

1 – INTRODUÇÃO

Rachaduras e empenamentos ocorrem durante o processo de secagem da madeira, a partir do momento em que a umidade das peças atinge o ponto de saturação das fibras (PSF). Esse ponto se encontra próximo aos 30% de umidade e marca o início das contrações da parede celular pela saída de água adsorvida. O colapso, no entanto, acontece acima desse ponto quando as paredes se encontram saturadas e a água livre está sendo retirada da madeira por forças capilares. Madeiras com alta propensão a esses defeitos podem apresentar perdas significativas de rendimento após a secagem.

Para melhorar o rendimento e a qualidade da madeira processada deve-se buscar o desenvolvimento de equipamentos de secagem mais eficientes, que sejam capazes de determinar com precisão a umidade da madeira, a temperatura e a umidade relativa do ambiente de secagem. A temperatura e a umidade relativa no ambiente interno da estufa são variáveis obtidas de leituras instantâneas que podem ser alteradas a qualquer momento com boa precisão, dependendo da umidade em que a madeira se encontra. Porém, a umidade da madeira muitas vezes apresenta dificuldades na sua determinação.

Para determinar a umidade da madeira dois métodos são amplamente utilizados nas estufas de secagem: o gravimétrico e o que utiliza medidores elétricos.

O gravimétrico é um método destrutivo e seus resultados demoram aproximadamente vinte e quatro horas, mas apresenta como grande vantagem possibilitar a obtenção de resultados, com precisão satisfatória, para qualquer umidade em que a madeira se encontrar.

Os que utilizam medidores elétricos são métodos não-destrutivos e as determinações são instantâneas. Nesses métodos, a diminuição da resistência elétrica na madeira em

umidades acima do ponto de saturação das fibras assim como o aumento dessa resistência abaixo de 7 %, provoca erros nas determinações.

Sakai *et al.* (1990) relacionaram as variações da velocidade de propagação de ondas sonoras na madeira com sua umidade. Alguns anos depois, Simpson (1998), mostrou ser possível utilizar ondas sonoras na determinação da umidade da madeira durante o processo de secagem. Essas determinações foram feitas com equipamento de ultra-som e com um temporizador de ondas de tensão.

O temporizador de ondas de tensão utiliza a emissão de ondas sonoras de impacto (ondas de tensão), de baixa frequência, é portátil e seu custo é inferior aos equipamentos de ultra-som. Ondas sonoras de impacto são comumente utilizadas para a estimativa do módulo de elasticidade dinâmico e qualificação de produtos de madeira.

Algumas pesquisas desenvolvidas nos últimos anos detectaram variações nas velocidades de propagação das ondas de tensão em diferentes espécies (Sakai, 1990; Simpson, 1998). Além disso, Gonçalves (2002), acompanhando a secagem de *Eucalyptus* e utilizando-se de um equipamento de ultra-som revelou uma relação diferenciada entre a propagação das ondas acima e abaixo do ponto de saturação das fibras, pela ação da água como agente atenuador na propagação dessas ondas mecânicas.

Considerando-se o baixo custo, a facilidade de operação do temporizador de ondas de tensão e que a velocidade de propagação dessas ondas é influenciada pela quantidade de água presente na madeira, esse equipamento pode ser de grande importância no controle da secagem. Para isso, podem ser desenvolvidos modelos matemáticos que possibilitem estimar a umidade da madeira através da velocidade de propagação das ondas de tensão, buscando-se maior precisão dessas estimativas tanto abaixo como acima do ponto de saturação das fibras.

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo principal, contribuir para o aperfeiçoamento da estimativa da umidade da madeira de materiais genéticos de *Eucalyptus*, em qualquer umidade que se encontre, utilizando-se a variação da velocidade de propagação de ondas de tensão na madeira.

Os objetivos específicos foram verificar:

- o comportamento da umidade da madeira em função da velocidade de propagação de ondas de tensão;
- a influência de defeitos da madeira na estimativa da umidade pela velocidade de propagação das ondas de tensão;
- a influência da densidade da madeira na estimativa da umidade pela velocidade de propagação das ondas de tensão;
- a relação entre as dimensões dos componentes anatômicos e a velocidade de propagação das ondas de tensão na madeira.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 – UMIDADE DA MADEIRA

Brown *et al.* (1952) relataram que a água ocorre na madeira tanto impregnada nas paredes quanto ocupando os espaços intra e intercelular. A água nos espaços vazios é chamada de água livre ou água capilar e pode ser eliminada da madeira com maior facilidade. A água adsorvida preenche as paredes das células e consome mais energia para sua retirada. Além disso, a água está presente na madeira como parte integrante de sua constituição química e é chamada de água de constituição, que apenas será retirada mediante transformação na composição química da madeira.

A determinação da umidade da madeira durante a secagem é de grande importância para o controle eficiente do processo. O gradiente de umidade formado na peça durante a secagem deve ser considerado, principalmente se as determinações forem feitas por métodos não-destrutivos, onde os sensores são aplicados em determinados pontos da peça, podendo dessa maneira, apresentar valores que não refletem a umidade média da madeira.

O principal fator que faz com que a madeira seque é a diferença de pressão de vapor entre ela e o meio. Essa diferença provoca um gradiente de pressão de vapor no interior da peça fazendo com que a água migre do centro para a superfície da peça e daí para o ar (BROWN *et al.*, 1952). A retirada de água da superfície gera um gradiente de umidade entre esse ponto e o interior da peça. Esse gradiente pode ser intensificado quando condições mais drásticas de secagem são impostas, fazendo com que diferentes posições na peça apresentem diferentes umidades.

Skaar (1972), utilizando-se da sensibilidade da resistividade elétrica a variações de umidade da madeira, apresentou o gradiente de umidade na peça de madeira serrada. Durante o processo de secagem, maiores valores de umidade foram observados no interior da peça e essa umidade diminuiu gradativamente à medida que se aproximava da superfície. Essa distribuição foi observada abaixo do ponto de saturação das fibras. Acima desse ponto as leituras de medidores elétricos perdem precisão. Esse gradiente, no entanto é formado desde o início da secagem da madeira.

Kollman e Côté (1968) citam as três fases da secagem. Na primeira fase a transferência de calor do meio para a madeira se dá por convecção onde os fatores mais importantes são: o coeficiente de difusão (que depende principalmente do tipo de fluido, do tipo de superfície, da velocidade do fluido etc.) e a diferença de temperatura entre o meio externo e a madeira. Nessa fase a transferência de massa de água se dá por difusão (caminhamento da água pelas paredes das células e espaços vazios) e capilaridade (transfere água livre do interior para a superfície da peça). Na segunda fase a transferência de calor se dá por convecção e por condução (transferência de calor da superfície para o interior da peça) e a transferência de massa se dá também por difusão e por capilaridade. Em uma última fase o calor é transferido por convecção e condução e a transferência de massa se dá por difusão.

Conhecendo-se detalhadamente o comportamento da água no interior da madeira durante a secagem, tanto entre as fases como dentro de uma determinada fase, torna-se necessário o conhecimento preciso da umidade da madeira, para que se possa adequar a temperatura e a umidade relativa do ambiente de secagem à qual está exposta, fazendo com que a peça seque sem que ocorram defeitos como colapso, rachaduras e empenamentos.

2.2 – EFEITO DA TEMPERATURA NAS DETERMINAÇÕES DE VELOCIDADE DO SOM E NA DETERMINAÇÃO DO PONTO DE SATURAÇÃO DAS FIBRAS

Santini (1996), durante a secagem da madeira, encontrou alta correlação entre a umidade e a temperatura da madeira, medida a um quarto de sua espessura. Santini (2000) cita que a temperatura interna da madeira durante a secagem é influenciada principalmente por sua umidade e pode ser utilizada como ferramenta para indicar o final da secagem em uma umidade pré-determinada, correlacionando-se a umidade com a temperatura da peça.

James *et al.*, citados por Simpson (1998), pesquisaram o efeito da temperatura sobre a velocidade do som. Os resultados dessa pesquisa mostraram que a velocidade de propagação da onda diminui com o aumento da temperatura.

O aumento da temperatura na madeira, assim como em outros materiais, causa dilatação térmica. Considerando-se que as ondas de tensão se propagam na madeira principalmente pelas paredes das células, pode-se presumir que qualquer mudança nesse substrato pode causar variações na velocidade dessas ondas mecânicas. A dilatação das paredes pela temperatura pode proporcionar maior atenuação da onda pelo maior espalhamento da mesma. Além disso, a presença de água no interior da peça também pode interferir na propagação das ondas, já que o aquecimento da água causa a excitação de suas moléculas.

