de Cedro não estabilizado.	68
Tabela A28. Grupos de ultrassonografia para o lote de Cedro estabilizado.	68

1 INTRODUÇÃO

A densidade é uma propriedade importante por ser útil na definição da utilização da madeira. Ela está relacionada à resistência, sendo necessária em projetos estruturais, e utilizada também como complemento a ensaios não destrutivos, como exemplo, à ultrassonografia. A importância da determinação da densidade se estende para o transporte da madeira, e em indústrias, principalmente moveleiras e de papel e celulose.

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT NBR 7190, 1997) explicita o método para determinação da densidade da madeira em condições de laboratório, sendo necessária a retirada de corpos de prova da peça, portanto, de modo destrutivo, o que torna inviável a determinação em campo.

A fim de se evitar a retirada de corpos de prova, a densidade pode ser estimada pela correlação com resultados de métodos não destrutivos. Estudos mostram a presença de correlações da densidade com resultados obtidos pelos métodos Pilodyn, Resistógrafo e métodos de ondas. Esses métodos são utilizados na determinação da densidade quando a madeira ainda integra a árvore viva, em estruturas antigas, onde a retirada de partes da estrutura não é permitida, ou em estruturas em utilização, por exemplo, em postes ou pontes de madeira.

A esclerometria é um método de ensaio não destrutivo aplicado à caracterização de estruturas de concreto que se mostrou como método alternativo na caracterização de madeiras em um estudo realizado por Soriano *et al.* (2011). A partir deste estudo surgiu a ideia desta pesquisa, que tem como objetivo a estimativa da densidade de modo não destrutivo, a partir dos resultados obtidos pela aplicação do método esclerométrico.

Partindo-se da hipótese de que os resultados do método esclerométrico sejam correlacionáveis às propriedades da madeira, foram analisados os impactos esclerométricos aplicados às três direções da madeira e correlacionados os índices esclerométricos à densidade da madeira, tendo como objeto de estudo três espécies folhosas.

1.1 Objetivo Geral

Analisar se os resultados de índices esclerométricos podem ser correlacionados com a densidade da madeira.

1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a homogeneidade dos índices esclerométricos para as três direções anatômicas da madeira, obtidos em peças prismáticas de três espécies de madeira com densidades distintas (baixa, média e alta densidade), em duas condições de umidade: não estabilizada e estabilizada.
- Determinar, para cada direção anatômica da madeira correlações entre a densidade e os resultados do método esclerométrico, e verificar se essas correlações são estatisticamente significativas.
- Através da análise estatística, gerar modelos para estimativa da densidade da madeira a partir dos índices esclerométricos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A classificação das peças de madeira conforme a classe de resistência mecânica é necessária para sua correta utilização em um projeto estrutural, sendo utilizada na verificação dos esforços que a peça deverá suportar. A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (NBR 7190, 1997) cita que para caracterização da madeira é necessária a determinação das densidades básica e aparente, além de um grupo de resistências obtidas a 12% de umidade, que variam com a classificação que se deseja realizar, se esta será completa, mínima ou simplificada. A Norma Brasileira também apresenta tabelas que relacionam classes de resistência às densidades básica e aparente de madeira para coníferas e de folhosas.

Outras formas de uso da madeira também dependem de suas propriedades mecânicas de resistência e rigidez, sempre associadas à propriedade física de densidade. Na produção de móveis, por exemplo, há exigência de resistência, durabilidade e leveza do produto final. Neste caso, o INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT (2013) sugere o uso de algumas espécies de madeiras, como exemplo a Garapa (*Apuleia leiocarpa*), que a 15% de umidade tem densidade aparente 830 kg.m^{-3} e resistência à compressão paralela às fibras de 54,3 MPa. Quanto à construção civil, é indicado, por exemplo, o Cumaru (*Dipteryx odorata*), que a 15% de umidade apresenta densidade 1090 kg.m^{-3} e resistência à compressão paralela 94,2 MPa. Para fins estruturais a ABNT NBR 7190 (1997) lista diversas espécies de folhosas e coníferas com suas propriedades.

A caracterização da madeira é exigida no comércio por algumas certificadoras internacionais, como a TIMBER RESEARCH AND DEVELOPMENT ASSOCIATION – TRADA (2013) que exige um selo com as informações de origem, nome científico da espécie, sua densidade e resistência, o que evita o comércio ilegal de madeira. Daí o uso de métodos não destrutivos para classificação de peças de madeira representam parte do avanço tecnológico para utilização do material madeira nos diversos setores do comércio, principalmente daqueles que utilizam a certificação.

Quanto ao transporte do material, seja em seu estado bruto (toras) ou como material processado, o conhecimento da densidade correta permite a determinação do volume máximo a ser carregado, dado que o CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO (CONTRAN, 2006) limita a carga do veículo somada à carga de material transportado a 57 toneladas. Acima disso é

necessária uma Autorização Especial de Trânsito (AET), com a qual a carga combinada pode chegar ao limite de 74 toneladas.

A determinação da densidade é fundamental também para métodos de ensaios não destrutivos, como a ultrassonografia, que para determinação da matriz de rigidez necessita da velocidade de propagação da onda e da densidade do material. Para aplicações de campo em peças para as quais não se tenha informações da densidade, a combinação da ultrassonografia com outro método que possibilite a estimativa da densidade permitiria resultados expeditos e sem a necessidade de extração de corpos de prova.

Pelos procedimentos da ABNT NBR 7190 (1997) a densidade da madeira é uma grandeza cuja determinação necessita a extração de corpos de prova prismáticos de um dado lote e, requer equipamentos de laboratório apropriados. Há, portanto, uma carência de um método que possibilite estimar a densidade da madeira em campo e de forma expedita.

Há também que se considerar a possibilidade de serem estabelecidas correlações de suas propriedades mecânicas, que podem ser estimadas de modo não destrutivo. Como exemplo, Gouvêa *et al.* (2011) utilizou os métodos do resistógrafo, o Pilodyn e a espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS) para predição da densidade básica de eucaliptos. Holmberg (2000) gerou equações correlacionando a densidade de *pinus* à dureza Brinell.

Buscando correlações às propriedades da madeira, Soriano *et al.* (2011), trabalharam com a esclerometria, que é um método não destrutivo com possibilidade de aplicação *in situ*. Na pesquisa com peças de *E. Saligna* com umidade superior a 30%, os resultados mostraram a existência de correlações entre os resultados de índices esclerométricos e as direções das fibras da madeira. Concluíram que é possível distinguir as direções normais às fibras (radial e tangencial) da direção paralela às fibras (longitudinal), sendo que a direção longitudinal apresentou os menores índices esclerométricos. Entretanto, quando aplicada a um lote de uma espécie, a esclerometria não possibilitou a distinção dos resultados esclerométricos entre as direções radial e tangencial.

Em estudo seguinte, Soriano *et al.* (2011b) ao trabalharem com três pranchas extraídas de uma tora de *E. saligna* apresentaram comparativos das diferenças numéricas para as direções paralela e normal às fibras, obtidas por três métodos de ensaios: esclerometria, ultrassonografia e compressão. Os autores obtiveram por esses ensaios as diferenças de 30%, 57% e 76%, respectivamente.

2.1 Propriedades da Madeira

A madeira possui propriedades físicas, químicas e mecânicas que variam de espécie para espécie, bem como com a direção anatômica considerada. As propriedades também são dependentes da posição dentro do lenho de onde se extrai uma peça, do teor de umidade, dentre outros fatores, como a altura de extração do corpo de prova em relação ao solo, a idade da árvore e modo de cultivo da plantação.

A madeira possui três direções anatômicas (Figura 1), o que leva a três direções com características distintas (resistência mecânica, por exemplo). A direção que é responsável pela altura da árvore, portanto paralela às fibras, é chamada longitudinal. A direção radial está contida na seção transversal (da medula para a casca), sendo, portanto, perpendicular à direção longitudinal. A direção tangencial é tangente aos anéis de crescimento.

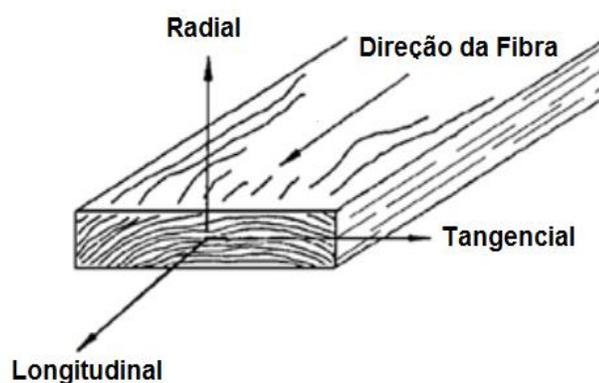


Figura 1. Direções de crescimento da madeira.

Fonte: Calil Junior *et al.* (2003).

As faces também possuem características distintas, sendo elas classificadas transversal, radial e tangencial. A face transversal intercepta a direção longitudinal de crescimento das árvores permitindo visualizar a disposição dos anéis de crescimento em vista superior. A face tangencial é aquela que tange os anéis de crescimento e é perpendicular aos raios. A face radial permite a visualização das faixas de anéis de crescimento da árvore lateralmente.

2.2 Relações entre as Propriedades da Madeira

Há uma relação entre as propriedades físicas e mecânicas da madeira. A ABNT NBR 7190 (1997) apresenta classes de resistência distintas para as madeiras folhosas e coníferas, mostrando que a densidade (aparente) diminui com o aumento nos valores de resistência de compressão característica paralela às fibras, fato que, segundo López *et al.* (2013) também é demonstrado na norma europeia EN 338:2010 “Structural timber - Strength classes”.

A ABNT NBR 7190 (1997) descreve os procedimentos para a determinação das propriedades da madeira a serem consideradas em um projeto estrutural, ou seja, resistência, rigidez, densidade e teor de umidade. Essas propriedades são determinadas de forma clássica pela extração de corpos de prova que são submetidos a ensaios em laboratório.

Pela Norma Brasileira, sabendo-se o teor de umidade da madeira, é possível a correção de suas propriedades (resistência e elasticidade) às condições de umidade do local onde ela será utilizada. Calil Junior *et al.* (2006) citam que no dimensionamento de elementos estruturais devem ser consideradas as mesmas propriedades citadas pela norma ABNT NBR 7190 (1997), com uso do módulo de elasticidade paralelo e perpendicular às fibras representando a rigidez.

A densidade é necessária no cálculo da rigidez, quando esta é encontrada por meio de métodos de ensaio não destrutivos, como exemplo, pela ultrassonografia. As equações de Cristoffel apresentadas em Bucur (2006) mostram que as constantes elásticas da madeira se correlacionam à velocidade de propagação da onda e densidade da madeira. Sabe-se que as propriedades físicas também influenciam as propriedades mecânicas da madeira.

Lobão *et al.* (2004) ao caracterizarem dois lotes de Eucalipto com densidades distintas, concluíram que aquela de menor densidade apresentou menores resultados de resistência e de módulo de elasticidade. No entanto, os autores descrevem que as propriedades mecânicas dependem não só da densidade da madeira, mas também de outros fatores, dado que os resultados de rigidez não seguiram a mesma tendência que os resultados de resistência.

A resistência mecânica da madeira é influenciada pela inclinação das fibras. A ABNT NBR 7190 (1997) apresenta a expressão de Hankinson (Equação 1), que reduz a resistência da madeira em função da inclinação α das tensões normais em relação às fibras. Partindo-se dos valores conhecidos de resistência nas direções paralela e normal às fibras é possível estimar-se a resistência para o ângulo alfa, sendo desnecessário efetuar-se essa correção quando o ângulo é inferior a 6°.

$$f_{\alpha} = \frac{f_0 \times f_{90}}{f_0 \sin^2 \alpha + f_{90} \cos^2 \alpha} \quad (1)$$

Onde:

f_0 = resistência paralela às fibras (MPa)

f_{90} = resistência normal às fibras (MPa)

α = ângulo das tensões normais em relação às fibras (graus)

A dureza é uma propriedade que pode ser obtida de modo não destrutivo com o uso de durômetros portáteis. Tais equipamentos comparam as impressões causadas por meio de impacto manual de um martelo no material testado às impressões causadas em uma barra-padrão, sendo esta de dureza conhecida. As leituras são realizadas por meio de lupa graduada, através da determinação dos diâmetros médios impressos na barra-padrão e no material testado, assim como ocorre no método convencional.

Holmberg (2000) em seu estudo sobre a influência da direção das fibras na determinação da dureza Brinell em Pinus (*Pinus sylvestris L.*), mostrou que existe correlação entre a densidade e a dureza, porém essa correlação é maior quando o ângulo entre a direção da carga aplicada e a direção das fibras se aproxima de 90°. Para ângulos entre 45° e 90° ele obteve coeficiente de determinação (R^2) maior que 70%, o que é significativo quando se trabalha com madeiras, por se tratar de um material heterogêneo.

A maioria das propriedades mecânicas está relacionada à densidade da madeira. Como exemplo, Lahr *et al.* (2010) desenvolveram equações que mostram dependência entre dureza paralela às fibras, dureza normal às fibras e densidade. O efeito de direção das fibras nas propriedades mecânicas de dureza Janka foi considerado para 14 espécies de madeiras tropicais, com densidades superiores a de 850 kg.m⁻³, a 12% de umidade, tendo apresentado como resultado a relação entre a dureza paralela e a dureza normal às fibras (Equação 2) e correlações entre essas propriedades e a densidade, representadas pelas Equações 3 e 4.

$$H_0 = 0,96 H_{90} + 22 \quad (2)$$

onde:

H_0 = Dureza paralela às fibras (MPa);

H_{90} = Dureza normal às fibras (MPa)

$$H_0 = 183 DA - 56 \quad (3)$$

onde:

H_0 = Dureza paralela às fibras (MPa)

DA = Densidade aparente da madeira (g.cm^{-3})

$$H_{90} = 193 DA - 83 \quad (4)$$

onde:

H_{90} = Dureza normal às fibras (MPa)

DA = Densidade aparente da madeira (g.cm^{-3})

O método da ABNT NBR 7190 (1997) para determinação da dureza da madeira é o método da dureza Janka (Figura 2). O método consiste na obtenção da força necessária para cravação de uma semi-esfera à peça, com velocidade conhecida e constante, até a obtenção da área de cravação igual a 1 cm^2 .



Figura 2. Ensaio de Dureza Janka.

Alguns autores também pesquisaram a aplicação do método de dureza Brinell em madeira, o qual é tradicionalmente aplicado a metais. O método consiste na medição da área de endentamento causada por um dispositivo semelhante ao utilizado no ensaio de Janka, porém com carga e velocidade conhecidas. Colenci e Ballarin (2008) ao buscarem a correlação entre os resultados de ensaios de dureza Janka e dureza Brinell, em 16 lotes de madeira compostos por cinco espécies de reflorestamento (Eucaliptos) e duas espécies nativas (Cupiúba e Tatajuba), obtiveram coeficiente de correlação entre os ensaios de 0,87 ($R^2=75,7\%$), o que demonstra que a dureza Brinell pode ser utilizada na qualificação de madeira, tendo-se assim um método alternativo ao método de dureza Janka.

2.3 Densidade da Madeira e sua Importância em Diversas Aplicações do Material

A densidade aparente da madeira está fortemente relacionada ao teor de umidade da mesma. (ABNT NBR 7190, 1997 e UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, USDA, 2010).

A estrutura da madeira determina sua densidade, por exemplo, em uma peça na qual a madeira juvenil encontra-se em maior proporção, a densidade é relativamente menor que a densidade de uma peça que apresenta maior proporção de madeira adulta. Isso acontece em todas as madeiras, devido à fração de espaços vazios encontrados no interior da célula (lúmen) em relação ao volume total do material (USDA, 2010).

Segundo a ABNT NBR 7190 (1997), a densidade básica da madeira é a sua massa específica, determinada pelo quociente entre a massa anidra e o volume saturado de um corpo de prova (Equação 5).

$$\rho_{bas} = \frac{m_s}{V_{sat}} \quad (5)$$

Onde:

ρ_{bas} = densidade básica da madeira (g.cm^{-3})

m_s = massa seca do corpo de prova (g)

V_{sat} = volume saturado do corpo de prova (cm^3)

A densidade básica pode determinar o uso final da madeira, sendo assim um parâmetro de avaliação econômica de uma floresta, por exemplo. A determinação da densidade permite avaliar a produtividade da floresta (matéria seca por m²), sendo importante também quanto ao transporte, armazenamento e demais operações relacionadas à matéria-prima (SILVA, 1984 *apud* TRUGUILHO *et al.*, 1989).

A densidade aparente é determinada pela relação massa pelo volume de corpos de prova num dado teor de umidade. A ABNT NBR 7190 (1997) estabelece como umidade padrão de ensaio o teor de 12%.

A determinação da densidade também pode ser realizada entre os raios da madeira. Silvennoinen *et al.* (2002) trabalharam com um lote de Pinus estabilizado a 12% de umidade, comparando o método do raio X e o elemento ótico de difração (DOE). Concluíram que a variação da densidade é melhor estimada entre os raios através do sensor DOE. A vantagem do método é a baixa quantidade de material necessária para a determinação da densidade, os corpos de prova medem 0,018 m x 0,018 m x 0,005 m.

Na construção civil a escolha das espécies de madeiras depende de sua finalidade. Para uso estrutural, por exemplo, é comum o emprego de espécies com densidades da ordem de 1000 kg.m⁻³. Essas devem ser mais resistentes, e o IPT (2013) sugere o uso de algumas espécies, como exemplo: Angelim, Cumaru, Cupiúba, Garapa e Jatobá, que possuem resistência à flexão acima de 100 MPa, e à compressão paralela acima de 50 MPa.

Tais espécies são utilizadas na construção civil pesada como elementos de tesouras, terças, vigas, treliças, pranchas, colunas, cruzetas, caibros e ripas, mas também podem ter outras formas de utilização, como móveis decorativos, partes de ferramentas, para uso no transporte ou na composição de embalagens.