Além do efeito sobre a propagação de ondas sonoras, a temperatura também exerce influência sobre a isoterma de sorção. Kollmann (1959) apresentou curvas de secagem de madeira nas quais são verificadas diminuições no ponto de saturação das fibras de 0,13 % por grau centígrado de aumento na temperatura.

2.3 - MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DA MADEIRA

Skaar (1972) discorre sobre vários métodos que podem ser utilizados para a determinação da umidade da madeira. Entre esses, o método gravimétrico e o método de resistência elétrica.

O método gravimétrico é aquele em que a madeira úmida é pesada, levada à estufa em uma temperatura de 105 ± 2 °C e pesada novamente até a mesma apresentar massa constante ao longo do tempo. A umidade da madeira é dada pela relação entre a massa da água removida e a massa absolutamente seca da amostra. Esse método é considerado o mais preciso (SKAAR, 1972).

Medidores de umidade por resistência elétrica são vantajosos em relação ao método gravimétrico por possibilitarem leituras imediatas da umidade da madeira e por serem não-destrutivos. Dois tipos de medidores elétricos são utilizados, o de resistência elétrica (corrente contínua) e o capacitivo (corrente alternada). Esses medidores podem sofrer influência da temperatura, da densidade da madeira, da orientação da grã e da frequência da corrente (SKAAR, 1972).

Apesar das vantagens apresentadas, os medidores elétricos não apresentam precisão nas leituras obtidas em algumas faixas de umidade da madeira. Galina (1997), estimando umidade em madeira através de medidores elétricos, utilizando-se de espécies de reflorestamento e folhosas nativas, mostrou que a umidade pôde ser estimada com precisão até uma umidade máxima situada entre 19 e 40 %, dependendo do ponto de saturação das fibras de cada madeira. Acima desse ponto máximo, variável entre espécies, a baixa resistência elétrica imposta pela madeira diminui a precisão das leituras. A umidade mínima na qual os medidores elétricos apresentam boa precisão normalmente está entre 5 e 7 % de

umidade (SANTINI, 1996). Abaixo desses valores, a alta resistência elétrica da madeira diminui a precisão dos medidores. No entanto, a falta de precisão nas umidades mais baixas, muitas vezes pode ser negligenciada, pelo fato de que o término da secagem normalmente ocorre quando a umidade da madeira ainda se encontra acima desse ponto.

Gonçalves e Costa (2002), acompanhando a secagem da madeira de *Pinus*, *Eucalyptus* e imbuia, com um equipamento de ultra-som, apresentaram equações que explicam a umidade da madeira em função da velocidade de propagação das ondas. Nesse trabalho, tanto os ajustes das equações quanto as tendências apresentadas graficamente, sugerem que o método apresenta maior precisão acima do ponto de saturação das fibras do que o método que utiliza medidores elétricos, principalmente pela falta de precisão desse último.

O método utilizado por Gonçalves e Costa (2002), no entanto, utilizou um equipamento de ultra-som no qual uma das características é a possibilidade de controle da frequência aplicada. O temporizador utilizado nesse trabalho, por sua vez, emite ondas na frequência natural das madeiras.

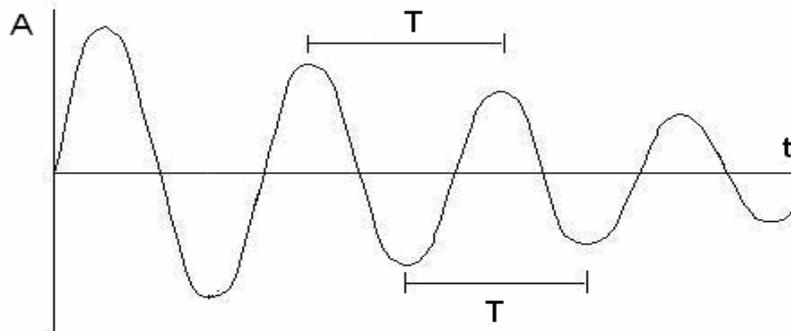
Outra vantagem do temporizador em relação aos equipamentos de ultra-som é o custo de aquisição. Apesar disso, pelas características das ondas de tensão, também apresentam alta sensibilidade à umidade da madeira, podendo possibilitar a obtenção de equações que estimem a umidade com precisão, mesmo em faixas nas quais os medidores elétricos não são eficientes.

2.4 – PROPAGAÇÃO DE ONDAS SONORAS NA MADEIRA

De acordo com Kollman e Côté (1968), todo fenômeno de vibrações e ondas, geradas em meio elástico com uma frequência entre 16 e 20000 Hz é chamado de ondas sonoras e são

perceptíveis ao ouvido humano. Essas ondas são caracterizadas pelo comprimento de onda (λ), que é a distância mínima em que um padrão temporal da onda (ou seja, um ciclo) se repete, amplitude (medido em dB), frequência (f) que é dada pelo número de ondas inteiras em uma unidade de tempo e a velocidade de propagação ($\lambda \cdot f$) (Figura 1).

FIGURA 1 - DIAGRAMA DE ATENUAÇÃO REPRESENTADA PELA DIMINUIÇÃO DA AMPLITUDE DA ONDA PERCORRENDO A MADEIRA EM SUA FREQUÊNCIA NATURAL EM UM INTERVALO DE TEMPO EM QUE: A = AMPLITUDE DE VIBRAÇÃO, T = PERÍODO ($1/f$) E t = TEMPO (ADAPTADO DE BROWN *et al.*,1952).



Kollman e Côté (1968) relataram que a madeira reage com o máximo de amplitude de vibração em uma frequência, que é a frequência natural ou de ressonância da peça e ocorre se a peça de madeira é golpeada com uma batida de martelo, como é o caso do temporizador de ondas de tensão. Desde que a onda sonora se mova em uma velocidade (v) definida, existe o seguinte relacionamento entre a frequência (f) e o comprimento de onda (λ):

$$v = \lambda \cdot f \quad [\text{Equação 1}]$$

O som se propaga em um meio devido às vibrações das moléculas. Ondas que precisam de um meio físico para se propagar, como é o caso da onda acústica, são

classificadas como ondas mecânicas. As ondas mecânicas se propagam em meios deformáveis ou elásticos e as ondas não-mecânicas ou eletromagnéticas não necessitam de um meio material para sua propagação, como é o caso da luz (KOLLMAN E CÔTÉ, 1968).

A velocidade da onda é alterada de acordo com a perda de energia acústica que ocorre na trajetória da onda entre os pontos de medição.

A madeira, por se tratar de um material higroscópico, tem suas propriedades físicas afetadas pela umidade. Quando saturada, uma peça de madeira possui uma parte sólida formada pela estrutura anatômica e uma parte fluida representada pela água nos espaços vazios. A parte sólida é formada basicamente por celulose, hemicelulose e lignina. Parte das microfibrilas de celulose que são depositadas durante a formação das paredes das células ficam orientadas paralelas ao eixo principal das fibras (camada S2). As fibras e os vasos já formados também possuem suas maiores dimensões praticamente paralelas ao eixo da árvore. A parte fluida, no entanto, pode se apresentar em quantidades variáveis de acordo com as condições de temperatura e umidade relativa do ambiente a que a madeira está exposta.

Simpson (1998) relata que a velocidade de propagação da onda medida com ultra-som para a madeira seca de carvalho vermelho variou entre 4098 e 4348 m.s^{-1} e para a madeira de *Acer saccharum* variou entre 4310 e 4525 m.s^{-1} . Esses valores representam a velocidade de propagação das ondas na estrutura anatômica da madeira sem interferência da água, já que se tratava de madeira absolutamente seca. De acordo com Efron (1957), a velocidade do som no ar em temperatura ambiente é de 340 m.s^{-1} e na água é de 1450 m.s^{-1} . Dessa maneira, a onda apresenta maior facilidade de se propagar na madeira, se deslocando pelas paredes das fibras e vasos e essa propagação é mais lenta se influenciada pela presença de espaços vazios e água na parede.

Bucur e Bohnke (1994) mencionaram que o eixo longitudinal com elementos anatômicos dispostos em sua maior dimensão, proporciona maior velocidade da energia acústica e menor atenuação. Oliveira *et al.* (2006-b) citaram que a água livre aumenta a atenuação, resultando numa diminuição da velocidade das ondas.

Atenuação é considerada a perda de energia acústica ao longo do tempo. As duas principais causas da atenuação são o espalhamento e a absorção dessa energia. O espalhamento é normalmente relacionado com o comprimento das fibras e o comprimento de ondas, onde a densidade e a anisotropia elástica são consideradas. A absorção na madeira deve-se ao efeito termo-elástico ou ao deslocamento do amortecimento (dislocation damping). Esse último é provavelmente menos importante que o primeiro (BUCUR E FEENEY, 1992).

Okyere e Cousin (1980), Bucur (1984) e Martin (1992) citados por Gonçalves *et al.* (2001) afirmaram que na direção longitudinal as células da madeira (principalmente fibras e vasos) são as principais responsáveis pela condução dos sinais ultra sonoros. Estes sinais encontram ao longo das fibras e vasos, condições favoráveis de propagação já que as microfibrilas de celulose são mais alinhadas, amortecendo as ondas mais suavemente, seguindo a orientação da grã, resultando em velocidades mais elevadas. Na direção radial os raios lenhosos (presentes em quantidades bem menores em relação às fibras) asseguram certa continuidade do sinal. A direção tangencial é desfavorável para a propagação das ondas, pois o sinal não encontra nenhum substrato contínuo de propagação. A cada passagem de uma célula para a outra o sinal perde energia devido à própria parede celular.

Kopac e Sali (2003) relataram que a velocidade do som é maior no eixo longitudinal pelo relacionamento do modulo de elasticidade com a direção da grã. Quanto maior o módulo de elasticidade e menor o desvio da grã, maior a velocidade do som. O mesmo autor cita que para a madeira de abeto vermelho, paralelamente à grã, a velocidade do som está em torno de

5300 m.s⁻¹ e perpendicularmente à grã, em torno de 2400 m.s⁻¹. Trinca *et al.* (2006) estudando a propagação das ondas de ultra-som nas madeiras de *Goupia glabra*, *Apulleia leiocarpa* (Vog.) e *Eucalyptus grandis* concluíram que quanto maior a inclinação da grã, menor a velocidade de propagação dessas ondas.

Considerando os fatores já citados que interferem na propagação das ondas sonoras, pode-se esperar que a presença dos nós e das bolsas de quino afetem essa propagação pela descontinuidade dos componentes anatômicos, pela diferença de densidade do substrato e pelo desvio da grã. Nogueira e Ballarin (2006) encontraram diferenças significativas na velocidade de propagação das ondas em peças de *Pinus taeda* L. com diferentes comprimentos (12 e 45 cm) e explicaram o fato, pela maior ocorrência de defeitos em peças maiores. Esses defeitos, muitas vezes podem ocorrer internos na peça, sem a percepção visual.

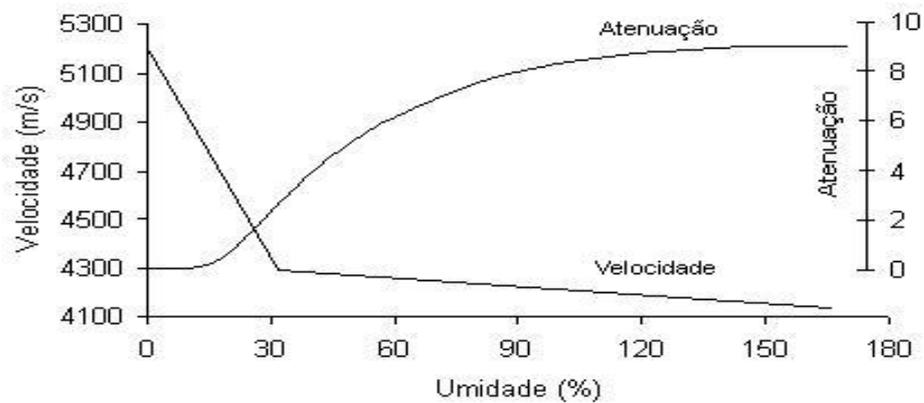
Bucur e Bohnke (1994) relataram que avaliações sonoras na madeira estão associadas com medidas de velocidade e do coeficiente de atenuação. De acordo com SAKAI *et al.* (1990), a velocidade e a atenuação formam um par de parâmetros dependente mutuamente, que caracterizam a propagação do som. Uma mudança na velocidade causa uma mudança na atenuação e vice-versa.

Segundo Kopac e Sali (2003), o conteúdo de umidade tem efeito significativo sobre a propriedade acústica da madeira. A Figura 2 apresentada por Sakai *et al.* (1990), mostra a variação da velocidade e da atenuação em função do conteúdo de umidade da madeira de *Metasequoia*. Nessa madeira, a velocidade de propagação da onda apresenta uma mudança no comportamento próximo a 30 % de umidade (PSF), enquanto a atenuação começa ocorrer em torno de 18 % de umidade.

Sakai *et al.* (1990) explicaram que a diferença de umidade entre o início da atenuação e o PSF pode ser explicada fisicamente assumindo-se uma região de quase equilíbrio logo

abaixo do PSF, onde a água já começa a entrar nos espaços intercelulares da madeira mesmo que as paredes não estejam completamente saturadas. Nesse momento as ondas sonoras com um movimento relativamente alternado se movem entre as paredes das células e a pequena quantidade de água livre adquirida. Esse efeito causa uma irreversível diminuição nas forças durante cada ciclo da onda. A quantidade de água livre nesse momento é muito pequena e quase não tem efeito sobre o módulo de elasticidade longitudinal ($E = \rho v^2$, onde ρ é a densidade e v é a velocidade de propagação da onda). No entanto, isso tem um efeito substancial na atenuação. O ponto em que se observa o início de maiores atenuações não é tão claro quanto o PSF porque as medidas de amplitude são menos precisas que as medidas de velocidade.

FIGURA 2 - COMPORTAMENTO DA VELOCIDADE E ATENUAÇÃO EM RELAÇÃO À UMIDADE DA MADEIRA DE *Metasequoia* (SAKAI *et al.*, 1990).



Sandoz (1993), citado por Oliveira *et al.* (2006-b), estudou o efeito da umidade da madeira na velocidade de propagação ultra-sônica para duas espécies europeias e encontrou relações bi-lineares com uma mudança na inclinação em torno de 32 %, ou seja, próximo ao PSF.

Costa e Gonçalves (2006) avaliaram a propagação longitudinal de ondas ultra-sonoras em função da umidade da madeira de *Ocotea porosa*, *Goupia glabra*, *Pinus elliottii* e *Eucalyptus citriodora* e verificaram que a velocidade de propagação das ondas diminui com o aumento da umidade e que a variação da velocidade é mais significativa para valores de umidade abaixo do PSF. Esses autores apresentaram uma fórmula para corrigir a velocidade em função da umidade da madeira (Equações 1 e 2), abaixo do PSF.

$$\text{Coníferas: } V_{LL, \text{ Sat}} = V_{LL, U \%} - 27 (30 - U) \quad [\text{Equação 2}]$$

$$\text{Folhosas: } V_{LL, \text{ Sat}} = V_{LL, U \%} - 19 (30 - U) \quad [\text{Equação 3}]$$

onde:

$V_{LL, \text{ Sat}}$ = Velocidade de propagação das ondas, no sentido longitudinal da madeira saturada (m.s^{-1}).

$V_{LL, U \%}$ = Velocidade de propagação das ondas, no sentido longitudinal da madeira em uma umidade definida (m.s^{-1}).

U = Umidade da madeira (%).

Além disso, Oliveira *et al.* (2006-b) verificando a propagação das ondas ultra-sônicas na madeira de *Pinus caribea*, *Pinus elliottii*, *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus grandis*, *Goupia glabra* e *Hymenaea sp.*, sugerem a correção da velocidade em função da densidade aparente (ρ_{ap}) e da umidade da madeira com a equação 3.

$$V_{LL, 12 \%} = V_{LL, U \%} - \rho_{\text{ap}, 12 \%} + 21 U + 650 \quad [\text{Equação 4}]$$

Onde:

$V_{LL, 12\%}$ = Velocidade de propagação das ondas, no sentido longitudinal da madeira com 12 % de umidade ($m.s^{-1}$).

$\rho_{ap, 12\%}$ = Densidade aparente da madeira a 12% de umidade.

Jayne (1959) verificou que as propriedades da madeira de armazenamento e dissipação de energia, que podem ser determinadas com métodos não destrutivos, são controladas pelos mecanismos que determinam as propriedades mecânicas desse material.

Sakai *et al.* (1990) utilizaram um aparelho de ultra-som para a determinação da velocidade das ondas e de sua atenuação ao atravessarem amostras de madeira e provaram que as variações dessas medidas estavam relacionadas com a umidade da madeira.

Simpson (1998) utilizando-se de um equipamento de ultra-som mostrou que a velocidade das ondas sonoras variou na mesma madeira em duas condições de umidade (madeira verde e seca), tanto na direção paralela quanto perpendicular à grã.

Posteriormente, Simpson e Wang (2001) apresentaram ajustes que relacionavam a velocidade de ondas de tensão (paralela à grã) com as diferentes umidades da madeira durante o processo de secagem, confirmando a possibilidade de utilização dessa técnica na determinação da umidade de madeiras.