Existem também madeiras voltadas à utilização na construção civil leve, como: forros, painéis, lambris e guarnições. Algumas espécies utilizadas para esta finalidade são: Cedrorama, Quaruba, Tachi, Tauari, que apresentam densidade aparente abaixo de 700 kg.m⁻³. Outras opções de uso para tais espécies, é a fabricação de chapas compensadas, embalagens, embarcações e móveis decorativos. Calil e Dias (1997) apresentam recomendações para o uso da madeira na área rural, com foco em pontes para pequenos e médios vãos de estradas vicinais devido à resistência e durabilidade, e também para coberturas de barracões. Modelos de utilização são

apresentados na Figura 3. Segundo Gonzaga (2006), na área rural, madeiras com densidades próximas a 1000 kg.m^{-3} são comumente empregadas em peças simples tais como os mourões, estacas, postes e dormentes.



a) Construção Rural



b) Ponte em estrada rural

Figura 3. Usos da madeira na área rural.

Fonte: a. Tramasul (2013) e b. Panoramio (2013).

A classificação também se torna necessária quando no processamento da madeira, como exemplo, em fábricas de papel e celulose, uma vez que algumas espécies de madeira mais resistentes, em geral, terão maior quantidade de fibras e, conseqüentemente, implicará na produção de papel de boa qualidade. Para essa finalidade são utilizadas madeiras com média densidade, isto é, entre 450 e 650 kg.m^{-3} e, segundo Foelkel (1978), acima deste limite a fabricação da celulose exige processos mais complexos. Queiroz *et al.* (2004) ao estudarem clones de Eucaliptos com densidades entre 447 kg.m^{-3} e 552 kg.m^{-3} para produção de celulose, concluíram que ambas densidades levaram ao produto final com boa qualidade. Concluíram também que a menor densidade leva ao menor consumo de álcali durante a produção da polpa, com maior rendimento e viscosidade da polpa, enquanto que a maior densidade consome menos madeira, reduzindo, assim, o custo do processo.

Um estudo realizado pelo INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS – IPEF (1979) mostrou que, para certo fator de rendimento do processo, o volume de madeira utilizada para produção de uma tonelada de celulose é menor quando a madeira utilizada tem

maior densidade. Daí tem-se a importância do conhecimento da propriedade de densidade num processo industrial.

A densidade da madeira é necessária também para a aplicação de alguns métodos de ensaios não destrutivos, por exemplo, o ultrassom, utilizado na determinação de algumas propriedades dos materiais. Com equipamento específico pode-se determinar a velocidade da onda que se propaga por um corpo de madeira (pelos seus terminais), e com a densidade, pode-se determinar o coeficiente de rigidez, possibilitando, assim, a classificação de peças. A exemplo, o coeficiente de rigidez na direção longitudinal é determinado pelo produto da densidade multiplicada pelo quadrado da velocidade da onda propagada na respectiva direção. Gonçalves e Bartholomeu (2000), em seus estudos avaliaram o desempenho do método em vigas de madeira, chegando à conclusão de que o método pode ser utilizado em madeiras, sendo este rápido e prático.

2.4 Fatores Influentes na Densidade

Calil Junior *et al.* (2003) ao citarem os fatores anatômicos que influenciam nas propriedades da madeira, também afirmam que madeiras com maior densidade básica possuem elevada relação de madeira por volume, com isso espera-se maior resistência do material. Contudo deve-se atentar para a presença de nós, resinas e extrativos na peça, pois estes, embora aumentem a densidade, não contribuem para a resistência do material.

Ballarin e Palma (2003) ao estudarem a variabilidade entre madeira juvenil e adulta de *Pinus (Pinus taeda L.)*, em relação às propriedades de resistência e densidade, confirmaram que a madeira juvenil é constituída por células com maior lúmen e parede celular menos espessa, logo apresenta menor densidade aparente (a 12% de umidade) e também, a menor resistência.

A madeira é um material higroscópico, portanto, quando há variações na umidade relativa do ar e na temperatura ambiente, ela tem seu teor de umidade alterado. Com isso, tem-se que amostras retiradas da mesma árvore podem ter diferentes massas e volumes se armazenadas em diferentes condições ambientais. Assim, surge a importância na determinação dos teores de umidade ao ser determinada a densidade da madeira (VITAL, 1984 *apud* TRUGILHO *et. al.*, 1989).

Segundo Gonzaga (2006), algumas espécies ao sofrerem secagem para teores de umidade entre 12 e 15% (equilíbrio com o ambiente) podem reduzir 50% de seu peso. Conforme Florian (2011), para algumas espécies, a secagem ao ar livre é capaz de reduzir até 400 kg.m^{-3} da madeira, o que implica na redução do custo do frete para o transporte.

A determinação do teor de umidade conforme método da ABNT NBR 7190 (1997) requer a confecção de corpos de prova que devem ser submetidos ao processo de secagem em estufa de forma a ser obtida a variação de massa (inicial e final).

O teor de umidade também pode ser estimado pelo método da resistividade. Neste método, o equipamento, que possui uma placa resistiva na parte inferior, é disposto sobre uma das faces do prisma. Não há necessidade da confecção de corpos de prova, como ilustrado na Figura 4, na qual é utilizado o equipamento MP1-E fabricado pela Merlin. O equipamento atende a faixa de densidade entre 300 e 1100 kg.m^{-3} com ajuste a cada 10 kg.m^{-3} . A faixa de profundidade de medição vai de $0,001 \text{ m}$ a $0,040 \text{ m}$, com escala de ajuste de $0,001 \text{ m}$. A faixa de medição varia de 1 a 100% de umidade do material analisado, sendo necessário o *set up* de acordo com a densidade da espécie e a profundidade de medição.



Figura 4. Medição de umidade (MP1-E, Merlin).

2.5 Densidade Estimada por Métodos de Ensaio Não Destrutivos

Nos últimos anos os métodos de Ensaios Não Destrutivos (END) estão sendo cada vez mais empregados e pesquisados. Segundo Feio e Lourenço (2005), os métodos de END podem ser divididos em dois grupos: Métodos Globais de Ensaio (GTM) e Métodos Locais de Ensaio (LTM). Os GTM englobam métodos por propagação de ondas, como a ultrassonografia, e alguns dos métodos necessitam da extração de pequenos carotes da peça, como exemplos, os métodos de Raio X e da termografia. Os LTM não necessitam da extração de corpos de prova, são aplicados diretamente na peça analisada e posteriormente seus resultados são correlacionados às propriedades da peça.

Para madeira, as propriedades mecânicas podem ser determinadas através dos métodos de propagação de ondas (ultrassom), raios X, raios beta, espectrometria no infravermelho próximo (NIRS) e termografia infravermelho (IRT). Quanto aos ensaios LTM, são realizados ensaios com os métodos do Pilodyn e do Resistógrafo, que viabilizam as aplicações em campo.

Arango e Tamayo (2008) analisaram clones de eucalipto com uso do Raio X na detecção de diferenças de densidade entre os raios da madeira. O equipamento utilizado é apresentado na Figura 5. Inicialmente os filmes utilizados na aplicação do Raio X são revelados, e através de um software específico e dos perfis radiais da madeira já conhecidos, é determinada a densidade básica pontual do material. Também é possível o uso de raios beta na observação de variação da densidade ao longo do raio da árvore, como aplicados por Harris e Birt (1972) em árvores de Pinus.



Figura 5. Equipamento para obtenção de densidade por Raios-X.

Fonte: GRECON (2013).

Hein *et al.* (2009) ao trabalharem com Eucaliptos para estimativa da densidade, citaram a NIRS como uma técnica rápida, eficiente e com capacidade de determinação da densidade básica da madeira. O coeficiente de determinação deste método com a densidade variou entre 74% e 76%. Após o descarte de *outliers*, seleção dos comprimentos de onda e a aplicação de filtro espectral obteve-se maior correlação ($R^2 = 86\%$), além da redução do erro padrão de calibração.

Inagaki *et al.* (2012) ao trabalharem com 50 árvores de Eucaliptos, também buscando a correlação entre a densidade e os resultados de NIRS, encontraram coeficiente de determinação (R^2) igual a 91%, mostrando que o método tem potencial na estimativa da densidade da madeira.

O método da termografia por infravermelho consiste na produção de uma imagem através da emissão de radiação infravermelha invisível sobre a superfície a ser analisada, é um método simples, com aplicação *in situ* e não destrutivo. Ele foi utilizado por López *et al.* (2013) em oito espécies com densidades variadas, entre 507 e 1060 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Os resultados mostraram que a velocidade ou gradiente de temperatura diminui com o aumento da densidade, ou seja, a espécie com menor densidade tem maior gradiente, portanto se esfria mais rápido.

O método do Pilodyn (Figura 6) consiste da penetração de um pino de aço na madeira. Esse pino é impulsionado por uma mola com força constante, e conhecida a profundidade de penetração, toma-se esta como inversamente proporcional à densidade da madeira. Este é um método rápido e que pode ser aplicado diretamente na peça a ser estudada. Moura e Santiago (1991) ao utilizarem o Pilodyn em árvores de Pinus, encontraram fator de determinação entre a densidade básica da madeira e a penetração do pino do equipamento de 41%.



Figura 6. Disparo e leitura com o equipamento Pilodyn.

Fonte: Louzada *et al.* (2005).

Shijun *et al.* (2012) ao estudarem a correlação entre densidade básica da madeira e os resultados de penetração do Pilodyn em 22 clones de eucaliptos, em quatro direções diferentes em cada árvore, observaram que a correlação é negativa, com coeficiente de determinação (R^2) entre 28,1 e 39,5% nos clones com casca e, R^2 entre 35,6 e 41,4 nos mesmos clones após a retirada da casca. Estudos de Louzada *et al.* (2005), ao ensaiarem 75 árvores de eucaliptos sem casca obtiveram coeficiente de determinação igual a 27%, e concluíram que por este método nem sempre a maior penetração obtida está relacionada à menor densidade do material, o que demonstra que a penetração do Pilodyn pode estar relacionada a outros fatores que, se não controlados, podem interferir na inferência da densidade.

Gouvêa *et al.* (2011) em um estudo com clones de Eucalipto analisaram correlações entre a densidade básica e resultados de métodos não destrutivos. Pela correlação com os resultados do Pilodyn obtiveram coeficiente de determinação $R^2=57,7\%$, com o resistógrafo, $R^2=74,2\%$ e com a Espectroscopia de Infravermelho Próximo (NIRS) obtiveram $R^2=84\%$. Os autores relatam que o resistógrafo (Figura 7) mostra-se mais adequado para estimar a densidade básica da madeira quando comparado ao método do Pilodyn. Eles definem o método como a penetração de uma broca especial na madeira, sendo que a broca possui diâmetro e comprimento variável. A densidade básica da madeira pode ser determinada por meio da correlação com a resistência à penetração encontrada através do equipamento.



Figura 7. Aplicação do método do resistógrafo.

Fonte: Árvores & Pessoas (2013).

Couto *et al.* (2013) ao utilizarem os métodos do resistógrafo e Pilodyn em 22 clones de *Eucalipto grandis* e 27 clones de *Eucalipto urophylla*, sendo parte deles com 42 meses e outra

parte com 54 meses, também concluíram que os resultados obtidos pelo resistógrafo apresentaram melhores correlações com a densidade básica da madeira (R^2 entre 54% e 67%) que o método do Pilodyn (R^2 entre 32% e 44%).

2.6 Esclerometria

A esclerometria (Figura 8) também é um método de ensaio não destrutivo, utilizado de forma normatizada para inspeção de peças de concreto, possibilitando avaliar a dureza superficial, bem como correlacionar os resultados dos impactos com valores estimativos de resistência à compressão do concreto. Entretanto, tal método ainda não é utilizado com esta finalidade para o material madeira.

Na ABNT NBR 7584 (1995) tem-se que:

O ensaio por esclerômetro de reflexão consiste fundamentalmente de uma massa-martelo que, impulsionada por mola, se choca através de uma haste, com ponta em forma esférica, com área de ensaio. A energia do impacto é, em parte utilizada na deformação permanente provocada na área de ensaio e, em parte, conservada elasticamente, propiciando ao fim do impacto, retorno do martelo. Quanto maior a dureza da superfície ensaiada, tanto menor a parcela de energia que se converte em deformação permanente, por conseguinte tanto maior será o recuo ou reflexão do martelo.

O denominado coeficiente de impacto esclerométrico (Q) representa a relação entre energia restituída e aplicada ao corpo (Equação 6), portanto, quanto maior a densidade do material, maior será a parcela de energia restituída e maior será o valor do impacto esclerométrico.

$$Q = \frac{E_{\text{restituída}}}{E_{\text{aplicada}}} \quad (6)$$

Onde:

Q = valor do impacto esclerométrico (%)

$E_{\text{restituída}}$ = energia restituída (J)

E_{aplicada} = energia aplicada (J)



Figura 8. Aplicação de golpe esclerométrico na madeira.

Fonte: Soriano *et al.* (2011).

Os instrumentos esclerométricos evoluíram dos modelos analógicos para os modelos digitais (Digital Silver Schmidt BN, PROCEQ, Switzerland), apresentado na Figura 9.



Figura 9. Esclerômetro de Reflexão Schmidt.

Trabalhos precursores da aplicação da esclerometria em peças de madeira foram desenvolvidos por Soriano *et al.* (2011), que ao pesquisarem um lote de *Eucalypto saligna*, descobriram que é possível a correlação entre as leituras obtidas através do esclerômetro e os resultados obtidos na resistência à compressão paralela e na resistência à compressão normal às fibras.

Na direção longitudinal, por exemplo, Soriano *et al.* (2011) obtiveram coeficiente de determinação de 92,4%, enquanto que nas direções radial e tangencial as correlações foram menos significativas. Quando comparado aos resultados do ensaio de ultrassom, também foi possível obter a correlação entre os dados obtidos pelo esclerômetro, apresentando novamente resultado mais expressivo para a direção paralela às fibras. Os autores sugeriram novas pesquisas incluindo novas espécies de madeira para essa aplicação.

No presente trabalho, que tem como objetivo a análise de correlações entre densidade e índices esclerométricos serão utilizadas três espécies de folhosas com densidades bem distintas. Os procedimentos metodológicos serão aplicados a dois grupos de cada espécie, um grupo com condição de umidade não estabilizada (umidade de pátio de madeira) e outro grupo na condição de umidade estabilizada por secagem. Os resultados obtidos nas regressões entre densidade e índices esclerométricos serão comparados aos resultados obtidos por outros métodos utilizados na estimativa ou determinação da densidade da madeira.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste item serão apresentados os materiais utilizados nesta pesquisa, e os procedimentos metodológicos seguidos, desde a aquisição da madeira na madeireira, até a obtenção de resultados dos ensaios esclerométrico e para obtenção da densidade, mostrando também como foi realizada a análise estatística dos mesmos.

3.1 Confecção dos Corpos de Prova

Para alcançar os objetivos desta pesquisa o método esclerométrico foi aplicado a três espécies de madeira com densidades bem distintas. A escolha das espécies foi baseada na disponibilidade de peças estruturais nas madeireiras da região de Campinas e nas informações de densidades a 15% de umidade, catalogadas pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA, 2012). Optou-se pelas espécies Cumaru (*Dipteryx odorata*), com densidade 1060 kg.m^{-3} ; Garapa (*Apuleia leiocarpa*) com densidade 860 kg.m^{-3} e Cedro (*Cedrela odorata*), com densidade 490 kg.m^{-3} .

Na compra da madeira, foram evitadas peças com defeitos. A ABNT NBR 7190 (1997) cita que para espécies pouco conhecidas os ensaios devem ser realizados em 12 amostras. Embora as espécies selecionadas sejam conhecidas foram escolhidas 12 pranchas distintas de cada espécie, com seção transversal medindo $0,08 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}$, e de cada uma delas foi extraída uma ponta de prancha para confecção dos prismas ensaiados.

Para a espécie Cumaru que se encontrava em pátio da madeireira por um tempo que a tornou com umidade abaixo do ponto de saturação (conforme verificação com medidor de contato), como procedimento para a coleta, as pontas foram adquiridas com comprimento de $1,00 \text{ m}$. De cada peça excluiu-se $0,40 \text{ m}$ que estava localizado na ponta da prancha para atender os procedimentos da ABNT NBR 7190 (1997) para a extração dos corpos de prova (Figura 10). Os $0,60 \text{ m}$ restantes foram cortados ao meio, formando dois corpos de prova de comprimento $0,30 \text{ m}$, cada um utilizado para uma das duas condições umidade distintas:

- Madeira Não estabilizada: Considerou-se madeira não estabilizada os 12 prismas extraídos na condição de umidade de pátio da madeireira. Esses, após processos de corte foram imediatamente embalados em sacos plásticos para manter o teor de

umidade de pátio. As peças somente foram retiradas das embalagens para os procedimentos de ensaios e de cortes.

- Madeira Estabilizada: As outras 12 peças prismáticas foram mantidas expostas para secagem natural em local coberto e, finalmente, submetidas à secagem em câmara de climatização e secagem do SENAI de Itatiba SP.

Os prismas foram sistematicamente numerados de 1 a 12, de forma a manter a origem de extração de cada prancha.

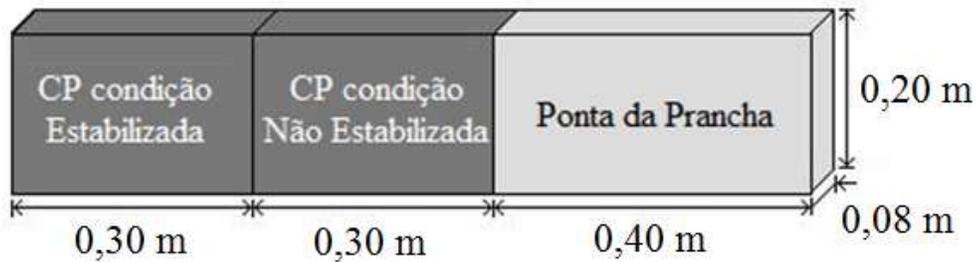


Figura 10. Esquema para a extração dos corpos de prova a partir da ponta de uma prancha para os lotes de Cumaru.

Para coleta das amostras das espécies Garapa e Cedro, procedeu-se com a escolha de 12 pranchas, para cada uma das espécies, porém, pelo fato das peças apresentarem um teor de umidade acima do ponto de saturação ($\cong 30\%$), optou-se por adquirir pontas maiores que da espécie Cumaru. De cada prancha demarcou-se uma ponta com aproximadamente 1,30 m, sendo que da parte interna (da prancha) foi extraído um prisma com 0,30 m, o qual integrou o grupo de madeira não estabilizada, sendo a partir daquele momento mantido embalado em saco plástico.

A peça restante, com 1,00 m de comprimento, foi submetida ao processo de secagem na câmara de climatização e secagem do SENAI de Itatiba SP (Figura 11). Após o processo de estabilização, foram extraídos os 12 prismas de cada espécie, que formaram o grupo de madeira na condição estabilizada. Observa-se que para essas duas espécies também foram excluídas 0,40 m da ponta da prancha e os 0,30 m restantes inutilizados (Figura 12).



Figura 11. Estabilização das peças em câmara de climatização e secagem.



Figura 12. Esquema para extração dos corpos de prova das espécies submetidas à secagem em estufa.

Depois de realizados os ensaios esclerométricos e de ultrassonografia os prismas foram embalados e encaminhados à marcenaria para a confecção dos corpos de prova para determinação do teor de umidade e da densidade aparente, de cada espécie e para cada condição de umidade (pátio e estabilizada), conforme as dimensões estipuladas pela ABNT NBR 7190 (1997), apresentadas na tabela 1.

Tabela 1. Dimensões e número de corpos de prova para cada espécie.

Ensaio	Número de Corpos de Prova		Dimensões (m)
	Não estabilizada	Estabilizada	
Densidade e Teor de Umidade	12	12	0,02 x 0,03 x 0,05
Esclerometria e Ultrassonografia	12	12	0,08 x 0,20 x 0,30

3.2 Equipamentos

Para o ensaio de esclerometria foi utilizado o esclerômetro modelo digital Silver Schmidt BN, (PROCEQ, Switzeland) e a máquina universal de ensaio modelo DL 30.000 (EMIC, Brasil).

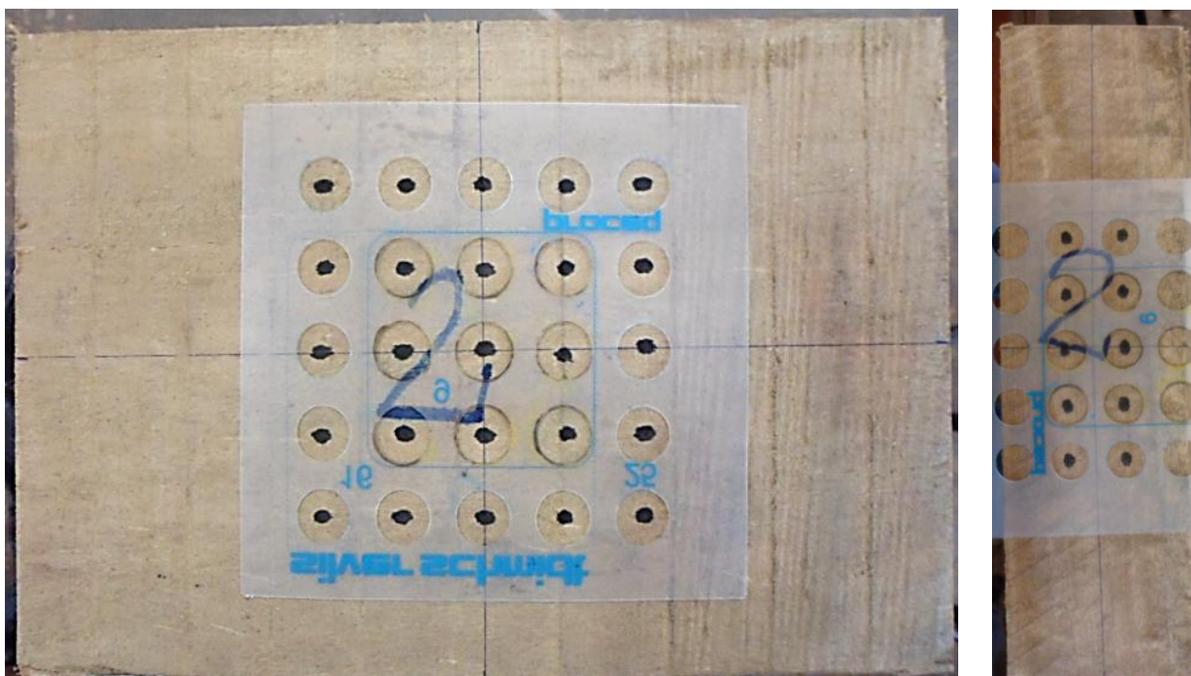
Nos ensaios de determinação da densidade e de teor de umidade foi utilizada a estufa de secagem e esterilização modelo 315 SE (Fanem, Brasil), com variação de temperatura interna entre 42 e 140 °C, e balança de precisão modelo AS 5500 (Marte, Brasil), com precisão de 0,01 g.

3.3 Preparação dos prismas para os Ensaio Esclerométrico

Confeccionados os prismas (0,08 m x 0,20 m x 0,30 m) foi realizada a numeração dos mesmos, para acompanhamento durante os ensaios. Em seguida fez-se a marcação dos pontos para aplicação dos golpes esclerométricos, que também foram utilizados para o posicionamento dos transdutores durante a leitura do tempo de propagação de ondas por ultrassonografia.

Inicialmente foram demarcadas as linhas de centro em cada uma das faces dos prismas. Em seguida, o gabarito que acompanha o esclerômetro (Figura 13a) foi posicionado sobre essas linhas, ficando assim centralizado na face, e então foi realizada a demarcação dos pontos de aplicação dos impactos esclerométricos e da ultrassonografia.

Nas faces tangenciais foram demarcados 25 pontos, com uso do mesmo gabarito (Figura 13a). Em cada uma das faces radial e longitudinal foram demarcados 10 pontos, distribuídos em duas colunas com cinco pontos cada (Figura 13b). O uso do gabarito garantiu que a distância entre os pontos fosse constante e igual a 0,025 m.



(a)

(b)

Figura 13. Posicionamento do gabarito e demarcação dos pontos na face tangencial às fibras (a) e na face transversal (b).

3.4 Ensaio Esclerométrico

Os prismas (com dimensões 0,08 m x 0,20 m x 0,30 m) receberam impactos esclerométricos nas duas faces radiais, nas duas tangenciais e nas duas longitudinais, nos pontos ilustrados na Figura 14. A ABNT NBR 7584 (1995) utilizada na metodologia de aplicação de esclerometria para determinação da dureza superficial em concreto sugere a aplicação da esclerometria em 09 a 16 pontos para análise dos seus resultados.

Optou-se, para esta pesquisa, aplicar nas direções longitudinal e tangencial os impactos esclerométricos em cinco pontos posicionados sobre a linha de eixo de cada face transversal e radial. Portanto, foram realizadas cinco medidas em cada uma das faces, totalizando 10 impactos para cada direção. Nas faces tangenciais foram aplicados nove impactos nos pontos centrais, para cada face do prisma, totalizando assim 18 impactos esclerométricos na direção radial.

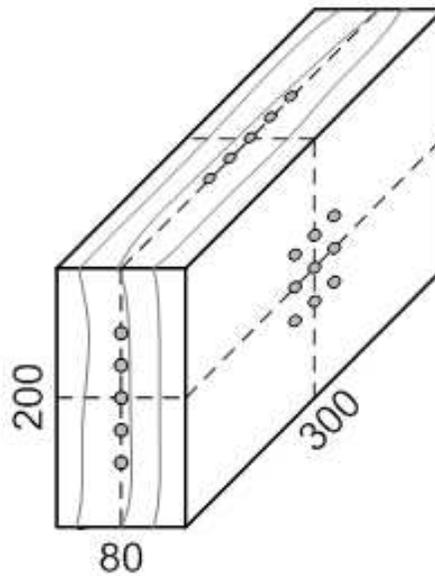


Figura 14. Pontos de Aplicação da Esclerometria.

Os índices esclerométricos foram obtidos pela média dos impactos obtidos para cada direção, por corpo de prova, através da equação 7.

$$IE_d = \frac{\sum Q_d}{n_p} \quad (7)$$

Onde:

IE_d = índice esclerométrico na direção d (adimensional);

Q_d = valores dos impactos esclerométricos, para a direção d ;

n_p = número de pontos de aplicação dos impactos esclerométricos, para a direção d .

Conforme a ABNT NBR 7584 (1995) a superfície de aplicação da esclerometria deve ser limpa e plana, superfícies irregulares levam a resultados não homogêneos. Não é permitida a aplicação de esclerometria mais que uma vez em um mesmo ponto, se isso ocorrer deve-se descartar a segunda leitura. Segundo a Norma Brasileira, é necessário impedir a movimentação do prisma durante a aplicação dos impactos esclerométricos, e para tal, os prismas foram fixados na máquina universal de ensaios, como demonstrado nas Figuras 15 e 16.



Figura 15. Método de aplicação da esclerometria na direção radial.



Figura 16. Método de aplicação da esclerometria na direção tangencial.

Soriano *et al.* (2011) sugerem que durante os ensaios esclerométricos os prismas sejam fixados em prensa hidráulica com carga estimada de 15% da correspondente resistência média à compressão normal às fibras, assegurando que o limite elástico do material não seja ultrapassado. As cargas que foram aplicadas são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Cargas de fixação do corpo de prova para aplicação da esclerometria.

Espécie	Carga (kN)
Cumaru	25,0
Garapa	20,0
Cedro	4,0

A ultrassonografia possibilitou confirmar as direções anatômicas da madeira, que foram consideradas anteriormente por inspeção visual para realização do ensaio de esclerometria. Para tal, foi utilizado o equipamento de ultrassom modelo USLab (AGRICEF, Brasil) (Figura 17), desenvolvido na Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP em parceria com a empresa AGRICEF Soluções Tecnológicas e transdutores longitudinais de 45 kHz e 80 kHz, de faces planas. Em todas as leituras, inclusive na calibração, foi utilizado o gel medicinal como acoplante, devido às suas propriedades que evitam influências nas respostas de tempo obtidas no equipamento de ultrassom.



Figura 17. Aparelho de ultrassom (USLab, AGRICEF).

3.5 Teor de umidade

A ABNT NBR 7190 (1997) define o teor de umidade como sendo a relação entre a massa da água contida na madeira pela massa seca de cada corpo de prova obtida por processo de secagem em estufa à temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ (Figura 18).



Figura 18. Corpos de prova para determinação do teor de umidade e densidade aparente.

Foram tomadas as massas iniciais de cada corpo de prova, que em seguida foram colocados na estufa. Foram realizadas medidas da massa até a diferença entre duas leituras consecutivas estar abaixo de 0,5%. Com a massa final e a massa inicial do corpo de prova, foi encontrado o teor de umidade de cada corpo de prova.

3.6 Densidade

Para a determinação da densidade aparente, em conformidade com a metodologia explicada pela ABNT NBR 7190 (1997), foram utilizados os corpos de prova prismáticos medindo 0,02 m x 0,03 m x 0,05 m utilizados na determinação do teor de umidade. A massa inicial foi dividida pelo volume inicial do corpo de prova, obtendo-se a densidade aparente do material ao dado teor de umidade.

3.7 Análise Estatística

Os dados coletados no ensaio esclerométrico foram ordenados e em seguida foi realizada a análise estatística, para a qual se utilizou o software Minitab v.14. Para todos os grupos amostrais foram avaliados diversos parâmetros, tais como: média, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria e curtose.

A fim de se verificar a existência de correlação dos resultados do método esclerométrico com a densidade da madeira foi utilizado o método de Pearson. A significância foi avaliada após a análise de normalidade dos dados, seguida pelo método t de Student, com obtenção de t, p-valor, coeficiente de correlação (r) e coeficiente de determinação (R^2) para cada correlação analisada.

Foi realizada inicialmente a análise de normalidade dos índices esclerométricos e o Teste t, para cada grupo de dados. Para tal, foram consideradas duas hipóteses, baseadas no coeficiente de correlação linear de Pearson (r):

- Hipótese Nula H_0 : $r = 0$ (não existe correlação entre os índices esclerométricos e densidade)
- Hipótese Alternativa H_1 : $r \neq 0$ (existe correlação entre os índices esclerométricos e densidade)

Pela tabela de distribuição de t (Student), com nível de significância α de 5%, e os graus de liberdade conforme o tamanho da amostra, foi determinado o valor de t crítico (t_{crit}). Para as os grupos de dados com 72 valores de índices esclerométrico, $t_{crit} = 2,0$.

Os valores do coeficiente de correlação “r” e os respectivos “p-valor” foram obtidos pela função “correlation” do programa Minitab v.14, enquanto que os valores de r^2 (coeficiente de determinação) foram obtidos graficamente no programa Microsoft Excel 2010, através da obtenção da linha de tendência quando plotados os gráficos de “densidade x índice esclerométrico”.

Em seguida foram calculados os valores de t, através da equação 8. Os resultados de r, p-valor, r^2 e t são apresentados no Anexo 3 para as três espécies.

$$t = r \times \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (8)$$

Onde:

t = t de Student (adimensional)

r = coeficiente de correlação (adimensional)

n = tamanho da amostra (adimensional)

Os grupos amostrais em que $t < t_{\text{crit}}$ demonstram que t não é significativo, comprovado pelo p-valor acima de 5% portanto, as propriedades não estão correlacionadas, ou seja, o gráfico é uma reta paralela ao eixo horizontal. Nota-se também que tais grupos apresentam coeficientes de correlação baixos ou próximos a zero, o que comprova a baixa correlação entre os fatores densidade e índice esclerométrico de tais grupos. Os resultados de tal análise (t, r, p-valor e R²) são apresentados no Anexo 3 (Tabelas A18 e A19).

Para elaboração de grupos estatisticamente diferentes ou equivalentes foram utilizados os métodos de Tukey a 95% de confiança. O método de Tukey é o mais utilizado em estudos sobre propriedades dos materiais, pois compara os dados por pares e ao ser aplicado em grupos de mesmo tamanho amostral, gera grupos diferentes estatisticamente, com exatamente 95% de confiança, ou seja, controla o nível de significância global exato (taxa de erro global, $\alpha = 0,05$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item serão apresentados os resultados dos ensaios e da análise estatística, com a discussão dos mesmos. Esses resultados serão comparados aos encontrados às pesquisas mencionadas na revisão bibliográfica.

4.1 Densidade Aparente e Teor de Umidade

A densidade aparente de cada corpo de prova e seu respectivo teor de umidade são apresentados nas Tabelas A1 a A3 do Anexo 1, conforme a espécie. Nota-se pelos agrupamentos apresentados nas Tabelas A4 e A5 que entre os dois lotes de Cumaru não houve diferença de densidade e umidade, enquanto que os lotes de Garapa e Cedro formaram grupos distintos, um grupo não estabilizado e outro estabilizado.

Na Tabela 3 são apresentadas as médias das densidades aparentes e teores de umidade dos lotes de madeira não estabilizado e estabilizado das três espécies utilizadas nesta pesquisa.

Tabela 3. Médias das densidades aparentes e dos teores de umidade das três espécies.

Espécie	Lote	ρ (kg.m ⁻³) ⁽¹⁾	DP ⁽²⁾	CV (%) ⁽³⁾	U (%) ⁽⁴⁾	DP ⁽²⁾	CV (%) ⁽³⁾
Cumaru	Não Estabilizado	1069,5	68,4	6,4	12,8	1,2	9,4
	Estabilizado	1059,8	57,9	5,5	8,5	1,1	12,9
Garapa	Não Estabilizado	1047,6	137,2	13,1	47,5	17,8	37,5
	Estabilizado	827,6	31,2	3,8	17,0	3,5	20,7
Cedro	Não Estabilizado	746,2	22,8	3,1	78,8	5,1	6,5
	Estabilizado	533,7	25,6	4,8	24,9	1,9	7,5

⁽¹⁾ Densidade aparente ⁽²⁾ Desvio Padrão ⁽³⁾ Coeficiente de Variação ⁽⁴⁾ Teor de umidade.

Nota-se que as densidades obtidas para a Garapa e o Cedro foram superiores às encontradas em IBAMA (2012), pois os teores de umidade mesmo dos lotes estabilizados estavam acima dos 15% utilizados pela literatura. A densidade do Cumarú, embora com teor de umidade abaixo dos 15% resultou próxima à densidade estipulada pela literatura.

A estabilização dos lotes foi mais eficiente para as espécies Garapa e Cumaru, pois reduziu o desvio padrão dos dois parâmetros avaliados, densidade e teor de umidade, enquanto

que, para o lote de Cedro, que se encontrava com teor de umidade muito acima da saturação das fibras, a variação aumentou.

4.2 Impactos Esclerométricos

Os impactos esclerométricos foram identificados para cada direção anatômica, ou seja, longitudinal (QL), radial (QR) e tangencial (QT), apresentados no Anexo 2, Tabelas A6 a A11, de acordo com a espécie e grupo de umidade. Nas Tabelas A12 a A17 são apresentadas também as médias por direção, que são os índices esclerométricos. As médias obtidas em cada peça do Cumaru, na condição de umidade não estabilizada, ou seja, na condição de umidade de pátio da madeireira, são apresentadas na Tabela A12. Na Tabela A13 são apresentadas as médias para os corpos de prova de Cumaru em condição de umidade estabilizada. Os valores obtidos para as outras espécies utilizadas são apresentados para a Garapa, nas Tabelas A14 e A15, e para o Cedro nas Tabelas A16 e A17.

4.3 Índices Esclerométricos

Inicialmente os índices esclerométricos foram analisados para cada espécie, para os lotes de teores de umidade distintos, separadamente. No agrupamento dos índices esclerométricos realizado pelo método de Tukey a 95% de confiança, para os dois lotes de Cumaru não houve distinção entre as três direções anatômicas da madeira, como pode ser observado nos agrupamentos apresentados nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4. Grupos de índices esclerométricos para o lote de Cumaru não estabilizado.