Oliveira *et al.* (2005-a) avaliando o comportamento de ondas aplicadas com ultra-som na madeira em relação à sua umidade verificou que a velocidade de propagação da onda foi maior na parte externa da tábua do que no centro.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - AMOSTRAGEM

A madeira utilizada neste experimento foi proveniente de plantios da empresa V & M Florestal, na região de Paraopeba no estado de Minas Gerais. Foram utilizados nove materiais genéticos sendo: *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus cloeziana* e sete clones de *Eucalyptus grandis*, como descrito no Quadro 1. Os clones de *E. grandis* foram cortados com oito anos de idade e as árvores das espécies *E. urophylla* e *E. cloeziana* com 16 anos.

QUADRO 1 – DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS GENÉTICOS, COM DADOS RELATIVOS À ESPÉCIE, ALTURA E DIÂMETRO MÉDIO DAS ÁRVORES DE *Eucalyptus*.

Materiais genéticos	Identificação	Altura média (m)	Diâmetro médio (cm)
<i>E. urophylla</i>	URO	31,8	35,0
<i>E. cloeziana</i>	CLOE	26,1	36,1
Clone 1	RB67	28,8	23,2
Clone 2	MN304	31,4	24,0
Clone 3	MN463	31,4	22,1
Clone 4	VM1	27,1	22,3
Clone 5	RB121	31,1	21,8
Clone 6	RB59	30,8	22,9
Clone 7	RB69	30,8	22,3

Foram coletadas cinco árvores de cada material genético. De cada árvore foram retiradas toras de três metros (partindo da base) e foram levadas para a serraria. Dessas toras foram retiradas tábuas de 1,5 metros entre as alturas de 6,5 e 8 metros na árvore. Foram retiradas quatro tábuas por tora (Figura 3). Essas tábuas foram utilizadas para a aplicação de ondas de tensão e essa amostragem foi denominada de amostragem principal.

Devido ao grande número de amostras desse experimento, a quantificação dos elementos anatômicos dessas madeiras foi feita utilizando-se apenas uma parte da

amostragem principal citada acima. Para isso, entre as cinco árvores de cada material genético foram selecionadas três. De cada uma dessas três árvores (ou três toras) selecionou-se duas tábuas, do mesmo lado da medula, que apresentavam menor quantidade de defeitos aparentes (Figura 3).

FIGURA 3 – FLUXOGRAMA DA AMOSTRAGEM PRINCIPAL E DA AMOSTRAGEM SECUNDÁRIA UTILIZADAS PARA APLICAÇÃO DE ONDAS DE TENSÃO E CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA DE *Eucalyptus*.

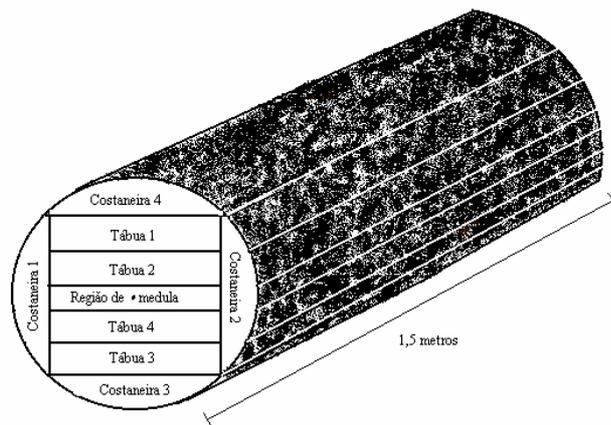


3.2 – DESDOBRO E PREPARO DA AMOSTRA

Para o desdobro das toras foi utilizada uma serra de fita simples. Das toras de 1,5 metros foram retiradas costaneiras opostas buscando-se o balanceamento das tensões de crescimento residuais. Em seguida, outras duas costaneiras opostas foram retiradas, perpendicularmente as duas primeiras. Duas tábuas foram retiradas de um dos lados longitudinais da tora e outras duas retiradas do lado oposto (Figura 4). Essas tábuas foram numeradas de um a quatro, sendo que as Tábuas um e três foram mais externas no tronco e as Tábuas dois e quatro mais internas. Essas tábuas foram destopadas e ficaram com um comprimento de 1,2 metros. Foram obtidas 180 tábuas que foram numeradas e levadas para a

marcenaria, onde foram aplainadas e desgossadas, ficando com uma espessura final uniformizada em 1,2 cm.

FIGURA 4 – MÉTODO DE DESDOBRO PARA OBTENÇÃO DE TÁBUAS DE *Eucalyptus* UTILIZADAS PARA A APLICAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO.



De cada tábua foi retirada uma amostra de cinco centímetros em cada topo para determinação da densidade básica da peça. Com o comprimento final de 1,10 metros as tábuas tiveram seus topos pintados para diminuir a perda excessiva de umidade nessas faces e foram levadas para a câmara climatizada a 20 °C e 65 % de umidade relativa (Figura 5).

O empilhamento foi feito utilizando-se separadores (tabiques) entre as camadas de tábuas para permitir a circulação do ar no interior da pilha. Esses separadores mediam dois centímetros de largura e dois centímetros de espessura.

3.3 - APLICAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NAS TÁBUAS DE *Eucalyptus*

As leituras referentes ao tempo de propagação das ondas de tensão foram feitas com a utilização de um temporizador de ondas de tensão [Stress Wave Timer (SWT), modelo 239 A,

da Metriguard] (Figura 6). Os grampos desse equipamento foram fixados em um suporte para que pudesse ser mantida a mesma distância entre os transdutores, fixando também a distância a ser percorrida pela onda na madeira em 1,08 m.

FIGURA 5 – DISPOSIÇÃO DAS TÁBUAS DE *Eucalyptus* NA CÂMARA CLIMATIZADA PARA A APLICAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO.

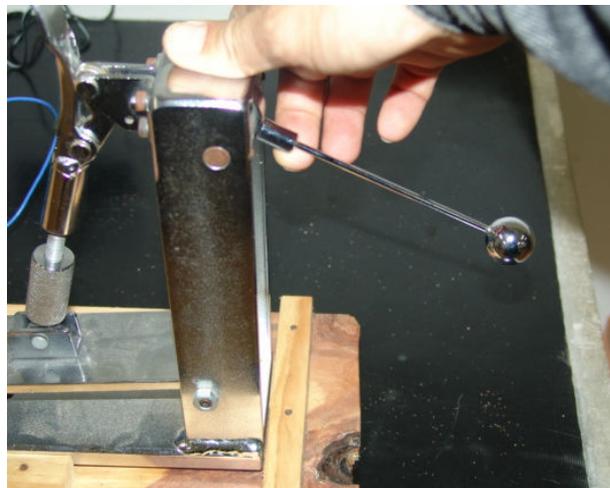


O ajuste do temporizador de ondas de tensão consiste apenas na adequação de dois interruptores de amplificador (Figura 6). Esses interruptores servem para amplificar os sinais elétricos e ajustar o equipamento ao som do ambiente de acordo com o manual do aparelho. Nesse caso, os dois interruptores foram ajustados na posição dois em uma escala que vai até quarenta, visto que o ambiente de coleta dos dados não apresentava sons significativos. A aplicação da onda de tensão na madeira se inicia pelo impacto de um pêndulo acionado manualmente (Figura 7).

FIGURA 6 – TEMPORIZADOR DE ONDAS DE TENSÃO UTILIZADO NA DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS NA MADEIRA DE *Eucalyptus*.



FIGURA 7 – ACIONAMENTO MANUAL DO PÊNDBULO QUE INDUZ A FORMAÇÃO DA ONDA DE TENSÃO APLICADA NAS TÁBUAS DE *Eucalyptus*.



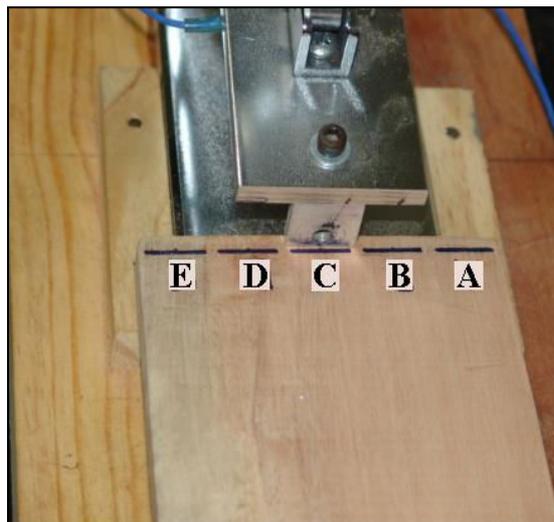
A medida do tempo é mostrada no visor do temporizador de ondas de tensão em microssegundos. Utilizando a distância entre transdutores e o tempo médio registrado nas leituras de cada ponto, obteve-se a velocidade de propagação da onda em metros por segundo.