Direção Anatômica	NCP ⁽¹⁾	Média	Tukey ⁽²⁾
Tangencial	12	42,5	A
Radial	12	39,1	AB
Longitudinal	12	35,3	B

⁽¹⁾ Número de Corpos de Prova ⁽²⁾ Não existe diferença estatisticamente significativa entre os valores que compartilham uma mesma letra nas colunas, de acordo com o teste LSD de Tukey ao nível de 5,0% de erro.

Tabela 5. Grupos de índices esclerométricos para o lote de Cumaru estabilizado.

Direção Anatômica	NCP ⁽¹⁾	Média	Tukey ⁽²⁾
Tangencial	12	42,9	A
Longitudinal	12	37,8	B
Radial	12	37,7	B

⁽¹⁾ Número de Corpos de Prova ⁽²⁾ Não existe diferença estatisticamente significativa entre os valores que compartilham uma mesma letra nas colunas, de acordo com o teste LSD de Tukey ao nível de 5,0% de erro.

Quanto aos lotes de Garapa, tem-se que na condição não estabilizada (Tabela 6) não é possível a distinção entre as direções longitudinal e radial, ou seja, a direção paralela às fibras se confundiu com uma das direções perpendiculares às fibras. Entretanto, pelo agrupamento para a condição estabilizada, apresentado na Tabela 7, foi possível distinguir estatisticamente os resultados para as direções normal e paralela às fibras, não sendo possível distinguir a direção radial e a direção tangencial, o que de certa forma pode ser favorável para as aplicações do método, tendo em vista que nas peças das construções se torna difícil identificar com precisão essas duas direções anatômicas.

Tabela 6. Grupos de índices esclerométricos para o lote de Garapa não estabilizado.

Direção Anatômica	NCP ⁽¹⁾	Média	Tukey ⁽²⁾
Tangencial	12	36,4	A
Radial	12	33,4	AB
Longitudinal	12	30,5	B

⁽¹⁾ Número de Corpos de Prova ⁽²⁾ Não existe diferença estatisticamente significativa entre os valores que compartilham uma mesma letra nas colunas, de acordo com o teste LSD de Tukey ao nível de 5,0% de erro.

Tabela 7. Grupos de índices esclerométricos para o lote de Garapa estabilizado.

Direção Anatômica	NCP ⁽¹⁾	Média	Tukey ⁽²⁾
Tangencial	12	36,1	A
Radial	12	32,6	B
Longitudinal	12	28,5	C

⁽¹⁾ Número de Corpos de Prova ⁽²⁾ Não existe diferença estatisticamente significativa entre os valores que compartilham uma mesma letra nas colunas, de acordo com o teste LSD de Tukey ao nível de 5,0% de erro.

Para os dois lotes de cedro, que estavam com teores de umidade bem distintos, foi possível distinguir as três direções anatômicas da madeira através do método de Tukey, como pode ser observado nas Tabelas 8 e 9.

Tabela 8. Grupos de índices esclerométricos para o lote de Cedro não estabilizado.

Direção Anatômica	NCP ⁽¹⁾	Média	Tukey ⁽²⁾
Tangencial	12	29,5	A
Radial	12	27,2	A
Longitudinal	12	11,2	B

⁽¹⁾ Número de Corpos de Prova ⁽²⁾ Não existe diferença estatisticamente significativa entre os valores que compartilham uma mesma letra nas colunas, de acordo com o teste LSD de Tukey ao nível de 5,0% de erro.

Tabela 9. Grupos de índices esclerométricos para o lote de Cedro estabilizado.

Direção Anatômica	NCP ⁽¹⁾	Média	Tukey ⁽²⁾
Tangencial	12	27,6	A
Radial	12	23,9	B
Longitudinal	12	17,0	C

⁽¹⁾ Número de Corpos de Prova ⁽²⁾ Não existe diferença estatisticamente significativa entre os valores que compartilham uma mesma letra nas colunas, de acordo com o teste LSD de Tukey ao nível de 5,0% de erro.

Em seguida foram analisados os índices esclerométricos das três espécies conjuntamente, para cada condição de umidade e direção de aplicação do impacto esclerométrico (Tabelas 10 e 11). Observa-se que estatisticamente há distinção entre as direções normal e paralela às fibras apenas para a condição não estabilizada. Para a condição estabilizada a direção radial se confunde com as demais quando as espécies são unificadas.

Tabela 10. Grupos de índices esclerométricos das três espécies por direção para a condição não estabilizada.

Direção Anatômica	NCP ⁽¹⁾	Média	Tukey ⁽²⁾
Tangencial	36	36,121	A
Radial	36	33,218	A
Longitudinal	36	25,658	B

⁽¹⁾ Número de Corpos de Prova ⁽²⁾ Não existe diferença estatisticamente significativa entre os valores que compartilham uma mesma letra nas colunas, de acordo com o teste LSD de Tukey ao nível de 5,0% de erro.

Tabela 11. Grupos de índices esclerométricos das três espécies por direção para a condição estabilizada.

Direção Anatômica	NCP ⁽¹⁾	Média	Tukey ⁽²⁾
Tangencial	36	35,536	A
Radial	36	31,406	AB
Longitudinal	36	27,766	B

⁽¹⁾ Número de Corpos de Prova ⁽²⁾ Não existe diferença estatisticamente significativa entre os valores que compartilham uma mesma letra nas colunas, de acordo com o teste LSD de Tukey ao nível de 5,0% de erro.

4.4 Correlações entre a Densidade e Índices Esclerométricos

Para serem geradas as correlações entre densidade e índices esclerométricos foram plotados os gráficos com as três espécies com as condições de umidade de madeira não estabilizada e de madeira estabilizada, para cada uma das direções anatômicas Longitudinal, Radial e Tangencial (Figuras 19 a 21). Cada ponto representa o índice esclerométrico de um prisma (os quais são apresentados nas Tabelas A12 a A17) *versus* densidade.

A análise dos resultados obtidos em grupos com diferentes teores de umidade mostra que para as três direções analisadas, os coeficientes de correlação determinados para os lotes de madeira estabilizada foram superiores àqueles obtidos para os lotes de madeira não estabilizada. Em média, os coeficientes de determinação (R^2) obtidos para os lotes de madeira estabilizada foram 14% superiores aos coeficientes obtidos para a condição de madeira não estabilizada na direção longitudinal, 20% na direção radial e 32% superiores para a direção tangencial.

Ao serem analisados os coeficientes de determinação numa mesma condição de umidade, para a condição não estabilizada se observa que, para uma mesma regressão, o valor do coeficiente de determinação é crescente conforme as direções anatômicas da madeira na seguinte ordem: tangencial, radial e longitudinal. Entretanto, para a condição estabilizada, a ordem é alterada para: radial, tangencial e longitudinal. Portanto, os índices esclerométricos obtidos pelo ensaio na direção longitudinal são aqueles que apresentam maior correlação com a densidade da madeira, independente da forma de regressão aplicada e da condição de umidade utilizada.

Os resultados da análise estatística dos ensaios de esclerometria são apresentados no Anexo 3. A Tabela A18 se refere à análise realizada com os valores de impactos esclerométricos correlacionados à densidade, por espécies. A Tabela A19 foi obtida através da análise estatística realizada quando os índices esclerométricos foram correlacionados à densidade apenas com divisão por teor de umidade, com todas as espécies formando dois grupos, com 36 indivíduos, um grupo de madeira não estabilizada, e o outro grupo de madeira estabilizada.

Para a condição de madeira não estabilizada, a melhor correlação resultou na direção longitudinal, com R^2 igual a 80,6%, apresentado na Tabela 12. Entre as direções normais às fibras, apresentadas nas Tabelas 13 e 14, a direção radial apresentou melhores correlações, com coeficiente de determinação 70,6% para o modelo linear. Os menores coeficientes de correlação foram obtidos para a direção tangencial, com R^2 entre 65,1 e 67,3% para os modelos gerados. Quanto à condição de madeira estabilizada, novamente a direção longitudinal apresentou os maiores valores de R^2 , variando entre 89,6 e 94,3% (Tabela 12).

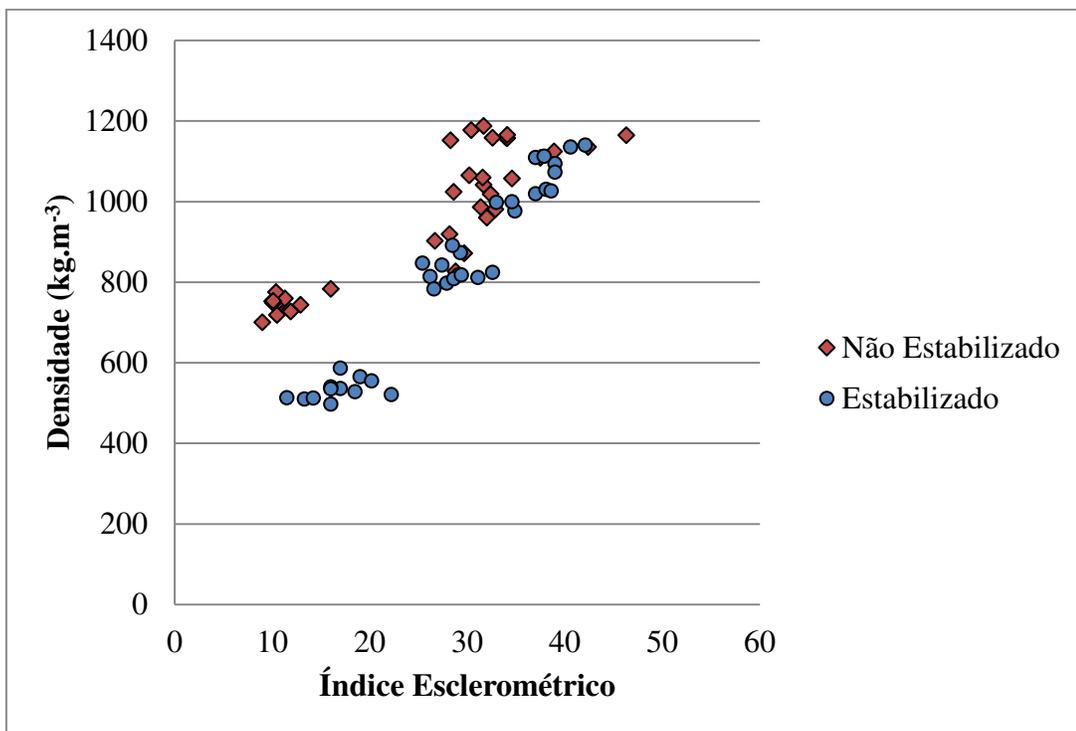


Figura 19. Densidade *versus* índice esclerométrico na direção longitudinal.

Tabela 12. Equações de correlação entre os índices esclerométricos obtidos para a direção longitudinal e a densidade.

Tipo de Regressão	Condição de Umidade	
	Não Estabilizado	Estabilizado
Linear	$d = 14,02 IE_L + 594,35$ $R^2 = 80,60$	$d = 24,00 IE_L + 140,33$ $R^2 = 94,11$
Logarítmica	$d = 290,21 \ln (IE_L) - 47,34$ $R^2 = 79,89$	$d = 582,73 \ln (IE_L) - 1096,1$ $R^2 = 89,65$
Exponencial	$d = 633,13 e^{0,0153 IE_L}$ $R^2 = 83,18$	$d = 324,47 e^{0,0314 IE_L}$ $R^2 = 93,37$
Potencial	$d = 346,48 IE_L^{0,3189}$ $R^2 = 83,21$	$d = 62,31 IE_L^{0,7721}$ $R^2 = 91,38$
Polinomial de 2ª Ordem	$d = 0,1177 IE_L^2 + 19,647 IE_L + 541,57$ $R^2 = 81,06$	$d = 0,1537 IE_L^2 + 15,677 IE_L + 240,95$ $R^2 = 94,34$

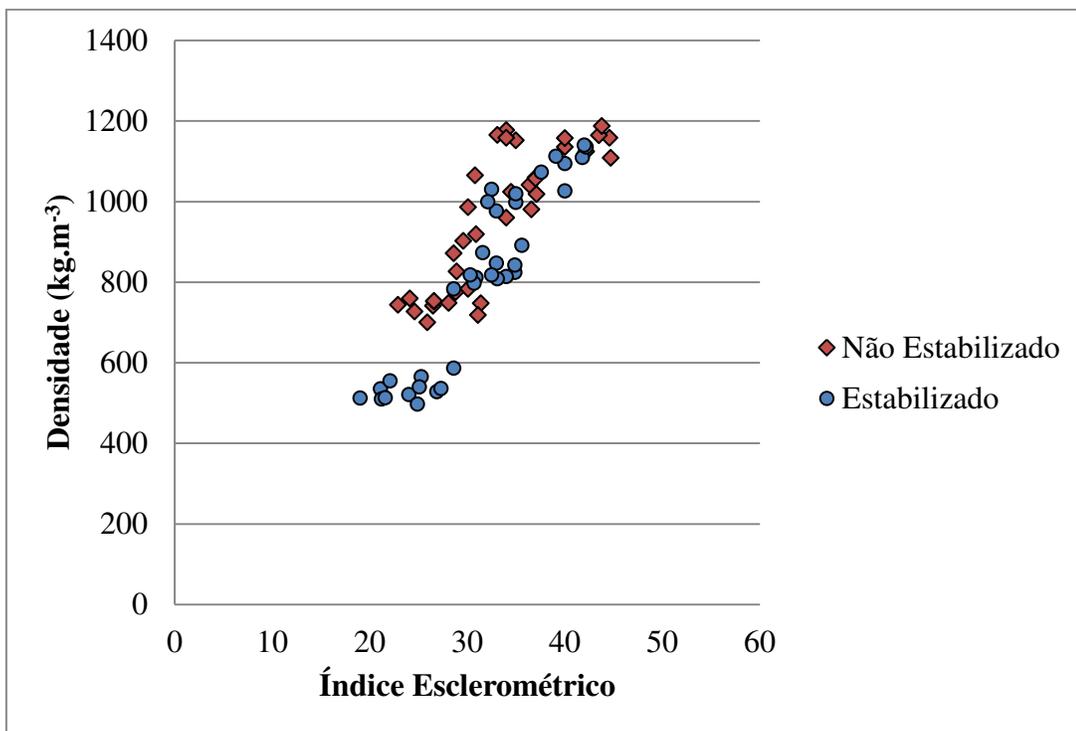


Figura 20. Densidade *versus* índice esclerométrico na direção radial.

Tabela 13. Equações de correlação entre os índices esclerométricos obtidos para a direção radial e a densidade.

Tipo de Regressão	Condição de Umidade	
	Não Estabilizado	Estabilizado
Linear	$d = 23,27 IE_R + 169,71$ $R^2 = 70,59$	$d = 31,87 IE_R - 193,86$ $R^2 = 86,49$
Logarítmica	$d = 797,15 \ln (IE_R) - 1824,7$ $R^2 = 72,42$	$d = 940,13 \ln (IE_R) - 2412,9$ $R^2 = 84,47$
Exponencial	$d = 404,71 e^{0,0253 IE_R}$ $R^2 = 70,00$	$d = 209,24 e^{0,0417 IE_R}$ $R^2 = 86,05$
Potencial	$d = 47,28 IE_R^{0,8572}$ $R^2 = 72,23$	$d = 11,02 IE_R^{1,2419}$ $R^2 = 85,58$
Polinomial de 2ª Ordem	$d = -0,7867 IE_R^2 + 77,462 IE_R - 721,55$ $R^2 = 73,61$	$d = 0,1324 IE_R^2 + 23,661 IE_R - 72,081$ $R^2 = 86,56$

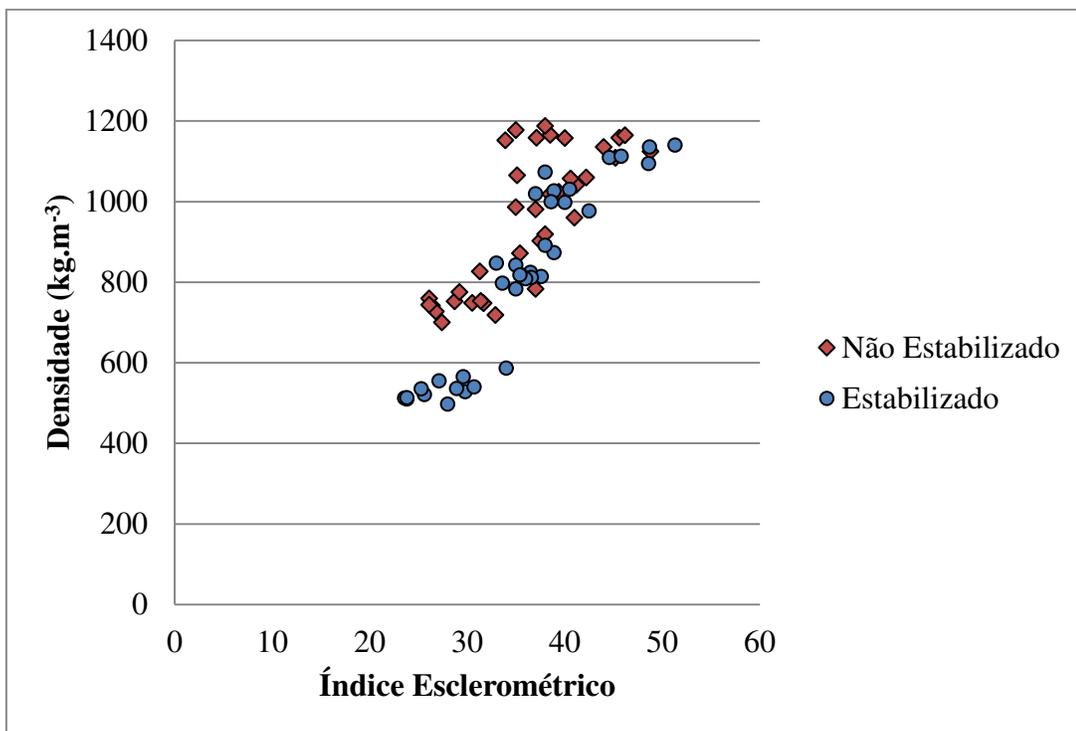


Figura 21. Densidade *versus* índice esclerométrico na direção tangencial.