Em cada tábua foram marcados cinco pontos em sua largura, distribuídos sistematicamente. Esses pontos foram marcados para garantir que as leituras de ondas de tensão fossem tomadas sempre nas mesmas posições na tábua (Figura 8). A partir desse momento foram iniciadas as leituras relacionadas ao tempo necessário para a onda percorrer a distância entre os dois transdutores (passando pelas tábuas) e o peso das amostras no momento das leituras. Essas determinações foram feitas a cada 48 horas enquanto as tábuas permaneciam empilhadas dentro da câmara.

Em cada um dos cinco pontos marcados nas tábuas foram obtidas três leituras do tempo necessário para a onda percorrer de um transdutor a outro, totalizando 15 leituras por tábua. Para a pesagem das tábuas foi utilizada uma balança digital com capacidade de 3000 gramas e precisão de 0,01g.

As leituras foram obtidas até o momento em que o equilíbrio entre a umidade das tábuas e o ambiente foi constatado, pela estabilização dos pesos das amostras. Dessa forma foram feitas 24 leituras, o que consumiu 48 dias de experimentação.

FIGURA 8 – PONTOS DE APLICAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO MARCADOS NA LARGURA DAS TÁBUAS DE *Eucalyptus*.



3.4 - DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DA MADEIRA

Após o término das medições com o temporizador de ondas de tensão as tábuas foram levadas à estufa de secagem com circulação de ar, calibrada para 103 ± 2 °C, até peso constante. Nesse momento foi determinado o peso seco de cada tábua.

Considerando-se o peso seco e o peso úmido de cada amostra nos dias das leituras, obteve-se a umidade das tábuas em cada um dos momentos de medição das velocidades de propagação das ondas de tensão.

3.5 - DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DAS TÁBUAS

As duas amostras retiradas de cada tábua foram saturadas em água e tiveram seus volumes determinados pelo método de imersão em água, segundo o princípio de Arquimedes. Após a medição dos volumes foram levadas para uma estufa de secagem, com circulação de ar, em uma temperatura de 103 ± 2 °C, até que seus pesos fossem constantes. A densidade básica foi determinada pela relação entre a massa seca da amostra e seu volume verde (ABNT, 2003).

3.6 - MEDIÇÃO DOS DEFEITOS DAS TÁBUAS

3.6.1 - Ângulo da grã

As leituras relativas ao ângulo da grã foram tomadas em três pontos da tábua, distribuídos sistematicamente ao longo do seu eixo longitudinal. Em cada um desses pontos,

foi feito um risco medindo 100 mm, orientado de acordo com o eixo principal da tábua. Um riscador articulado foi fixado em uma das extremidades do risco e puxado firmemente em direção à outra extremidade até ultrapassar o limite dos 100 mm. Nesse limite, na direção perpendicular ao eixo da tábua, foi determinada a distância até a marca do riscador. Utilizando-se dos 100 mm e da distância entre riscos determinou-se o ângulo da grã da seguinte maneira:

$$Tg(x) = \frac{CO}{CA}$$

onde:

x = Ângulo da grã

CO = Cateto Oposto

CA = Cateto adjacente

Considerando que:

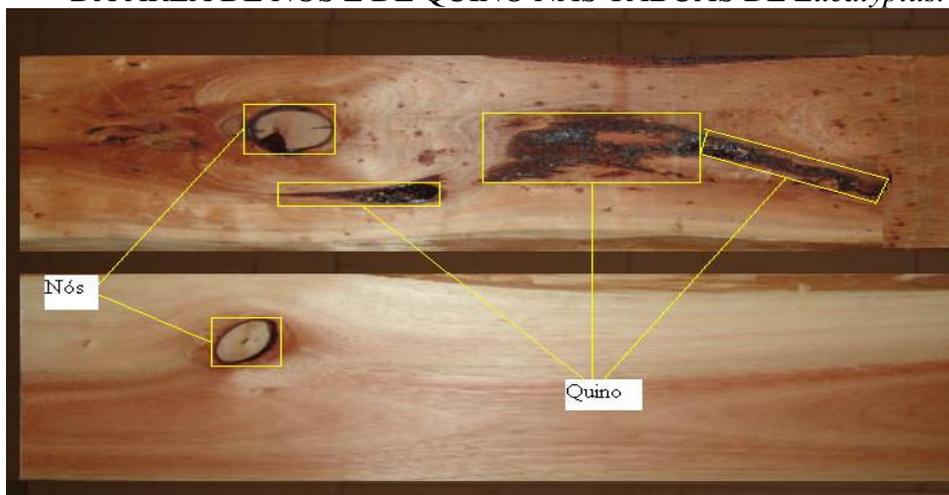
$Tg(x) = n$, temos que:

$x = arctg(n)$, em graus.

3.6.2 – Área de nós

A área de nós em cada uma das tábuas foi determinada medindo-se um retângulo no qual o nó se inseria. Esse retângulo foi traçado no comprimento e na largura da tábua, determinando assim a área (em cm^2) de cada nó individualmente (Figura 9). As áreas dos nós presentes em cada tábua foram somadas e, assim, determinada a área total de nós por tábua.

FIGURA 9 – ILUSTRAÇÃO DO ESQUEMA UTILIZADO PARA A DETERMINAÇÃO DA ÁREA DE NÓS E DE QUINO NAS TÁBUAS DE *Eucalyptus*.



3.6.3 – Área de quino

O procedimento utilizado para a obtenção da área de quino por tábua foi semelhante àquele utilizado para a medição da área dos nós, no entanto devido à irregularidade na forma com que esse defeito se apresentou nas tábuas, algumas vezes, foi necessário seccionar o defeito para efetuar as medições (Figura 9).

3.7 - AMOSTRAGEM PARA OBSERVAÇÕES ANATÔMICAS

Como anteriormente citado, houve uma redução no número de árvores por material genético e no número de tábuas por tora em relação à amostragem principal. De cada cinco árvores (cada árvore é representada por uma tora) por material genético foram escolhidas apenas três. Foram escolhidas as toras que apresentavam tábuas com menor incidência de defeitos naturais como nós e bolsas de quino. De cada tora foram retiradas quatro tábuas na amostragem principal, no entanto, apenas duas tábuas (ambas de um mesmo lado da medula)

foram selecionadas para a caracterização anatômica. O critério de seleção das tábuas foi o mesmo citado para as toras.

Em cada tábua foram amostrados cinco pontos, correspondentes àqueles nos quais foram tomadas leituras de propagação das ondas de tensão, totalizando 270 amostras de 1,2 x 1,0 x 1,0 cm.

Tanto as dimensões das fibras quanto a distribuição dos vasos e diâmetros dos poros foram determinadas em um microscópio óptico da marca Olympus, conectado a um computador equipado com um programa de análise de imagem denominado Win CELL. O procedimento utilizado para essas determinações foi baseado na norma técnica IAWA (1989).

Para a determinação das dimensões das fibras foram utilizadas lascas de madeiras maceradas em solução de peróxido de hidrogênio (com concentração de 30 volumes) e ácido acético glacial (P.A.) em uma proporção de 1:1. As fibras individualizadas resultantes da maceração foram lavadas e coloridas com safranina. Para que as dimensões fossem determinadas foram montadas lâminas provisórias. Foram medidos os comprimentos das fibras, a espessura das paredes e o diâmetro do lume dessas fibras (Figura 10). Foram feitas 30 medições correspondentes a cada ponto amostrado.

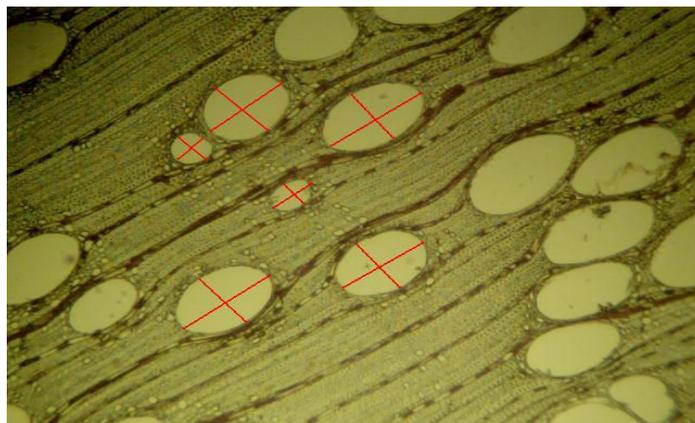
Para a determinação do diâmetro dos poros e frequência de vasos foram retirados cortes anatômicos transversais em um micrótomo de deslizamento a partir de um bloco de madeira medindo 1,5 x 1,5 x 1,5 cm. Com esses cortes foram montadas lâminas provisórias para que fossem efetuadas as medições. Para a determinação da frequência dos vasos foram tomados cinco campos de observação distribuídos na direção radial do corte anatômico. A área de cada campo de observação foi de 2 mm^2 , onde o número de vasos foi determinado e posteriormente expresso em mm^2 (Figura 11). Em cada um desses cinco campos de observação foram medidos os diâmetros dos seis poros mais centrais do campo, totalizando

30 leituras por amostra (Figura 11). Duas leituras de diâmetro foram feitas em cada poro: uma referente ao seu maior diâmetro e outra leitura perpendicular a essa. A média dessas duas leituras correspondeu ao diâmetro do poro.