Tabela 14. Equações de correlação entre os índices esclerométricos obtidos para a direção tangencial e a densidade.

Tipo de Regressão	Condição de Umidade	
	Não Estabilizado	Estabilizado
Linear	$d = 22,37 IE_T + 146,01$ $R^2 = 63,73$	$d = 28,57 IE_T - 208,75$ $R^2 = 86,58$
Logarítmica	$d = 797,89 \ln (IE_T) - 1896,3$ $R^2 = 65,12$	$d = 990,96 \ln (IE_T) - 2711,1$ $R^2 = 86,54$
Exponencial	$d = 388,24 e^{0,0244 IE_T}$ $R^2 = 65,57$	$d = 207,09 e^{0,0371 IE_T}$ $R^2 = 84,96$
Potencial	$d = 41,46 IE_T^{0,8732}$ $R^2 = 67,28$	$d = 7,62 IE_T^{1,3019}$ $R^2 = 86,73$
Polinomial de 2ª Ordem	$d = -0,6102 IE_T^2 + 66,532 IE_T - 630,45$ $R^2 = 65,83$	$d = -0,2823 IE_T^2 + 48,968 IE_T - 562,64$ $R^2 = 87,23$

Finalmente foram analisados os índices esclerométricos para as espécies e condições de umidade em uma única análise, para cada direção anatômica. Com isso, notou-se que para as espécies Cumaru e Garapa os valores de índices esclerométricos obtidos para a direção longitudinal às fibras são estatisticamente semelhantes entre os lotes de diferentes teores de umidade, apenas para os lotes de Cedro os valores se diferem, como apresentado na Tabela 15.

Tabela 15. Agrupamentos dos valores médios dos índices esclerométricos obtidos na direção longitudinal.

Espécie	Condição de Umidade	NCP ⁽¹⁾	Média	DP ⁽²⁾	CV (%) ⁽³⁾	Tukey ⁽⁴⁾
Cumaru	Estabilizada	12	37,8	2,5	6,54	A
Cumaru	Não Estabilizada	12	35,3	5,1	14,34	A
Garapa	Não Estabilizada	12	30,5	2,3	7,72	B
Garapa	Estabilizada	12	28,5	2,0	7,10	B
Cedro	Estabilizada	12	17,0	3,0	17,58	C
Cedro	Não Estabilizada	12	11,2	1,7	15,74	D

⁽¹⁾ Número de Corpos de Prova ⁽²⁾ Desvio Padrão ⁽³⁾ Coeficiente de Variação ⁽⁴⁾ Não existe diferença estatisticamente significativa entre os valores que compartilham uma mesma letra nas colunas, de acordo com o teste LSD de Tukey ao nível de 5,0% de erro.

Quanto às direções perpendiculares às fibras da madeira, os agrupamentos foram realizados separadamente para a direção radial e para a direção tangencial, os resultados encontram-se nas Tabelas 16 e 17.

Tabela 16. Agrupamentos dos índices esclerométricos obtidos na direção radial.

Espécie	Condição de Umidade	NCP ⁽¹⁾	Média	DP ⁽²⁾	CV (%) ⁽³⁾	Tukey ⁽⁴⁾
Cumaru	Não Estabilizada	12	39,1	3,8	9,69	A
Cumaru	Estabilizada	12	37,7	3,8	10,07	A
Garapa	Não Estabilizada	12	33,4	4,7	14,09	B
Garapa	Estabilizada	12	32,6	2,2	6,83	B
Cedro	Não Estabilizada	12	27,2	2,7	10,05	C
Cedro	Estabilizada	12	23,9	2,9	12,27	C

⁽¹⁾ Número de Corpos de Prova ⁽²⁾ Desvio Padrão ⁽³⁾ Coeficiente de Variação ⁽⁴⁾ Não existe diferença estatisticamente significativa entre os valores que compartilham uma mesma letra nas colunas, de acordo com o teste LSD de Tukey ao nível de 5,0% de erro.

Pelo método de Tukey a 95% de confiança, nota-se que para as duas direções foram obtidos grupos distintos para cada espécie, entretanto, pela esclerometria não foi possível distinguir os teores de umidade dos lotes.

Tabela 17. Agrupamentos dos índices esclerométricos obtidos na direção tangencial.

Espécie	Condição de Umidade	NCP ⁽¹⁾	Média	DP ⁽²⁾	CV (%) ⁽³⁾	Tukey ⁽⁴⁾
Cumaru	Estabilizada	12	42,9	4,7	10,94	A
Cumaru	Não Estabilizada	12	42,5	3,5	8,14	A
Garapa	Não Estabilizada	12	36,4	2,5	6,78	B
Garapa	Estabilizada	12	36,1	1,6	4,50	B
Cedro	Não Estabilizada	12	29,5	3,3	11,35	C
Cedro	Estabilizada	12	27,6	3,4	12,20	C

⁽¹⁾ Número de Corpos de Prova ⁽²⁾ Desvio Padrão ⁽³⁾ Coeficiente de Variação ⁽⁴⁾ Não existe diferença estatisticamente significativa entre os valores que compartilham uma mesma letra nas colunas, de acordo com o teste LSD de Tukey ao nível de 5,0% de erro.

Devido à não distinção nos teores de umidade, os lotes foram reagrupados, gerando apenas um grupo com 72 corpos de prova. As densidades dos 72 corpos de prova foram correlacionadas aos índices esclerométricos obtidos por regressão linear, para cada direção anatômica da madeira. De cada regressão foram obtidos a média e desvio padrão, e a normalidade dos dados foi constatada por assimetria e curtose após a retirada de *outliers*, como apresentado na Tabela 18.

Tabela 18. Média dos índices esclerométricos (IE) das três espécies e normalidade dos dados para as direções longitudinal (L), radial (R) e tangencial (T) após a retirada de *outliers*.

	Direção Anatômica		
	Longitudinal	Radial	Tangencial
NCP	69	61	57
Média	26,7	32,6	36,0
Desvio Padrão	10,2	6,7	6,9
Z _{assimetria}	-1,12	-0,06	-0,28
Z _{curtose}	-1,86	-1,32	-1,16
p-Valor	0,005	0,638	0,179

Pela regressão linear a melhor correlação entre índices esclerométricos e a densidade da madeira foi obtida para a direção radial, com coeficiente de determinação 87,4% após a retirada de *outliers*, como apresentado na Tabela 19. Esse resultado opõe-se ao encontrado na correlação feita entre índices esclerométricos e a resistência da madeira, por Soriano *et al.* (2011), na qual a melhor correlação foi obtida para a direção longitudinal (paralela às fibras).

Entretanto, os coeficientes de determinação obtidos nesta pesquisa para as direções normais às fibras superaram os coeficientes encontrados em estudos onde outros métodos não destrutivos foram correlacionados à densidade. Como exemplo, para o método do Pilodyn, as maiores correlações encontradas, com base na revisão bibliográfica, foram obtidas por Moura e Santiago (1991), Gouvêa *et al.* (2011) e por Shijun *et al.* (2012), todos obtiveram R² inferiores a 60,0%. Utilizando-se o Resistógrafo para determinação da densidade básica de madeira, Couto *et al.* (2013) obtiveram coeficientes de determinação entre 54,0 e 67,0%, e Gouvêa *et al.* (2011) obtiveram R²=74,2%.

Os coeficientes de determinação se aproximam daqueles obtidos nas correlações entre densidade básica da madeira e resultados da Espectroscopia de Infravermelho Próximo (NIRS), por Hein *et al.* (2009), que obtiveram R² entre 72,2 e 88,4% e Gouvêa *et al.* (2011), que obtiveram 84%.

Tabela 19. Equações de Correlação entre Densidade e Índices Esclerométricos sem distinção do teor de umidade.

Regressão	Longitudinal	Radial	Tangencial
Linear	$d = 17,0 IE_L + 426,32$	$d = 29,1 IE_R - 58,3$	$d = 26,4 IE_T - 65,6$
R² (%)⁽¹⁾	65,7	76,1	69,8
p-Valor	0,000	0,000	0,000
Erro	124,5	103,8	116,7
Linear	$d = 16,6 IE_L + 433,0$	$d = 27,3 IE_R - 11,9$	$d = 24,4 IE_T - 2,8$
R² (%)⁽¹⁾	69,1	87,4	86,4
p-Valor	0,000	0,000	0,000
Erro	115,1	69,9	67,5
N_{outliers}	3	11	15

(1) Coeficiente de Determinação

Com a finalidade de obter melhores correlações, foram geradas correlações da densidade aos valores de índices esclerométricos e dos teores de umidade, com o grupo formado pelas três espécies, nas duas condições de umidade, portanto, 72 indivíduos. Para as três direções anatômicas os coeficientes de determinação se elevaram, principalmente para a direção longitudinal, que aumentou 36% ao se considerar o teor de umidade na regressão.

Tais correlações levaram a coeficientes de correlação superiores a 0,94 ($R^2=88,7\%$) após a retirada de *outliers*, como apresentado na Tabela 20. Estes resultados foram superiores aos encontrados por Inagaki *et al.* (2012), que obtiveram coeficiente de determinação 91,0% ao correlacionar a densidade da madeira a resultados obtidos por NIRS.

Para este caso, a direção longitudinal apresentou o maior coeficiente de determinação quando comparada às direções normais às fibras, assim como o estudo apresentado por Soriano *et al.* (2011), no qual a melhor correlação entre índices esclerométricos e a resistência da madeira foi obtida para a direção paralela às fibras da madeira.

Tabela 20. Estimativa da Densidade em função dos Índices Esclerométricos e do teor de umidade.

Direção Anatômica			
Regressão	Longitudinal*	Radial*	Tangencial*
Linear	$d = 18,2 + 5,25 U + 26,1 IE_L$	$d = -159 + 1,25 U + 31,0 IE_R$	$d = -318 + 2,49 U + 31,2 IE_T$
R² (%)⁽¹⁾	88,4	78,2	76,8
p-Valor	0,000	0,000	0,000
Erro	72,8	100,0	103,1
Linear	$d = 10,6 + 5,55 U + 26,1 IE_L$	$d = -59 + 0,57 U + 28,2 IE_R$	$d = -250 + 1,90 U + 29,8 IE_T$
R² (%)⁽¹⁾	94,2	89,1	88,7
p-Valor	0,000	0,000	0,000
Erro	48,6	66,3	67,2
N_{outliers}	15	13	13

(1) Coeficiente de Determinação

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento desta pesquisa permitiu concluir que:

- A esclerometria pode ser utilizada na predição da densidade de madeira, com as vantagens de ser um método não destrutivo e aplicável em campo;
- A análise das correlações nos grupos com distintos teores de umidade mostrou que a correlação entre índices esclerométricos e a densidade é mais representativa para a condição estabilizada, entretanto, o método esclerométrico não é capaz de distinguir teor de umidade de lotes diferentes para uma mesma espécie.
- Quanto às direções ensaiadas, a direção radial foi aquela que apresentou maior correlação entre os índices esclerométricos e a densidade, com 84,7% dos dados representados pelo modelo linear.
- A inclusão do teor de umidade na regressão elevou os coeficientes de determinação, melhorando o modelo a ser utilizado na estimativa da densidade em campo de modo não destrutivo.

5.1 Sugestões para Pesquisas Futuras

É sugerida a complementação da pesquisa com a expansão do número de espécies, bem como a geração de novos estudos das relações de índices esclerométricos com outras propriedades da madeira.

Sugere-se também ampliar o estudo para elementos estruturais, como por exemplo, a aplicação de impactos esclerométricos em vigas e colunas de madeira em utilização, e na análise de degradação dos materiais.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARANGO, B.; TAMAYO, L. Densidad de la madera em clones de *Eucalyptus* por Densitometria de Rayos X. **Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia**, n. 45, p. 87-99, 2008.

ARVORES E PESSOAS. **Cosultoria**. 2013. Disponível em <http://www.arvores-e-pessoas.pt/home/index.php?option=com_content&view=article&id=66&Itemid=82>. Acessado em 12/11/2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, RJ: **ABNT**, 1997. 107 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7584**: Concreto Endurecido – Avaliação da Dureza Superficial pelo Esclerômetro de Reflexão. Rio de Janeiro, RJ: **ABNT**, 1995. 219 p.

BALLARIN, A. W.; PALMA, H. A. L. Propriedades de Resistência e Rigidez da Madeira Juvenil e Adulta de *Pinus taeda* l. **Revista Árvore**, Viçosa - MG, v. 27, n. 3, p. 371-380, 2003.

BUCUR, V. Acoustics of Wood. 2^a ed. **Springer Series in Wood Science**, v. 1431, n. 8563, 393 p., 2006 *apud* BUCUR V. Wood structural anisotropy estimated by invariants. **International Association of Wood Anatomists**. Bulletin, p. 67–74, 1988.

CALIL JUNIOR, C. ; DIAS, A. A. Utilização da Madeira em Construções Rurais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, São Carlos, SP, n.01, p.71-77, 1997.

CALIL JUNIOR, C. ; DIAS, A. A; GÓES, J. L. N.; CHEUNG, A. B.; STAMATO, G. C.; PIGOZZO, J. C.; OKIMOTO, F. S.; LOGSDON, N. B.; BRAZOLIN, S.; LANA, E. L. **Manual de Projeto e Construção de Pontes de Madeira**. São Carlos, SP: Suprema, 2006. 252p.

CALIL JUNIOR, C.; LAHR, F. A. R.; DIAS, A. A. **Dimensionamento de Elementos Estruturais de Madeira**. Barueri, SP: *Manole*, 2003. 152 p.

COLENCI, R. A.; BALLARIN, A. W. Utilização de Dureza Brinell na Avaliação de Resistência Mecânica de Madeira. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, SP, v. 23, n. 2., p. 88-99. 2008.

CONSELHO NACIONAL DE TRANSITO. **RESOLUÇÃO Nº 211**: Requisitos necessários à circulação de Combinações de Veículos de Carga – CVC. 2006. Disponível em <<http://www.denatran.gov.br/download/Consolidadas/cons211.pdf>> Acessado em 12/11/2013.

COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; NEVES, T. A.; PROTÁSIO, T. P.; SÁ, V. A. Modeling of basic density of wood from *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus urophyll* using nondestructive methods. **Cerne** [online], vol.19, n.1, pp. 27-34, 2013. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-77602013000100004&script=sci_arttext>. Acessado em 10/11/2013.

FEIO, A. O.; LOURENÇO, P. B. Possibilidades e aplicações de ensaios não destrutivos. In: ENCONTRO SOBRE A MADEIRA E SUAS APLICAÇÕES NOBRES BEM UTILIZAR A MADEIRA, 1., 2005, Lisboa. **Anais...** Lisboa: ISISE, 2005. Disponível em <http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/4894/1/Feio_Lourenco_CN%28CE%29_2005.pdf>. Acessado em 10/12/2013.

FLORIAN, ALEXANDRE. Razões para secar a madeira. **Revista da Madeira**. Ed. 126, 2011. Disponível em <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.phpnum=1513&subject=Secagem&title=Raz%F5es%20para%20secar%20%20_madeira>. Acessado em 28/08/2012.

FOELKEL, CELSO. Madeira do Eucalipto: da Floresta ao Digestor. **Boletim Informativo I Congresso Brasileiro Sobre a Qualidade da Madeira**, v.6, n.20, Piracicaba, SP, 1978.

GONÇALVES, R.; BARTHOLOMEU, A. Avaliação do Desempenho de Ensaio Não Destrutivo em Vigas de Madeira de *Eucalyptus citriodora* e *Pinus elliottii*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.4, n.2, p.269-274, 2000.

GONZAGA, A.L. Madeira: Uso e Conservação. **IPHAN/MONUMENTA – Cadernos Técnicos**. Brasília, DF, v.6. 246 p. 2006.

GOUVÊA, A. F. G.; TRUGILHO, P. F.; GOMIDE, J.L.; SILVA, J.R.M. DA; ANDRADE, C.R.; ALVES, I.C.N. Determinação da Densidade Básica da Madeira de *Eucalyptus* por Diferentes Métodos Não destrutivos. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.35, n.2, p.349-358, 2011.

GRECON. **Controlo de Perfil de Densidade em Bruto com o Analisador de Laboratório de Densidade**. 2013. Disponível em <<http://www.grecon.com/pt/dax-5000>>. Acessado em 10/12/2013

HARRIS, J. M.; BIRT, D. V. Use of Beta Rays for Early Assessment of Wood Density Development in Provenance Trials. **Silvae Genetica**, v.21, p.21-25, 1972.

HEIN, P. R. G.; CAMPOS, A. C. M.; TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; CHAIX, G. Near Infrared Spectroscopy for Estimating Wood Basic Density in *Eucalyptus urophylla* and *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, v. 15, n. 2, p. 133-141, 2009.

HOLMBERG, H. Influence of grain angle on Brinell hardness of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). **Holz als Roh- und Werkstoff**. v. 58, Issue 1-2 , p. 91-95. 2000. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1007/s001070050392>>. Acessado em 03/08/2012.

INAGAKI, T.; SCHWANNINGER, M.; KATO, R.; KURATA, Y.; THANAPASE, W.; PUTHSON, P.; TSUCHIKAWA, S. *Eucalyptus camaldulensis* density and fiber length estimated by near-infrared spectroscopy **Wood Science Technology**, v. 46, p. 143-155, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Madeiras Brasileiras**. Disponível em <<http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira/pesquisa.php?idioma=portugues>> Acessado em 30/06/2012.

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. **Circular Técnica nº 68: A Utilização da Madeira na Produção de Celulose**. Piracicaba, SP: ESALQ/USP, 12p., 1979. Disponível em <<http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr068.pdf>> Acessado em 17/09/2013.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO **Catálogo de Madeiras Brasileiras Para a Construção Civil**. 2013. Disponível em: <http://www.sindimasp.org.br/conteudo/download/catalogo_madeiras.pdf> Acessado em 12/11/2013.

LAHR, F. A. R.; CHAHUD, E.; FERNANDES, R. A.; TEIXEIRA, R. S. Influência da Densidade na Dureza Paralela e na Dureza Normal às Fibras para Algumas Espécies Tropicais Brasileiras. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, v. 38, n. 86, p. 153-158, 2010.

LOBÃO, M. S.; LÚCIA, R. M. D.; MOREIRA, M. S. S.; GOMES, A. Caracterização das Propriedades Físico-Mecânicas da Madeira de Eucalipto com Diferentes Densidades. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.28, n.6, p.889-894, 2004.

LÓPEZ, G.; BASTERRA, L. A.; ACUNA, L. Estimation of Wood Density using infrared thermography. **Construction and Building Materials**, v. 42, p. 29-32, 2013.

LOUZADA, J.L.; GASPAR, M.J.; BENTO, E.M. Uso do Pilodyn para a estimativa da densidade da madeira de *Eucalyptus nitens*. **A Floresta e as Gentes. 5º Congresso Florestal Nacional** Ed. R.S.a.F. Sociedade Portuguesa de Ciências Florestais, Viseu, Portugal, p. 209, 2005. Disponível em <http://www.cifap.utad.pt/Pilodyn_Dens_Euc_nitens.pdf>. Acessado em 26/08/2011.

MOURA, V. P. G.; SANTIAGO, J. **Densidade Básica da Madeira de Espécies de Pinus Tropicais Determinada Através de Métodos Não-Destrutivos**. Planaltina, DF: EMBRAPA CPAC, 14p., 1991.

PANORAMIO. **Photos of the world**. 2013. Disponível em <<http://www.panoramio.com/>> Acessado em 20/11/2013.

PROCEQ©. **Manual de Operação Silver-Schmidt**. Switzerland: PROCEQ SA, 2007.

QUEIROZ, S. C. S., GOMIDE, J. L., COLODETTE, J. L., & OLIVEIRA, R. D. Influência da densidade básica na qualidade da polpa Kraft de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. **Revista Árvore**, v.28, n.6, p.901-909, 2004.

SHIJUN, W.; JIANMIN, X.; GUANGYOU, L.; VUOKKO, R.; ZHAOHUA, L.; BAOQI L.; WEI, W. Use of the Pilodyn for Assessing Wood Properties in Standing Trees of Eucalyptus Clones. **New Advances and Contributions to Forestry Research**. 2012. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/new-advances-and-contributions-to-forestry-research/use-of-the-pilodyn-for-assessing-wood-properties-in-standing-trees-of-eucalyptus-clones>> Acessado em 12/11/2013.

SILVA, J. C. **Parâmetros da Densidade na Qualidade da Madeira**. Piracicaba, SP: ESALQ, 1984. 82 p. *apud* TRUGUILHO, P. F.; Lima, J. T.; Mendes, L. M. Comparação de Métodos de Determinação da Densidade Básica em Madeira. IN: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 3., 1989, São Carlos, SP. *Anais...* São Carlos, SP: USP, 1989. p. 163-179.

SILVENNOINEN, R.; PALVIAINEN, J.; KELLOMAKI, S.; PELTOLA, H.; SAUVALA, K. Detection of Wood Density by Using a DOE Sensor. **Wood Science and Technology**, v. 36, p. 157-162, 2002.

SORIANO, J.; GONÇALVES, R.; TRINCA, A. J.; VEIGA, N. S.; MARTINS, I. Z. Esclerometer Test Methods for Estimating the Density of Wood. IN: 18th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium. Set 2013, Madison-WI-USA. *Anais...* Madison-WI-USA, 2013.

SORIANO, J.; GONÇALVES, R.; BERTOLDO, C.; TRINCA, A.J.; RUY, M. Prospecção do índice esclerométrico considerando as direções anatômicas da madeira. IN: 1º Congresso Ibero-LatinoAmericano da Madeira na Construção (CIMAD), 7-9/06/2011, Coimbra, Portugal, 2011. *Anais...* Coimbra, Portugal, 2011.

SORIANO, J.; GONÇALVES, R.; BERTOLDO, C.; TRINCA, A.J. Aplicações do Método de Ensaio Esclerométrico em Peças de *Eucalipto saligna*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.3, p.322-328, Campina Grande, PB, 2011.

TIMBER RESEARCH AND DEVELOPMENT ASSOCIATION. **Testing Structural Timber**. 2013. Disponível em < <http://www.tradatechnology.co.uk/structural-timber/testing-of-structural-timber> > Acessado em 18/11/2013.

TRAMASUL. **Cercas**. 2013. Disponível em <[http://www.tramasul.com.br/institucional =3.php](http://www.tramasul.com.br/institucional=3.php)>
Acessado em 20/11/2013.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, FOREST SERVICE, Forest Products Laboratory, USDA, **Wood handbook - Wood as an engineering material**. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI, 508 p. 2010.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da Densidade de Madeira**. SIF. Viçosa, 1984, 21 p. *apud* TRUGUILHO, P. F.; Lima, J. T.; Mendes, L. M. Comparação de Métodos de Determinação da Densidade Básica em Madeira. IN: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 3., 1989, São Carlos, SP. *Anais...* São Carlos, SP: USP, p. 163-179, 1989.

ANEXOS

ANEXO 1 – DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE

Tabela A1. Valores de densidade e teor de umidade para os dois lotes de Cumaru.

CP	Não Estabilizado		Estabilizado	
	Densidade (kg.m ⁻³)	Teor de Umidade (%)	Densidade (kg.m ⁻³)	Teor de Umidade (%)
1	1109	13,3	1101	8,9
2	1135	12,7	1095	7,1
3	1042	11,1	998	8,8
4	980	12,9	1019	8,8
5	1125	11,2	1136	7,4
6	1159	12,3	1112	7,2
7	1024	14,5	1031	9,7
8	1059	12,9	1027	9,2
9	1057	12,9	1073	10
10	961	11,4	976	9,1
11	1165	14,3	1140	6,8
12	1018	14,4	999	9,2
Média	1069	12,8	1060	8,5
DP*	68,4	1,19	57,9	1,09
CV**	6,4	9,30	5,5	12,82

* Desvio Padrão, ** Coeficiente de Variação (%)

Tabela A2. Valores de densidade e teor de umidade para os dois lotes de Garapa.

CP	Não Estabilizado		Estabilizado	
	Densidade (kg.m ⁻³)	Teor de Umidade (%)	Densidade (kg.m ⁻³)	Teor de Umidade (%)
1	1157	69,2	824	17,9
2	903	28,1	815	14,8
3	826	19,9	811	12,9
4	919	31,6	798	13,9
5	872	25	818	14,2
6	986	41,2	783	15,1
7	1177	65	847	17,2
8	1153	68,5	809	18,6
9	1165	50	873	17,8
10	1159	51,8	843	18,1
11	1066	57	818	16,8
12	1187	62,3	892	26,4
Média	1048	47,5	828	17,0
DP*	137,2	17,81	31,2	3,52
CV**	13,1	37,52	3,8	20,74

* Desvio Padrão

** Coeficiente de Variação (%)

Tabela A3. Valores de densidade e teor de umidade para os dois lotes de Cedro.

CP	Não Estabilizado		Estabilizado	
	Densidade (kg.m ⁻³)	Teor de Umidade (%)	Densidade (kg.m ⁻³)	Teor de Umidade (%)
1	741	74,1	521	23,4
2	753	87,6	498	21,7
3	748	77,9	529	26,6
4	759	72,1	566	25,8
5	784	75,4	586	28,1
6	776	76,5	536	26,6
7	749	74,7	541	24,6
8	728	78,3	535	23,1
9	744	79,7	555	26,8
10	753	78,3	510	24,5
11	701	87,8	512	24,5
12	719	83,9	514	23
Média	746	78,9	534	24,9
DP*	22,3	5,11	25,6	1,91
CV**	3,1	6,48	4,8	7,68

* Desvio Padrão

** Coeficiente de Variação (%)

Tabela A4. Agrupamentos por densidade para as três espécies estudadas.

Espécie	Teor de Umidade	NCP	Média (%)	Tukey*
Cumaru	Não Estabilizado	12	1069,52	A
Cumaru	Estabilizado	12	1059,78	A
Garapa	Não Estabilizado	12	1047,64	A
Garapa	Estabilizado	12	827,64	B
Cedro	Não Estabilizado	12	746,18	B
Cedro	Estabilizado	12	533,70	C

*Não existe diferença estatisticamente significativa entre os valores que compartilham uma mesma letra nas colunas, de acordo com o teste LSD de Tukey ao nível de 5,0% de erro.

Tabela A5. Agrupamentos por teor de umidade para as três espécies estudadas.

Espécie	Teor de Umidade	NCP	Média (%)	Tukey*
Cedro	Não Estabilizado	12	78,85	A
Garapa	Não Estabilizado	12	47,46	B
Cedro	Estabilizado	12	24,91	C
Garapa	Estabilizado	12	16,99	CD
Cumaru	Não Estabilizado	12	12,83	D
Cumaru	Estabilizado	12	8,51	D

*Não existe diferença estatisticamente significativa entre os valores que compartilham uma mesma letra nas colunas, de acordo com o teste LSD de Tukey ao nível de 5,0% de erro.

ANEXO 2 – DADOS DA ESCLEROMETRIA

Tabela A6. Valores obtidos nos impactos esclerométricos (Q) aplicados ao lote de Cumaru Não Estabilizado.

Direção	Corpo de Prova											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Longitudinal (QL)	34,0	41,0	31,0	34,5	41,5	38,5	31,5	32,5	43,0	32,0	47,5	38,0
	31,5	34,0	29,0	30,5	36,5	42,5	31,0	30,0	29,5	33,0	53,5	30,5
	36,0	42,0	28,0	35,0	40,5	27,0	24,0	37,0	38,0	36,5	50,5	32,5
	44,5	46,5	29,0	35,0	45,0	32,0	30,5	30,5	30,5	31,0	46,5	30,5
	44,5	43,5	31,0	35,5	39,0	25,0	28,0	34,0	34,0	32,5	47,0	28,0
	42,5	43,0	31,5	32,0	35,0	41,0	32,5	29,0	37,0	33,0	47,0	36,0
	31,5	44,5	33,5	31,5	38,0	29,0	27,5	28,0	35,5	31,5	49,5	27,0
	33,0	47,0	33,5	26,0	32,0	36,5	31,0	29,0	34,5	33,5	36,5	34,5
	31,0	41,5	33,5	33,5	37,0	33,0	28,5	28,0	35,5	35,0	35,0	32,5
46,5	40,5	37,0	35,0	44,5	38,0	21,5	37,5	28,5	29,5	49,5	34,0	
Radial (QR)	44,0	35,0	40,5	32,0	34,0	43,0	35,0	35,0	34,5	37,5	42,5	32,5
	43,0	37,5	42,0	30,0	35,0	46,5	27,0	30,0	32,0	35,5	50,5	35,5
	35,5	38,0	39,5	36,5	45,0	50,0	33,0	24,5	36,0	28,0	44,5	36,5
	47,0	39,5	31,5	27,0	45,5	48,5	38,0	35,0	43,0	32,5	48,5	35,0
	47,5	35,0	43,0	33,5	40,5	46,5	37,0	38,5	41,0	39,5	41,5	41,5
	43,0	36,0	40,0	32,5	38,5	48,0	38,0	44,5	36,5	44,0	46,0	33,5
	47,5	42,0	30,0	34,5	37,0	42,5	32,5	33,5	35,5	43,0	47,0	42,5
	45,0	39,5	41,0	23,5	35,0	44,5	42,5	42,5	41,5	45,0	44,5	36,0
	46,5	39,0	39,5	30,0	37,0	46,0	40,0	44,5	32,5	34,5	46,0	32,5
	46,5	50,0	35,5	42,0	47,0	47,0	31,5	34,5	39,0	30,0	44,0	35,0
	49,0	39,0	31,5	42,0	50,0	41,5	33,5	39,0	40,5	35,5	36,5	42,5
	38,0	44,5	34,5	48,0	41,0	40,5	37,5	37,0	39,0	39,5	46,5	40,5
	43,5	43,0	42,5	38,5	49,5	41,0	35,5	44,5	32,0	29,5	36,5	40,5
	47,5	46,0	41,0	44,5	46,0	44,0	27,0	35,0	33,5	31,0	37,0	45,5
	46,0	39,5	40,0	45,0	43,0	49,5	29,5	33,5	41,0	33,5	46,5	35,5
47,5	36,5	30,0	40,5	50,5	39,5	34,5	37,5	39,5	24,5	45,5	34,5	
40,0	44,5	25,5	36,5	39,0	37,5	32,5	43,0	35,0	31,5	36,5	31,5	
48,0	40,5	27,0	43,0	46,0	46,0	36,0	33,5	38,0	30,5	42,5	37,5	
Tangencial (QT)	48,5	41,0	40,5	47,0	44,0	42,0	46,5	46,4	32,5	39,5	41,0	41,0
	52,5	46,0	42,0	42,5	44,0	44,5	46,0	46,5	38,5	35,5	41,0	42,0
	42,5	51,0	44,5	43,0	45,0	47,5	43,0	41,0	35,0	45,5	47,5	32,5
	44,5	42,0	44,0	39,5	44,0	40,0	34,0	43,0	36,5	36,5	45,0	39,5
	42,0	51,5	48,5	43,0	54,0	39,0	36,0	39,5	44,0	41,5	41,5	43,0
	51,0	46,5	38,0	34,5	47,0	43,0	37,5	44,5	42,5	38,5	47,0	41,0
	41,0	35,0	38,0	29,0	51,0	52,5	39,5	33,0	43,5	44,5	50,5	37,0
	43,5	40,5	37,0	30,0	48,0	54,0	41,0	44,5	44,5	44,5	44,5	37,0
	43,0	44,0	39,5	31,5	58,5	53,0	32,0	46,0	40,0	43,0	51,5	35,0
	43,0	42,5	39,5	33,0	52,0	40,0	38,5	37,5	49,0	41,0	52,0	37,0

Tabela A7. Valores obtidos nos impactos esclerométricos (Q) aplicados ao lote de Cumaru Estabilizado.

Direção	Corpo de Prova											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Longitudinal (QL)	38,5	45,0	39,0	37,0	38,0	43,5	35,0	39,0	36,5	38,5	36,0	30,5
	39,5	30,0	32,5	25,0	38,0	30,5	41,5	34,5	37,0	38,0	42,0	33,0
	36,5	40,5	39,5	43,0	37,0	35,0	43,0	41,0	39,5	30,5	40,0	32,0
	30,5	46,5	29,0	33,5	42,0	40,5	39,5	31,0	40,5	31,0	47,0	31,0
	38,5	35,0	28,0	43,5	33,0	31,0	36,0	39,5	35,0	37,0	33,0	43,0
	41,0	34,5	30,5	38,5	39,0	32,0	33,0	35,0	44,5	29,5	45,0	34,5
	41,0	36,5	39,0	37,5	43,5	40,5	30,5	39,5	33,0	41,5	47,0	35,0
	32,0	39,0	31,5	28,5	45,5	34,5	40,5	40,0	41,5	33,5	45,5	36,0
	32,0	41,5	33,5	45,5	43,0	43,0	41,5	40,0	41,0	40,5	44,5	37,5
40,5	44,0	34,0	44,5	46,5	48,5	40,0	46,5	43,0	29,0	41,0	33,5	
Radial (QR)	35,5	39,5	33,0	33,0	47,5	47,0	29,5	42,5	36,0	34,5	48,0	41,5
	42,0	39,5	30,5	24,5	36,5	45,0	25,0	35,5	35,0	25,5	46,0	43,5
	35,0	34,0	39,0	36,5	45,5	46,5	36,0	45,0	42,0	35,5	45,5	32,5
	42,0	32,5	32,0	34,5	47,5	30,5	30,5	34,0	38,0	36,5	40,5	28,5
	46,0	33,5	42,0	31,5	35,5	38,5	37,0	44,5	33,0	45,5	38,5	30,5
	37,5	34,0	30,5	37,5	37,0	34,0	34,5	37,0	35,5	39,0	45,0	35,0
	37,5	39,0	43,5	34,5	30,5	35,0	39,0	42,5	39,0	34,0	51,0	39,0
	45,0	41,5	33,0	46,5	36,5	37,0	39,5	44,0	33,5	38,5	38,0	33,0
	47,5	41,5	38,0	35,5	37,5	44,0	32,5	35,0	32,5	37,5	48,0	37,0
	49,0	42,5	22,0	47,0	39,0	34,0	33,0	36,0	36,5	36,0	37,5	32,5
	38,0	46,0	31,5	37,5	45,5	36,0	29,5	42,5	36,0	27,5	36,5	30,0
	45,0	43,0	34,0	42,5	42,0	39,5	38,5	36,0	36,5	32,5	34,0	26,5
	46,0	44,0	37,5	41,0	46,5	42,5	27,0	37,5	41,0	34,0	40,0	28,5
	43,5	40,5	35,0	32,5	51,5	39,0	32,0	42,5	46,5	29,0	34,5	22,5
	44,0	38,5	26,0	34,5	48,5	34,5	32,5	38,5	44,0	38,5	44,5	22,5
40,5	43,5	48,0	34,0	43,5	45,0	28,5	39,0	36,5	26,0	42,0	33,5	
41,5	47,5	38,5	28,5	46,0	36,0	29,0	48,0	36,5	20,5	43,0	31,5	
37,5	42,5	42,0	33,5	43,5	40,0	31,5	43,0	39,5	26,5	43,0	29,5	
Tangencial (QT)	43,5	50,0	38,0	40,5	46,5	43,5	42,0	38,5	36,0	38,5	49,0	32,0
	46,0	46,0	42,0	39,0	54,0	45,5	43,0	40,5	35,0	45,0	52,5	35,5
	48,5	48,0	37,5	43,5	49,5	47,5	35,5	38,0	41,0	37,0	52,0	38,5
	52,0	46,0	39,0	45,0	43,0	47,0	47,0	36,5	33,5	35,0	55,0	36,5
	40,0	53,0	35,0	44,0	53,0	49,0	48,0	42,0	48,0	47,0	53,0	37,0
	43,0	51,5	35,5	33,5	44,5	48,0	36,0	35,0	37,5	45,0	43,0	37,0
	45,5	52,5	36,5	29,0	50,0	39,5	39,5	45,5	39,0	46,5	46,0	38,5
	36,5	53,0	43,0	35,0	53,5	40,5	32,0	43,0	37,5	46,5	49,5	46,0
	43,5	44,5	46,5	30,0	53,0	48,0	42,5	35,5	35,0	41,5	54,5	44,0
47,5	41,5	50,0	38,0	39,5	49,0	39,0	34,5	39,5	42,5	58,0	41,0	

Tabela A8. Valores obtidos nos impactos esclerométricos (Q) aplicados ao lote de Garapa Não Estabilizado.