FIGURA 10 – SISTEMA DE MEDIÇÃO DAS DIMENSÕES DAS FIBRAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus*, UTILIZANDO-SE DO SOFTWARE WIN CELL.



FIGURA 11 – IMAGEM CAPTURADA PELO PROGRAMA WIN CELL E UTILIZADA NA DETERMINAÇÃO DA FREQUÊNCIA DE VASOS/MM² E DIÂMETRO MÉDIO DOS POROS DA MADEIRA DE *Eucalyptus*.



3.8 - ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Todos os dados foram tabulados em uma planilha eletrônica e as análises estatísticas foram feitas utilizando-se os softwares Statgraphics e R.

Foram organizadas duas planilhas sendo uma referente aos dados de umidade, velocidade das ondas de tensão e características das tábuas e outra com os dados das características anatômicas da madeira e a velocidade das ondas de tensão coletados em cinco pontos distintos na largura da tábua.

Com os dados de umidade das tábuas e o tempo de acondicionamento da madeira foram ajustadas as curvas para visualização do comportamento do acondicionamento em diferentes teores de umidade.

Foram calculados as médias e os coeficientes de variação das características das tábuas. Com os dados de umidade e velocidade das ondas de tensão foram plotados gráficos de dispersão para que se pudessem verificar tendências e facilitar o ajuste de equações. Alguns pontos em que a dispersão se diferenciou dos demais, dentro dos materiais genéticos, foram separados e analisados, para que se pudessem observar visualmente possíveis causas dessa variação.

Análises de variância foram feitas para determinar a velocidade de propagação das ondas de tensão entre materiais genéticos e tábuas.

Foi determinada a correlação de Pearson entre a velocidade de propagação das ondas de tensão e cada uma das características das tábuas. A significância estatística de cada uma dessas correlações também foi verificada.

Utilizando-se os dados de densidade básica, área de nós e velocidade de propagação das ondas de tensão foram ajustadas equações lineares múltiplas para estimar a umidade da

madeira de todos os materiais genéticos juntos e de cada material genético separadamente. A análise dos ajustes foi feita com base na significância estatística da ANAVA da regressão, no coeficiente de determinação, no erro padrão da regressão e na análise dos resíduos da regressão.

Foram retirados os dados das tábuas que apresentaram dispersões diferenciadas causadas por nós, por orientação radial das tábuas e por densidade diferenciada. Dessa maneira, com o restante dos dados, foram ajustadas equações não-lineares para estimar a umidade da madeira, utilizando-se apenas a velocidade de propagação das ondas de tensão. Essas equações foram ajustadas para todos os dados juntos e para cada material genético separado. Desses ajustes foram gerados gráficos referentes aos resíduos da regressão.

Os dados de velocidade de propagação das ondas de tensão coletados nesse experimento foram utilizados para calcular a umidade da madeira com todas as equações ajustadas. As umidades da madeira calculadas pelas equações foram comparadas com as umidades reais e o erro foi calculado pela variação percentual entre a umidade estimada e umidade real.

A variação das dimensões dos componentes anatômicos e da velocidade de propagação das ondas de tensão foi observada pelas médias de cada característica e seus respectivos coeficientes de variação.

A correlação estatística entre a velocidade de propagação das ondas de tensão e cada uma das características anatômicas dos materiais genéticos foi determinada, assim como sua significância estatística.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - UMIDADE INICIAL DAS TÁBUAS

No início do experimento, após o desdobro, foram obtidas 180 tábuas. Essas tábuas apresentaram teores de umidade entre 33 e 98% de umidade (Quadro 2).

QUADRO 2 – UMIDADE INICIAL DAS TÁBUAS E MÉDIAS DE UMIDADE DOS MATERIAIS GENÉTICOS DA MADEIRA DE *Eucalyptus*.

Árvore	Tábua	Umidade inicial (%)								
		<i>E. urophylla</i>	<i>E. cloeziana</i>	Clone 1	Clone 2	Clone 3	Clone 4	Clone 5	Clone 6	Clone 7
1	1	56,5	42,2	77,9	69,4	76,4	59,0	41,3	66,9	68,9
1	2	69,4	40,5	95,3	80,5	93,6	76,3	51,2	72,5	82,1
1	3	64,5	45,2	74,0	60,2	57,2	51,3	41,7	43,3	68,1
1	4	74,1	39,9	91,4	81,5	85,1	65,3	50,1	66,6	82,4
2	1	56,6	38,9	66,6	76,1	71,4	63,3	42,2	61,4	81,8
2	2	61,8	47,9	85,7	84,5	89,3	77,2	51,3	72,2	88,9
2	3	55,3	47,4	62,6	60,3	94,8	79,6	42,0	47,7	75,2
2	4	54,6	46,1	80,4	78,1	89,6	69,4	51,7	58,8	83,1
3	1	62,3	43,1	75,5	77,9	64,0	73,9	51,7	59,9	68,2
3	2	76,0	44,4	98,1	79,0	88,8	79,5	60,6	70,3	81,5
3	3	74,6	43,9	57,1	52,4	75,4	54,5	48,1	46,3	70,4
3	4	80,6	42,3	84,7	77,6	96,1	69,8	60,8	62,8	84,0
4	1	45,1	33,3	62,1	63,5	72,5	52,6	52,8	54,5	69,6
4	2	58,1	39,0	82,0	80,2	97,1	61,0	61,1	64,2	78,5
4	3	56,7	33,6	77,3	54,9	52,2	56,6	42,5	59,1	64,3
4	4	74,3	38,7	92,5	80,9	77,1	69,7	52,9	67,3	75,8
5	1	54,0	38,5	83,9	59,5	93,3	61,1	46,8	54,5	63,4
5	2	63,9	39,7	96,8	80,8	97,8	74,9	55,9	68,6	77,6
5	3	56,0	38,5	53,0	61,7	46,2	64,4	53,4	53,3	57,7
5	4	57,5	41,6	80,4	79,4	76,3	73,0	57,4	67,2	75,4
Médias		62,6	41,2	78,9	71,9	79,9	66,6	50,8	60,9	74,8

A variação de umidade entre tábuas ocorreu porque as toras não foram processadas imediatamente após a sua chegada no pátio da serraria. Durante esse tempo, empilhadas, cada tora ficou submetida a diferentes condições de acondicionamento pela diferença de posicionamento na pilha. Além disso, até a chegada no pátio, algumas toras tiveram suas cascas parcialmente removidas, o que provavelmente aumentou a taxa de secagem nessas

posições. Os diâmetros diferentes das toras e a localização de cada tábua radialmente no tronco, também podem ter influenciado na variação da umidade.

No Quadro 2 pode ser observado que a umidade inicial variou entre os materiais genéticos. No *E. cloeziana*, a média de umidade inicial das tábuas ficou próxima de 40% enquanto nos Clones 1 e 3 as umidades foram as maiores, em torno de 80%.

4.2 – ACONDICIONAMENTO DAS TÁBUAS

Durante o processo de acondicionamento todas as tábuas ficaram na câmara climatizada até uma umidade aproximada de 15%, quando entraram em equilíbrio com a condição de temperatura e umidade relativa na qual ficaram expostas.

Durante o processo de acondicionamento dessas madeiras pôde-se observar que o PSF teórico (em torno de 30 % de umidade) foi atingido pela maioria dos materiais genéticos, em média, aos 10 dias. O *E. cloeziana* e o Clone 5, no entanto, atingiram esse ponto próximo aos 6 dias (Figura 12 e Figura 13). As Figuras 13 e 14 mostram que esses materiais genéticos apresentaram baixa umidade média no início do experimento. Dessa maneira a quantidade de água livre nessas tábuas foi bem inferior à de outros materiais genéticos.

As curvas de acondicionamento referentes a todos os materiais genéticos utilizados nesse experimento podem ser observadas em anexo.

4.3 - CARACTERÍSTICAS DAS TÁBUAS

As médias e os coeficientes de variação das características das tábuas de *Eucalyptus* estão apresentados no Quadro 3.

FIGURA 12 – COMPORTAMENTO DO ACONDICIONAMENTO EM CÂMARA CLIMATIZADA, DAS TÁBUAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus cloeziana*.