Direção	Corpo de Prova											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Longitudinal (QL)	38,0	30,0	27,5	32,0	25,5	32,0	25,0	28,5	29,5	30,5	35,5	29,5
	38,0	29,0	32,5	30,0	31,0	25,5	28,0	24,5	31,0	31,0	35,0	31,0
	35,5	26,0	30,0	32,0	33,0	29,0	40,0	23,5	30,0	35,5	33,5	32,5
	31,5	30,5	33,0	20,0	25,0	31,0	29,5	26,5	35,0	34,0	25,0	37,5
	31,0	25,5	32,5	27,0	33,5	36,0	29,5	29,0	35,5	27,5	27,5	29,5
	35,0	25,5	27,5	31,5	32,0	31,5	28,0	29,5	34,0	37,0	30,5	31,0
	34,0	25,5	27,5	28,5	30,5	32,5	31,0	26,5	34,0	31,5	29,0	28,5
	31,5	25,5	25,0	35,0	27,0	30,5	31,5	32,0	35,0	36,0	28,0	32,5
	32,5	25,0	22,0	25,5	26,0	34,0	31,0	25,0	37,5	35,5	26,0	36,5
	34,0	24,5	30,0	20,0	33,5	31,5	30,5	37,5	39,0	27,5	32,0	28,5
Radial (QR)	44,5	33,5	24,0	32,0	24,0	29,5	34,5	35,0	31,0	38,5	27,5	42,5
	43,5	32,5	31,0	35,0	28,5	28,0	28,0	28,0	32,0	44,5	36,5	48,5
	46,5	27,5	33,5	33,5	31,0	29,0	37,0	31,0	34,5	44,0	30,5	42,0
	39,0	28,5	30,0	28,5	32,5	24,5	30,5	34,5	26,0	40,5	33,0	41,0
	32,5	28,5	25,5	33,0	34,0	23,5	31,5	45,0	28,0	34,5	38,0	47,5
	37,5	32,5	25,5	25,0	31,0	30,0	33,5	40,5	30,0	35,5	37,0	46,0
	39,5	34,5	27,0	30,0	31,0	28,0	30,5	38,0	27,5	33,5	34,5	50,0
	33,0	34,5	34,5	32,5	34,0	25,0	32,0	36,0	30,0	33,0	28,5	52,0
	41,5	30,5	36,5	34,5	31,5	32,5	43,5	40,0	26,0	31,5	36,0	48,5
	40,5	28,0	29,5	33,5	28,0	27,0	36,5	39,5	34,0	29,5	29,0	42,5
	41,5	24,5	24,0	30,5	21,0	32,5	32,0	27,5	41,5	35,5	26,0	42,0
	43,5	30,0	29,5	31,5	24,0	31,5	30,5	39,0	43,5	30,5	28,5	40,5
	39,0	24,5	28,0	32,5	26,0	36,5	38,5	36,0	32,0	37,0	30,5	40,5
	39,5	25,0	30,5	29,0	25,0	38,0	28,0	24,0	30,0	33,5	25,0	45,5
	41,0	28,0	21,0	26,5	28,0	36,5	31,0	36,5	34,5	27,0	26,0	39,0
38,5	30,5	30,0	32,5	27,5	31,0	44,0	34,0	42,0	32,5	25,5	44,0	
41,5	28,0	30,5	32,0	33,5	30,5	40,0	35,0	33,0	35,5	31,5	37,5	
42,5	32,5	30,5	25,0	25,0	29,0	34,0	31,0	41,0	30,5	30,5	39,5	
Tangencial (QT)	40,0	33,5	27,0	40,5	42,0	31,0	38,0	33,0	41,5	37,5	37,5	46,0
	44,0	38,5	32,0	32,5	41,5	32,5	42,5	31,5	45,0	40,0	35,0	43,0
	43,0	36,5	27,5	41,0	41,0	39,0	35,0	37,5	41,0	32,5	32,0	42,5
	42,5	40,0	27,0	33,0	34,0	32,5	32,5	35,0	38,0	37,5	43,0	47,5
	43,0	35,5	35,0	38,5	38,5	36,5	35,5	39,0	40,0	39,0	36,5	45,5
	40,0	41,5	29,5	41,0	27,0	38,0	31,0	32,0	40,5	31,5	31,0	33,0
	36,5	44,0	32,0	43,5	34,0	36,5	34,0	33,0	31,5	41,0	30,5	29,0
	39,5	36,0	37,0	36,5	27,5	34,0	39,0	31,5	32,0	41,5	36,5	29,0
	38,0	37,0	30,5	32,5	34,5	34,0	32,0	36,0	39,0	39,0	33,0	40,5
	35,5	32,5	35,0	43,5	33,5	37,5	37,5	30,5	36,0	31,5	35,5	31,5

Tabela A9. Valores obtidos nos impactos esclerométricos (Q) aplicados ao lote de Garapa Estabilizado.

Direção	Corpo de Prova											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Longitudinal (QL)	32,2	28,7	33,2	31,7	23,3	33,2	22,8	25,7	24,3	22,3	34,7	30,2
	35,1	24,3	32,7	30,2	28,7	31,2	22,3	27,2	22,8	24,3	31,2	27,7
	33,2	24,3	22,3	23,3	27,7	32,7	31,7	26,7	35,1	28,7	20,8	26,2
	32,7	25,7	30,2	25,2	30,2	24,8	25,2	21,3	32,2	20,3	21,8	22,8
	36,1	28,7	27,2	25,7	35,6	27,2	21,8	30,7	31,7	26,7	27,2	34,7
	31,2	24,8	32,7	30,2	32,7	25,7	21,8	34,7	28,7	23,8	35,1	29,7
	34,7	22,8	35,1	24,3	24,8	22,3	27,7	33,2	23,8	36,6	21,3	26,7
	32,2	29,7	34,7	22,3	25,2	20,3	23,3	28,2	28,7	33,2	31,7	31,7
	32,7	25,2	27,7	31,2	26,7	22,3	22,8	28,2	34,7	23,8	34,7	23,3
	25,7	28,2	35,1	34,7	35,6	26,2	34,7	30,2	31,2	34,7	35,1	31,7
Radial (QR)	34,2	40,6	34,7	34,2	26,2	36,1	26,7	27,7	35,1	30,2	32,2	35,1
	26,7	30,7	37,1	34,2	34,2	32,7	32,7	32,7	33,2	32,2	35,6	34,2
	36,6	28,2	32,2	34,7	27,2	37,1	24,3	33,7	38,1	35,6	28,2	39,6
	34,7	27,7	28,7	28,7	25,7	24,8	36,1	30,2	23,3	28,2	33,2	37,6
	41,6	33,7	28,7	32,2	31,7	32,2	37,6	33,2	31,7	30,7	27,7	31,2
	35,1	41,1	28,2	34,2	33,2	25,7	35,6	33,7	25,7	40,6	37,1	37,1
	33,7	36,1	26,7	40,1	29,2	29,2	37,6	40,1	21,8	39,1	29,2	40,6
	30,7	33,2	38,6	32,7	37,1	25,7	33,2	36,1	30,2	42,1	32,2	40,6
	38,6	32,2	26,7	30,2	27,7	26,7	34,7	41,1	31,7	34,7	35,1	40,6
	34,7	41,6	24,3	27,7	31,2	31,7	34,7	27,2	30,7	41,1	38,6	40,1
	31,2	26,2	30,7	26,2	28,7	21,3	31,7	32,2	36,6	31,7	36,6	38,1
	42,6	29,2	32,2	26,2	31,7	36,6	40,6	34,2	36,6	39,6	32,7	28,7
	35,6	36,6	36,6	29,2	25,7	23,8	36,6	32,2	33,7	35,6	27,7	30,2
	35,6	40,6	24,3	27,7	25,7	27,2	30,2	32,2	31,7	36,6	35,1	36,1
	28,7	33,7	33,7	25,2	24,8	25,2	37,6	26,2	36,6	30,2	26,2	24,8
39,6	39,1	36,6	32,7	37,1	26,2	30,7	29,7	23,3	34,2	35,1	36,6	
30,7	42,1	24,3	27,2	35,1	25,7	31,7	36,6	31,2	38,1	33,2	29,7	
37,1	33,2	31,7	29,7	33,7	25,7	34,7	36,1	37,1	28,2	29,7	39,1	
Tangencial (QT)	42,6	42,6	33,2	38,1	33,2	33,2	36,6	37,6	42,1	36,1	40,6	37,6
	32,7	42,1	31,7	39,6	35,1	36,1	40,1	31,7	42,6	38,1	32,2	30,7
	35,1	33,2	32,2	42,6	34,7	33,7	31,7	38,6	42,1	34,2	40,6	33,2
	31,7	38,1	34,2	29,7	32,2	37,1	34,2	35,6	41,6	40,1	38,1	40,1
	29,2	37,1	38,1	29,7	33,2	30,7	29,7	33,2	42,6	32,7	34,2	40,1
	38,6	35,1	46,5	38,1	40,6	39,6	21,3	30,7	34,7	35,6	39,6	42,1
	38,6	32,7	39,6	30,7	29,7	31,2	37,6	40,1	36,1	37,6	30,2	35,6
	37,1	40,1	38,6	33,2	39,6	31,2	36,6	35,6	36,1	37,1	33,7	40,6
	46,0	37,6	32,7	27,2	39,1	39,6	36,1	35,1	31,2	36,1	29,7	41,1
	33,2	37,1	39,1	27,2	37,6	39,6	33,2	41,6	40,1	30,2	35,1	42,1

Tabela A10. Valores obtidos nos impactos esclerométricos (Q) aplicados ao lote de Cedro Não Estabilizado.

Direção	Corpo de Prova											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Longitudinal (QL)	10,5	11,0	11,0	10,5	12,0	8,0	12,5	20,0	10,5	9,0	10,0	10,0
	8,5	10,5	9,0	9,5	10,0	10,0	9,0	11,0	11,5	8,0	8,5	13,0
	9,0	8,0	10,5	20,0	12,0	11,0	9,5	9,5	11,0	10,0	8,0	10,0
	9,5	10,0	10,5	10,5	12,0	9,0	10,5	10,0	10,0	10,0	10,0	10,5
	11,0	11,5	10,0	11,0	45,5	14,5	10,0	10,0	9,5	10,5	10,5	10,5
	13,0	10,0	10,0	10,5	11,5	8,5	13,0	11,0	14,0	9,5	10,0	10,0
	16,5	10,0	9,5	11,5	11,5	13,0	8,5	9,0	19,0	10,0	9,0	8,0
	8,5	8,0	10,5	10,0	11,0	9,5	9,0	17,0	12,5	13,0	10,0	11,0
	10,0	10,5	12,0	10,5	13,0	10,5	9,5	11,0	11,5	11,5	11,0	11,0
9,5	12,5	11,5	9,0	21,5	9,5	9,5	10,0	19,5	9,5	10,5	11,0	
Radial (QR)	21,0	29,5	27,0	17,0	24,5	20,5	33,5	25,5	19,0	19,0	23,0	32,0
	26,0	25,5	34,5	22,0	26,5	25,0	23,5	24,5	21,0	21,0	25,5	29,5
	30,0	30,0	27,5	17,5	30,5	29,0	29,5	24,5	20,5	21,0	26,0	32,0
	24,0	25,0	42,5	24,0	30,5	24,5	32,5	24,0	19,5	28,0	24,0	28,5
	30,5	31,5	26,0	27,5	30,5	33,5	32,0	27,5	27,0	31,0	38,5	29,5
	28,5	23,0	24,5	16,5	28,5	29,0	33,0	25,0	19,5	30,5	31,5	32,0
	30,0	21,5	27,0	23,0	20,5	33,0	30,5	20,0	28,5	32,0	34,5	29,0
	37,0	26,0	21,0	24,5	24,5	30,0	24,0	21,5	27,5	31,0	25,5	30,5
	30,5	19,5	27,5	25,0	26,5	31,5	21,5	18,0	22,5	25,0	29,5	26,5
	28,5	29,5	28,0	32,5	39,0	27,5	27,5	32,0	20,5	29,5	24,0	32,0
	28,0	23,0	20,0	20,5	35,0	31,5	23,5	28,5	22,5	27,0	23,0	37,5
	28,5	24,0	22,0	24,5	30,0	23,5	30,0	26,5	23,0	25,5	19,5	37,0
	19,0	23,0	30,5	24,0	26,0	27,5	22,0	27,0	22,5	21,0	21,0	34,0
	19,0	26,5	63,5	28,5	40,5	32,5	30,5	27,0	23,0	31,5	22,5	34,0
	23,5	30,5	50,0	18,5	38,0	25,0	30,5	17,0	31,0	28,5	26,0	23,0
27,0	31,0	37,0	34,0	34,5	32,0	23,0	27,0	25,5	26,5	29,5	32,0	
22,0	26,5	32,0	25,0	26,5	35,0	34,0	29,0	18,5	28,0	18,5	33,5	
24,5	34,0	25,0	29,5	29,5	27,5	24,5	19,0	21,5	22,0	23,5	27,0	
Tangencial (QT)	26,0	32,5	30,0	33,0	35,0	24,0	25,0	27,5	27,5	30,0	27,5	34,5
	27,0	25,5	31,0	22,5	39,5	34,5	30,0	23,5	23,5	33,0	30,5	31,5
	5,5	25,5	29,0	28,0	43,5	33,0	30,5	30,5	27,5	31,5	22,5	30,0
	33,5	25,5	34,0	22,5	39,0	35,5	29,5	30,0	21,0	36,5	23,5	40,0
	27,5	25,0	29,0	21,0	43,5	30,5	26,0	29,0	24,0	28,5	28,0	30,0
	35,0	32,0	34,5	28,5	34,5	29,0	37,5	23,5	25,5	29,0	25,0	27,5
	24,0	34,5	33,0	30,0	27,0	29,0	35,5	20,5	23,0	33,5	26,5	35,0
	23,5	35,0	34,0	24,5	37,5	22,0	28,0	32,5	27,5	30,5	36,0	33,0
	30,0	23,5	33,0	21,5	39,0	24,5	31,5	27,0	27,0	28,5	27,5	30,0
32,0	28,0	29,5	29,0	31,5	29,5	31,0	24,0	34,0	33,0	26,5	37,5	

Tabela A11. Valores obtidos nos impactos esclerométricos (Q) aplicados ao lote de Cedro Estabilizado.

Direção	Corpo de Prova											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Longitudinal (QL)	20,3	13,9	20,3	14,4	15,8	20,3	21,3	21,8	19,8	14,9	17,3	11,9
	25,7	19,3	17,8	15,8	16,8	15,8	16,3	17,8	17,8	17,8	9,9	10,9
	27,2	11,9	21,3	19,8	18,8	15,3	14,4	17,3	27,2	15,3	11,4	12,9
	24,8	21,8	19,8	22,8	15,8	19,8	18,3	20,8	22,8	11,9	15,3	11,4
	20,8	20,8	20,3	22,8	16,3	14,9	17,8	14,9	15,8	16,8	11,4	10,9
	23,3	18,8	13,9	16,3	13,9	22,3	14,4	17,3	23,8	11,4	18,8	10,9
	24,3	19,3	16,3	21,8	17,8	17,3	16,8	13,9	22,8	11,9	15,3	9,4
	17,3	11,4	14,9	20,3	23,8	15,8	13,9	12,4	18,3	10,4	19,3	10,4
	21,8	9,4	20,8	20,8	19,3	24,3	14,9	12,9	17,8	10,9	11,9	12,4
	16,8	17,3	19,8	16,3	20,8	13,4	13,4	19,8	15,3	11,4	11,4	14,4
Radial (QR)	26,2	29,2	26,2	30,7	29,7	22,3	20,8	27,7	26,2	27,7	13,4	17,3
	25,2	22,3	31,7	25,7	34,2	30,7	24,8	29,2	23,8	19,3	12,9	22,3
	32,7	26,2	31,2	19,8	31,2	32,2	21,3	28,7	18,8	26,7	24,3	19,8
	21,3	28,7	29,2	28,2	24,3	19,3	27,7	23,8	23,8	32,2	26,2	19,8
	17,8	29,7	31,2	16,8	24,3	30,2	24,8	25,7	26,2	16,3	16,3	27,7
	23,8	23,3	28,2	30,7	24,8	20,8	30,7	20,3	19,3	19,3	23,3	14,9
	27,7	22,3	22,8	20,8	27,2	24,8	30,2	12,9	11,4	19,3	31,7	23,8
	28,7	24,8	17,8	19,3	35,1	29,2	31,2	27,2	23,3	22,3	27,2	17,3
	23,3	31,7	28,7	21,3	30,7	19,3	26,2	26,2	24,3	25,2	15,8	21,3
	26,2	26,2	22,3	29,2	24,3	21,3	22,3	13,4	25,7	22,3	9,9	18,3
Tangencial (QT)	17,3	19,8	31,7	29,2	37,6	33,7	21,8	21,3	18,8	22,3	17,3	24,3
	25,7	23,3	25,7	31,7	29,7	31,2	19,3	25,2	22,3	23,3	11,4	23,3
	31,2	21,8	18,8	23,8	30,7	31,2	23,3	21,3	24,3	14,9	17,3	22,8
	16,3	22,8	28,2	29,2	23,8	32,2	21,8	8,9	14,4	18,8	19,8	20,8
	18,8	20,3	23,3	25,2	24,8	33,2	28,7	11,9	26,2	29,7	12,9	23,3
	25,7	23,8	30,2	19,8	23,8	26,2	26,7	12,4	27,7	15,3	19,8	24,3
	19,8	27,2	28,2	26,2	32,7	22,3	29,7	24,8	24,3	15,8	22,3	25,2
	24,8	24,3	28,2	28,2	25,7	32,2	20,8	19,3	17,3	10,4	20,8	21,8
	31,7	28,2	32,2	35,6	36,1	26,2	32,7	25,2	28,7	34,2	19,3	15,3
	27,7	26,2	24,8	26,2	33,7	25,7	30,2	27,7	31,7	28,7	19,8	17,3

Tabela A12. Índices esclerométricos obtidos nas três direções estudadas do Cumaru, em condição de umidade não estabilizada.

CP	Longitudinal			Radial			Tangencial		
	IE _L	DP*	CV**	IE _R	DP*	CV**	IE _T	DP*	CV**
1	37,5	6,26	16,70	44,7	3,71	8,29	45,2	4,03	8,92
2	42,4	3,67	8,66	40,3	4,06	10,07	44,0	4,99	11,34
3	31,7	2,73	8,61	36,4	5,73	15,75	41,2	3,61	8,76
4	32,9	2,96	9,02	36,6	6,79	18,53	37,3	6,44	17,26
5	38,9	4,09	10,53	42,2	5,46	12,95	48,8	4,98	10,23
6	34,3	5,99	17,49	44,6	3,60	8,07	45,6	5,81	12,75
7	28,6	3,53	12,33	34,5	4,17	12,09	39,4	4,82	12,24
8	31,6	3,55	11,27	37,0	5,43	14,69	42,2	4,44	10,52
9	34,6	4,34	12,56	37,2	3,52	9,47	40,6	5,03	12,39
10	32,8	1,99	6,07	34,7	5,75	16,57	41,0	3,46	8,45
11	46,3	5,93	12,81	43,5	4,33	9,95	46,2	4,26	9,22
12	32,4	3,45	10,66	37,1	4,06	10,94	38,5	3,35	8,70

* Desvio Padrão ** Coeficiente de Variação (%)

Tabela A13. Índices esclerométricos obtidos nas três direções estudadas do Cumaru, em condição de umidade estabilizada.

CP	Longitudinal			Radial			Tangencial		
	IE _L	DP*	CV**	IE _R	DP*	CV**	IE _T	DP*	CV**
1	37,0	4,05	10,94	41,8	4,24	10,13	44,6	4,38	9,83
2	39,3	5,26	13,39	40,2	4,34	10,81	48,6	4,02	8,27
3	33,7	4,23	12,57	35,3	6,42	18,18	40,3	4,98	12,35
4	37,7	6,94	18,43	35,8	5,69	15,87	37,8	5,74	15,19
5	40,6	4,24	10,45	42,2	5,67	13,43	48,7	5,06	10,39
6	37,9	6,15	16,23	39,1	4,92	12,58	45,8	3,46	7,56
7	38,1	4,17	10,95	32,5	4,22	12,97	40,5	5,07	12,54
8	38,6	4,23	10,97	40,2	4,13	10,29	38,9	3,73	9,60
9	39,2	3,67	9,37	37,6	3,77	10,02	38,2	4,14	10,85
10	34,9	4,74	13,59	33,2	6,20	18,71	42,5	4,32	10,18
11	42,1	4,71	11,18	42,0	4,87	11,61	51,3	4,46	8,70
12	34,6	3,67	10,61	32,1	5,72	17,84	38,6	4,12	10,66

* Desvio Padrão ** Coeficiente de Variação (%)

Tabela A14. Índices esclerométricos obtidos nas três direções estudadas da Garapa, em condição de umidade não estabilizada.

CP	Longitudinal			Radial			Tangencial		
	IE _L	DP*	CV**	IE _R	DP*	CV**	IE _T	DP*	CV**
1	34,1	2,56	7,50	40,3	3,57	8,85	40,2	2,92	7,26
2	26,7	2,23	8,34	29,6	3,24	10,91	37,5	3,56	9,49
3	28,8	3,55	12,36	28,9	3,94	13,60	31,3	3,59	11,49
4	28,2	5,08	18,06	30,9	3,04	9,83	38,3	4,37	11,43
5	29,7	3,47	11,67	28,6	3,90	13,60	35,4	5,41	15,29
6	31,4	2,81	8,96	30,1	4,07	13,49	35,2	2,71	7,71
7	30,4	3,89	12,81	34,2	4,81	14,07	35,7	3,58	10,02
8	28,3	4,15	14,70	35,0	5,23	14,92	33,9	2,85	8,40
9	34,1	3,10	9,12	33,1	5,52	16,67	38,5	4,24	11,02
10	32,6	3,49	10,72	34,8	4,73	13,57	37,1	3,86	10,42
11	30,2	3,71	12,27	30,8	4,21	13,69	35,1	3,72	10,60
12	31,7	3,15	9,93	43,8	4,14	9,46	38,8	7,35	18,96

* Desvio Padrão ** Coeficiente de Variação (%)

Tabela A15. Índices esclerométricos obtidos nas três direções estudadas da Garapa, em condição de umidade estabilizada.

CP	Longitudinal			Radial			Tangencial		
	IE _L	DP*	CV**	IE _R	DP*	CV**	IE _T	DP*	CV**
1	32,6	2,85	8,74	34,9	4,24	12,15	36,5	5,18	14,19
2	26,2	2,39	9,11	34,8	5,20	14,95	37,6	3,36	8,95
3	31,1	4,21	13,55	30,9	4,69	15,18	36,6	4,68	12,80
4	27,9	4,21	15,10	30,7	3,89	12,65	33,6	5,55	16,52
5	29,1	4,41	15,17	30,3	4,10	13,50	35,5	3,60	10,14
6	26,6	4,51	16,96	28,6	4,73	16,56	35,2	3,68	10,45
7	25,4	4,53	17,84	33,7	4,08	12,11	33,7	5,31	15,76
8	28,6	3,83	13,37	33,1	4,05	12,25	36,0	3,55	9,86
9	29,3	4,47	15,25	31,6	5,09	16,13	38,9	4,06	10,44
10	27,4	5,64	20,57	34,9	4,51	12,92	35,8	2,85	7,96
11	29,4	6,08	20,70	32,5	3,68	11,30	35,4	4,13	11,67
12	28,5	3,82	13,43	35,6	4,78	13,44	38,3	3,94	10,29

* Desvio Padrão ** Coeficiente de Variação (%)

Tabela A16. Índices esclerométricos obtidos nas três direções estudadas do Cedro, em condição de umidade não estabilizada.

CP	Longitudinal			Radial			Tangencial		
	IE _L	DP*	CV**	IE _R	DP*	CV**	IE _T	DP*	CV**
1	10,6	2,47	23,30	26,5	4,63	17,44	26,4	8,31	31,47
2	10,2	1,40	13,71	26,6	3,97	14,90	28,7	4,35	15,17
3	10,5	0,90	8,57	31,4	11,03	35,10	31,7	2,23	7,02
4	11,3	3,14	27,77	24,1	5,04	20,91	26,1	4,17	15,99
5	16,0	10,85	67,80	30,1	5,46	18,15	37,0	5,16	13,94
6	10,4	2,03	19,60	28,8	3,97	13,79	29,2	4,53	15,55
7	10,1	1,51	14,91	28,1	4,37	15,56	30,5	3,85	12,64
8	11,9	3,64	30,69	24,6	4,08	16,57	26,8	3,82	14,24
9	12,9	3,58	27,76	22,9	3,57	15,57	26,1	3,59	13,79
10	10,1	1,37	13,57	26,6	4,20	15,82	31,4	2,60	8,28
11	9,8	0,95	9,75	25,9	5,15	19,93	27,4	3,81	13,92
12	10,5	1,25	11,88	31,1	3,62	11,64	32,9	3,87	11,77

* Desvio Padrão ** Coeficiente de Variação (%)

Tabela A17. Índices esclerométricos obtidos nas três direções estudadas do Cedro, em condição de umidade estabilizada.

CP	Longitudinal			Radial			Tangencial		
	IE _L	DP*	CV**	IE _R	DP*	CV**	IE _T	DP*	CV**
1	22,2	3,46	15,59	24,0	4,70	19,54	25,6	4,58	17,85
2	16,4	4,38	26,74	24,9	3,37	13,57	28,0	2,96	10,59
3	18,5	2,64	14,27	26,9	4,27	15,90	29,8	3,77	12,66
4	19,1	3,12	16,30	25,3	4,66	18,41	29,6	4,75	16,04
5	17,9	2,87	15,99	28,6	4,42	15,48	34,7	3,22	9,28
6	17,9	3,56	19,87	27,3	5,23	19,12	28,9	4,64	16,09
7	16,1	2,48	15,39	25,1	3,90	15,52	30,7	3,70	12,04
8	16,9	3,31	19,62	21,1	6,56	31,06	25,3	4,56	18,02
9	20,2	3,84	19,07	22,1	4,50	20,35	27,1	3,18	11,75
10	13,3	2,69	20,27	21,2	5,69	26,86	23,8	7,51	31,63
11	14,2	3,45	24,31	19,0	6,00	31,53	23,6	4,21	17,85
12	11,5	1,40	12,15	21,6	3,23	14,97	23,8	5,33	22,38

* Desvio Padrão ** Coeficiente de Variação (%)

ANEXO 3 – RESULTADOS DA ANÁLISE ESTATÍSTICA

Tabela A18. Coeficiente de correlação e coeficiente de determinação para regressão linear entre os valores de índice esclerométrico (IE) e densidade, por espécie.

Espécie	Lote	Direção	t	r	p-valor	R² (%)
Cumarú	Não Estabilizado	L	3,228	0,714	0,009	51,0
		R	5,635	0,872	0,000	76,0
		T	6,194	0,891	0,000	79,4
	Estabilizado	L	3,546	0,786	0,002	61,8
		R	5,494	0,851	0,000	72,4
		T	5,821	0,838	0,001	70,2
Garapa	Não Estabilizado	L	1,970	0,529	0,077	28,0
		R	0,771	0,237	0,458	5,6
		T	1,353	0,393	0,206	15,4
	Estabilizado	L	0,090	0,028	0,930	0,1
		R	0,393	0,123	0,703	1,5
		T	1,112	0,332	0,292	11,0
Cedro	Não Estabilizado	L	1,568	0,444	0,148	19,7
		R	0,301	0,095	0,769	0,9
		T	0,752	0,231	0,470	5,3
	Estabilizado	L	1,577	0,446	0,146	19,9
		R	1,610	0,454	0,139	20,6
		T	2,995	0,688	0,013	47,3

Tabela A19. Coeficientes de correlação e coeficientes de determinação para regressão linear entre os valores de índices esclerométricos (IE) e densidades, separados apenas por direção do ensaio esclerométrico e condição de umidade dos lotes.

Condição de Umidade	Direção	t	Erro (DPR)*	r	p-valor	R² (%)
Não Estabilizado	L	18,05	77,32	0,898	0,000	80,6
	R	9,03	95,20	0,840	0,000	70,6
	T	7,73	105,73	0,798	0,000	63,7
Estabilizado	L	23,30	54,64	0,970	0,000	94,1
	R	14,75	82,75	0,930	0,000	86,5
	T	14,81	82,46	0,931	0,000	86,6

* Desvio Padrão do Resíduo

ANEXO 4 – RESULTADOS DA ULTRASSONOGRAFIA

Tabela A20. Velocidades obtidas pelo ultrassom para os lotes de Cumaru ($m.s^{-1}$).

CP	Não Estabilizado			Estabilizado		
	VL	VR	VT	VL	VR	VT
1	5097,31	2013,76	2353,97	5142,36	2026,32	2385,03
2	4880,71	2401,95	2178,45	4973,39	2238,94	2348,64
3	5419,13	2249,87	1971,63	5366,12	2068,66	2090,44
4	4888,54	2201,56	2031,32	4932,37	2037,10	2134,21
5	4944,06	2322,32	2189,87	5043,01	2219,59	2329,77
6	4977,67	2281,65	2182,00	5074,93	2104,32	2326,41
7	5370,34	1951,34	1973,17	5526,90	1901,23	2176,11
8	5485,32	2176,01	1982,36	5458,52	2061,47	2108,83
9	5395,57	2218,09	2014,47	5451,57	2059,68	2181,04
10	5161,31	2274,93	1963,22	5206,53	2151,82	2083,56
11	4803,14	2405,46	2124,58	4884,82	2205,47	2343,66
12	5219,22	2133,56	1930,09	5294,74	2025,72	2098,97
Média	5136,90	2219,21	2074,60	5196,27	2091,69	2217,22
DP*	239,80	138,22	129,40	221,43	97,75	118,92
CV**	4,67	6,23	6,24	4,26	4,67	5,36

* Desvio Padrão ** Coeficiente de Variação (%)

Tabela A21. Velocidades obtidas pelo ultrassom para os lotes de Garapa ($m.s^{-1}$).

CP	Não Estabilizado			Estabilizado		
	VL	VR	VT	VL	VR	VT
1	4061,83	1980,67	2108,64	4764,70	1929,62	1983,89
2	4717,21	1867,30	1749,89	4812,25	1899,20	1649,38
3	4624,50	2046,33	1885,85	4843,17	2186,20	1975,60
4	4831,80	1929,23	1682,49	5250,26	2108,63	1252,69
5	5132,86	1942,55	1775,37	5349,40	1987,91	1865,74
6	4491,04	1964,91	1719,01	4973,91	2132,68	1814,71
7	4515,28	1846,72	1925,85	5291,03	1686,00	1916,72
8	4276,54	2009,87	1960,66	5034,75	1803,84	1902,44
9	3868,53	1997,57	2007,76	4543,33	1946,56	1912,30
10	4131,42	1963,51	2010,95	4651,44	1868,47	1861,18
11	4159,66	1880,75	1934,97	4951,09	1881,01	1846,66
12	3920,76	1899,54	2027,82	4663,32	1833,43	1893,96
Média	4394,00	1944,10	1899,10	4927,39	1938,63	1822,94
DP*	389,00	61,30	137,40	264,41	145,63	199,22
CV**	8,86	3,16	7,24	5,37	7,51	10,93

* Desvio Padrão ** Coeficiente de Variação (%)

Tabela A22. Velocidades obtidas pelo ultrassom para os lotes de Cedro ($m.s^{-1}$).

CP	Não Estabilizado			Estabilizado		
	VL	VR	VT	VL	VR	VT
1	4099,89	1502,10	1538,90	4849,28	1532,78	1476,40
2	4015,17	1501,54	1470,54	4544,32	1452,13	1300,82
3	4057,66	1499,82	1469,23	4714,55	1518,79	1358,62
4	4156,84	1491,12	1491,82	4686,91	1496,49	1378,82
5	4130,64	1501,25	1564,68	4855,67	1461,06	1330,38
6	3990,73	1528,07	1529,40	4778,75	1489,27	1381,02
7	4200,22	1566,71	1506,57	4811,03	1513,01	1347,92
8	4122,51	1482,28	1471,83	4874,15	1538,38	1390,17
9	4021,95	1554,72	1510,51	4628,82	1520,44	1390,35
10	4046,16	1508,60	1496,08	4618,89	1512,82	1347,31
11	3878,87	1516,81	1456,88	4828,43	1534,84	1401,77
12	3857,29	1465,56	1436,12	4340,22	1459,25	1360,87
Média	4048,16	1509,88	1495,21	4710,92	1502,44	1372,04
DP*	104,53	28,61	37,01	158,44	30,73	43,56
CV**	2,58	1,89	2,48	3,36	2,05	3,17

* Desvio Padrão ** Coeficiente de Variação (%)

Tabela A23. Grupos de ultrassonografia para o lote de Cumaru não estabilizado.

Direção Anatômica	NCP	Média ($m.s^{-1}$)	Grupo
Longitudinal	12	5136,9	A
Radial	12	2219,2	B
Tangencial	12	2074,6	B

Não existe diferença estatisticamente significativa entre os valores que compartilham uma mesma letra nas colunas, de acordo com os testes LSD de Tukey e de Fisher, ao nível de 5,0% de erro.

Tabela A24. Grupos de ultrassonografia para o lote de Cumaru estabilizado.

Direção Anatômica	NCP	Média ($m.s^{-1}$)	Grupo
Longitudinal	12	5196,3	A
Radial	12	2217,2	B
Tangencial	12	2091,7	B

Não existe diferença estatisticamente significativa entre os valores que compartilham uma mesma letra nas colunas, de acordo com os testes LSD de Tukey e de Fisher, ao nível de 5,0% de erro.

Tabela A25. Grupos de ultrassonografia para o lote de Garapa não estabilizado.

Direção Anatômica	NCP	Média (m.s ⁻¹)	Grupo
Longitudinal	12	4394,3	A
Radial	12	1944,1	B
Tangencial	12	1899,1	B

Não existe diferença estatisticamente significativa entre os valores que compartilham uma mesma letra nas colunas, de acordo com os testes LSD de Tukey e de Fisher, ao nível de 5,0% de erro.

Tabela A26. Grupos de ultrassonografia para o lote de Garapa estabilizado.

Direção Anatômica	NCP	Média (m.s ⁻¹)	Grupo
Longitudinal	12	4927,4	A
Radial	12	1938,6	B
Tangencial	12	1822,9	B

Não existe diferença estatisticamente significativa entre os valores que compartilham uma mesma letra nas colunas, de acordo com os testes LSD de Tukey e de Fisher, ao nível de 5,0% de erro.

Tabela A27. Grupos de ultrassonografia para o lote de Cedro não estabilizado.

Direção Anatômica	NCP	Média (m.s ⁻¹)	Grupo
Longitudinal	12	4048,2	A
Radial	12	1509,9	B
Tangencial	12	1495,2	B

Não existe diferença estatisticamente significativa entre os valores que compartilham uma mesma letra nas colunas, de acordo com os testes LSD de Tukey e de Fisher, ao nível de 5,0% de erro.

Tabela A28. Grupos de ultrassonografia para o lote de Cedro estabilizado.

Direção Anatômica	NCP	Média (m.s ⁻¹)	Grupo
Longitudinal	12	4710,9	A
Radial	12	1502,4	B
Tangencial	12	1372,0	C

Não existe diferença estatisticamente significativa entre os valores que compartilham uma mesma letra nas colunas, de acordo com os testes LSD de Tukey e de Fisher, ao nível de 5,0% de erro.