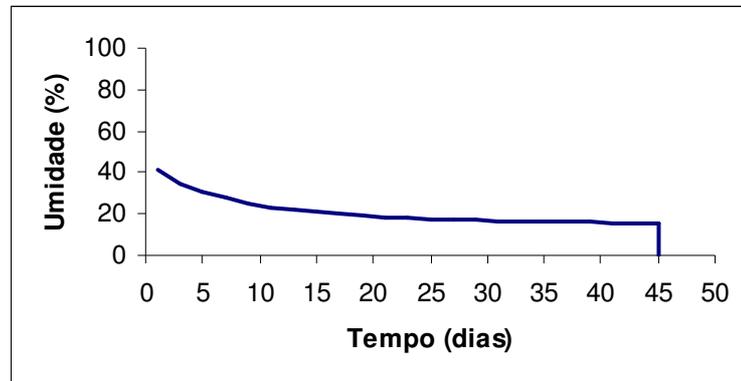
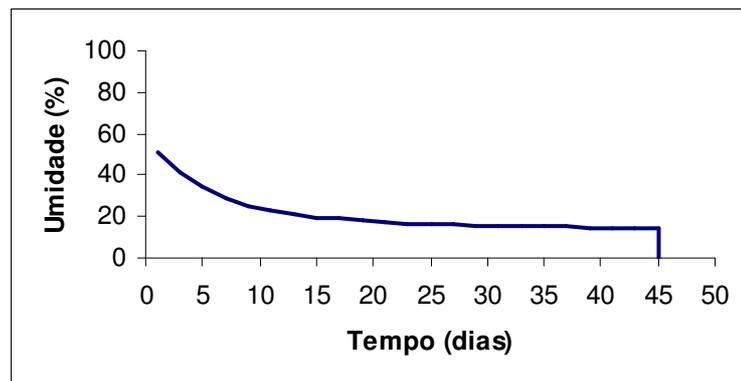


FIGURA 13 – COMPORTAMENTO DO ACONDICIONAMENTO EM CÂMARA CLIMATIZADA, DAS TÁBUAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*, CLONE 5.



O *E. cloeziana* apresentou o maior ângulo da grã medido nas tábuas e o Clone 7 o menor (Quadro 3). A inclinação das fibras em relação ao eixo principal da árvore e em relação à direção de propagação do som exerce grande influência na velocidade das ondas (TRINCA *et al.*). As diferenças entre as médias dos materiais genéticos foram pequenas, porém, apresentaram uma variação alta entre as tábuas do mesmo material genético como se verifica pelo coeficiente de variação. Essa variação pode ter sido influenciada pela presença de defeitos como nós e bolsas de quino em algumas tábuas.

QUADRO 3 - MÉDIA GERAL E COEFICIENTES DE VARIAÇÃO EM PORCENTAGEM DE CARACTERÍSTICAS DAS TÁBUAS DE *Eucalyptus*.

Materiais genéticos	Ângulo da grã (Graus)		Área de nó (cm ²)		Área de quino (cm ²)		Densidade básica (g/cm ³)	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
<i>E. urophylla</i>	2,34	58,5	5,0	105,5	0,9	308,7	0,615	8,3
<i>E. cloeziana</i>	3,04	51,1	14,9	95,1	1,6	206,4	0,772	4,2
Clone 1	2,22	66,3	8,0	91,5	0,1	4,4	0,525	5,0
Clone 2	2,84	52,2	10,4	85,0	2,9	92,6	0,568	4,8
Clone 3	2,26	45,9	14,6	65,0	0,1	4,4	0,555	7,6
Clone 4	1,81	48,1	19,7	69,7	0,0	0,0	0,588	4,0
Clone 5	2,03	26,4	6,2	89,7	0,1	436,3	0,565	4,2
Clone 6	1,83	45,7	11,6	73,9	15,0	268,9	0,630	4,3
Clone 7	1,78	33,1	9,9	130,6	2,9	228,2	0,514	7,1
Média	2,24	47,5	11,14	89,6	2,6	124,2	0,592	5,5

A área de nós medida nas tábuas mostra que o Clone 4 apresentou maior média e o *E. urophylla* a menor (Quadro 3). Os valores de coeficiente de variação foram elevados, principalmente pelo fato de que a quantidade de nós foi muito variável entre tábuas do mesmo material genético, considerando que das quatro tábuas amostradas por tora, duas se localizavam mais próximas à medula (maior possibilidade de ocorrência de nós) e as outras duas mais afastadas. Apesar disso, o *E. cloeziana* com árvores de diâmetros superiores apresentou elevada área de nós.

Se a média de área de nós for expressa em área por metro quadrado o valor será de 101,27 cm²/m², valor este, menor que aquele encontrado por Chies (2005) estudando a madeira de *Pinus* que foi 142,35 cm²/m² na média.

A média mais alta observada para área de quino ocorreu no Clone 6 enquanto no Clone 4, nenhuma tábua apresentou essa característica (Quadro 3). Em alguns materiais genéticos, o coeficiente de variação é alto e em outros, esse valor é baixo. Normalmente pequenas bolsas de quino ocorreram em várias tábuas dentro dos materiais genéticos (CV baixo), no entanto nos materiais genéticos onde esses coeficientes foram altos a ocorrência dessas bolsas foi muito freqüente apenas em algumas árvores, causando essas discrepâncias.

A média de área de quino foi $2,6 \text{ cm}^2$ o que corresponde a 0,24% da área da tábua. Esse valor é o dobro daquele encontrado por Caixeta *et al.* (2002) que foi 0,12% para a madeira de *Eucalyptus*.

O *E. cloeziana* apresentou maior densidade básica média e o Clone 7 apresentou menor. O maior CV foi apresentado pelo *E. urophylla* e o menor foi observado no Clone 4. Brito e Barrichelo (1980) encontraram densidade de $0,594 \text{ g/cm}^3$ para *E. urophylla*, $0,508 \text{ g/cm}^3$ para *E. cloesiana* e $0,406 \text{ g/cm}^3$ para *E. grandis*, todos com 4 anos de idade. Esses valores são inferiores aos encontrados nesse experimento, principalmente para *E. urophylla* e *E. cloeziana* pela idade dessas espécies nesse trabalho.

4.4 - APLICAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NAS TÁBUAS

As velocidades de propagação das ondas de tensão são apresentadas no Quadro 4 com valores mínimos, médios e máximos em cada material genético.

A aplicação das ondas de tensão nas tábuas, durante o experimento, resultou em valores de velocidade de propagação entre 2883 m.s^{-1} e 4790 m.s^{-1} , considerando todas as tábuas. Esses valores apresentam uma amplitude maior do que a relatada por Oliveira *et al.* (2006-b), em equipamento de ultra-som. Esses autores encontraram valores entre 3296 m.s^{-1} e 4360 m.s^{-1} para a madeira de *E. grandis* e entre 4048 m.s^{-1} e 4777 m.s^{-1} para *E. citriodora*. Essa diferença de amplitude provavelmente ocorreu devido a diferenças nas dimensões do corpo-de-prova, sendo este um dos fatores que pode provocar variações na velocidade de propagação das ondas (OLIVEIRA *et al.*, 2005-b e OLIVEIRA *et al.* 2006-a). Além disso, Nogueira e Ballarin (2006) afirmaram que amostras maiores tendem a apresentar maior

quantidade de defeitos e esses defeitos podem se apresentar externamente nas peças ou internos e imperceptíveis.

QUADRO 4 - VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO APLICADAS NA MADEIRA DE *Eucalyptus*.

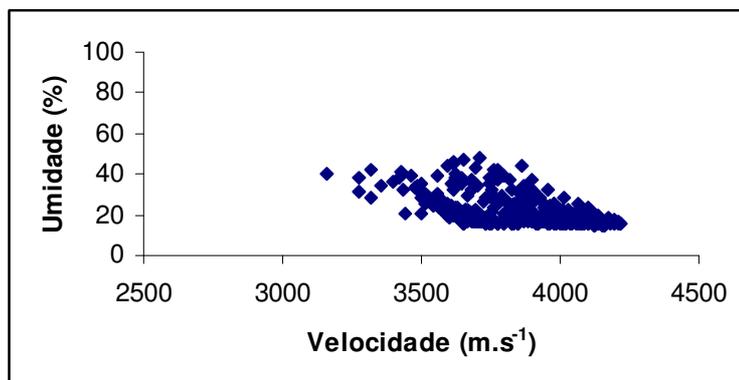
Materiais genéticos	Velocidade de propagação das ondas de tensão (m.s ⁻¹)		
	Mínima	Média	Máxima
<i>E. urophylla</i>	3542	4216	4761
<i>E. cloeziana</i>	3162	3843	4451
Clone 1	3311	4123	4589
Clone 2	3394	4197	4694
Clone 3	3008	4143	4644
Clone 4	2883	4001	4565
Clone 5	3744	4402	4790
Clone 6	3327	4174	4697
Clone 7	3158	4145	4705

Além desse fator, as tábuas utilizadas para a aplicação das ondas de tensão neste trabalho não foram classificadas quanto à presença de defeitos, enquanto que no experimento de Oliveira *et al.* (2006-a), foi pressuposto que as amostras tenham sido selecionadas de maneira que a presença de defeitos visíveis fosse evitada. As características anatômicas, físicas e mecânicas da madeira também influenciaram nas diferenças de velocidade de propagação. No entanto essa influência parece ter menos importância que as variações citadas anteriormente, pois os dois experimentos utilizaram madeira de *Eucalyptus* com características parecidas.

Em anexo são apresentados os gráficos de dispersão onde se verifica a variação da umidade da madeira em função da velocidade de propagação das ondas de tensão nas tábuas de *Eucalyptus* para cada um dos materiais genéticos.

A Figura 14 mostra que o *E. cloeziana* demonstrou uma variação no gráfico em relação à outros materiais genéticos. Nesta espécie todas as tábuas apresentaram umidades inferiores a 50 %.

FIGURA 14 – VARIACÃO DA UMIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus cloeziana* EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO.



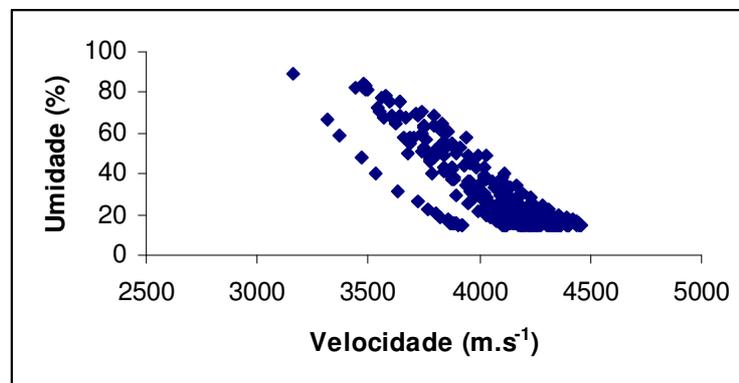
Em todas as tábuas de todos os materiais genéticos houve diminuição da umidade com o aumento da velocidade de propagação das ondas de tensão, assim como observado nas pesquisas de Costa e Gonçalves (2006) e de Oliveira *et al.* (2006-b) para madeiras de coníferas e folhosas.

Durante a coleta dos dados de velocidade de propagação das ondas de tensão nas tábuas foi observada uma tendência de variação. Esporadicamente, entre uma e outra leitura observou-se uma oscilação na velocidade das ondas na medida em que a umidade das tábuas diminuía. Isso ocorreu aleatoriamente em alguns pontos nas tábuas, em umidades abaixo e acima do PSF. Nessas leituras foram observados valores bem diferentes daqueles que vinham sendo registrados, algumas vezes maiores e outras vezes menores. Essas variações podem ter ocorrido por uma mudança na trajetória das ondas de tensão na tábua, talvez causada pela presença de defeitos imperceptíveis. Quando acima do PSF, o deslocamento momentâneo de uma massa de água na trajetória da onda pode ter provocado seu desvio. Abaixo do PSF essa variação pode ter ocorrido pela acomodação das paredes das fibras causada pela saída da água adsorvida da parede. Além disso, pequenas distorções quanto ao ajuste correto do equipamento no ponto de aplicação das ondas nas tábuas podem ter ocorrido, o que poderia

causar erros de determinação. Essa variação, no entanto, acontecia na tábua, por uma ou mais leituras consecutivas e logo após, as leituras voltavam aos padrões anteriores. Foram observados supostos desvios de rota no *E. urophylla*, *E. cloeziana* e nos clones 1, 3, 4 e 6 em maiores ou menores intensidades.

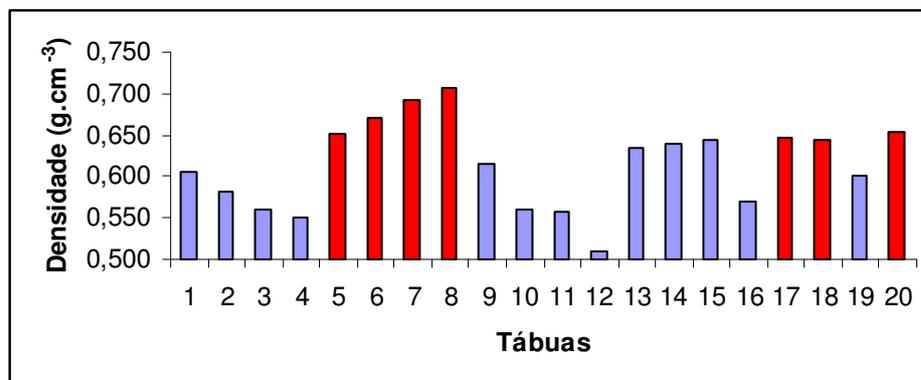
No *E. urophylla*, *E. cloeziana* e nos Clones 4, 5, 6 e 7 pode ser notada no gráfico de dispersão da umidade da madeira em função da velocidade de propagação das ondas de tensão, uma tendência de alguns pontos se distinguirem dos demais. A Figura 15 apresenta o Clone 7 como exemplo dessa tendência. Esses pontos foram rastreados e as respectivas tábuas separadas. Cada tábua foi analisada quanto aos defeitos perceptíveis, localização na tora e densidade. Essa observação mostrou possíveis motivos para a dispersão diferenciada.

FIGURA 15 – GRÁFICO DE DISPERSÃO DO CLONE 7 MOSTRANDO A TENDÊNCIA DE DISPERSÕES DIFERENCIADAS OCORRIDA EM UMA TÁBUA DENTRO DO CLONE.



No *E. urophylla*, a análise dos pontos mostrou que os pontos vieram de tábuas com maior densidade básica como apresentado na Figura 16.

FIGURA 16 - DENSIDADE BÁSICA DAS TÁBUAS DE *E. urophylla* DESTACANDO AQUELAS COM MAIORES DENSIDADES, QUE APRESENTARAM DISPERSÕES DIFERENCIADAS.



O *E. cloeziana* apresentou duas razões que podem ter influenciado na dispersão diferenciada de algumas tábuas. O primeiro deles está relacionado com o número e a área de nós em algumas tábuas. Apesar das grandes dimensões dos nós, a disposição desses na tábua parece ser o principal fator para essas distorções. Outro fator que pode ter contribuído para essa dispersão diferenciada é a orientação dos componentes anatômicos na tábua. Nessa espécie, como as toras foram mais grossas, foram produzidas tábuas mais largas. A largura dessas tábuas foi diminuída a dez centímetros. No entanto, ao invés de se retirar a parte central na largura da tábua, retirou-se uma das extremidades (Figura 17). As tábuas obtidas dessa maneira ficaram com uma orientação diferente das demais, mudando as características de propagação e de espalhamento das ondas de tensão na madeira. Além desse fato, as proporções de madeira juvenil entre os pontos, mais próximo e mais afastado da medula, também podem ter influenciado.

Entre os clones de *E. grandis*, os Clones 4, 5, 6 e 7 apresentaram tábuas com dispersões diferenciadas. Os desvios foram registrados apenas em algumas tábuas que se localizavam muito próximas da medula. Nessa região, a madeira do início do período vegetativo pode ter influenciado na propagação das ondas. Outro fator que pode ter

contribuído foi a orientação anatômica, pois as tábuas muito próximas à medula são praticamente radiais. No Clone 5 as tábuas mais próximas à medula apresentaram muitos nós. Esses nós podem ter afetado muito mais a propagação das ondas de tensão do que em tábuas mais tangenciais, considerando que em uma tábua radial os nós se apresentam de maneira longitudinal a seu eixo, enquanto que em tábuas tangenciais estes se apresentam transversais ao seu eixo, diminuindo a sua área de influência (Figura 18).

FIGURA 17 - LOCALIZAÇÃO DA AMOSTRA RETIRADA NA TÁBUA CAUSANDO ORIENTAÇÃO DIFERENCIADA DOS COMPONENTES ANATÔMICOS NA MADEIRA DE *Eucalyptus*.

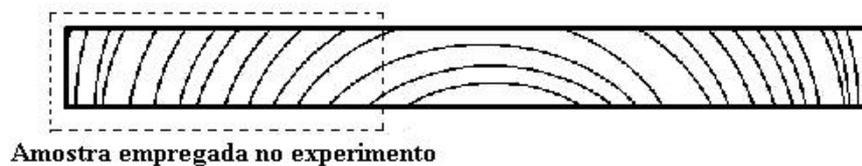
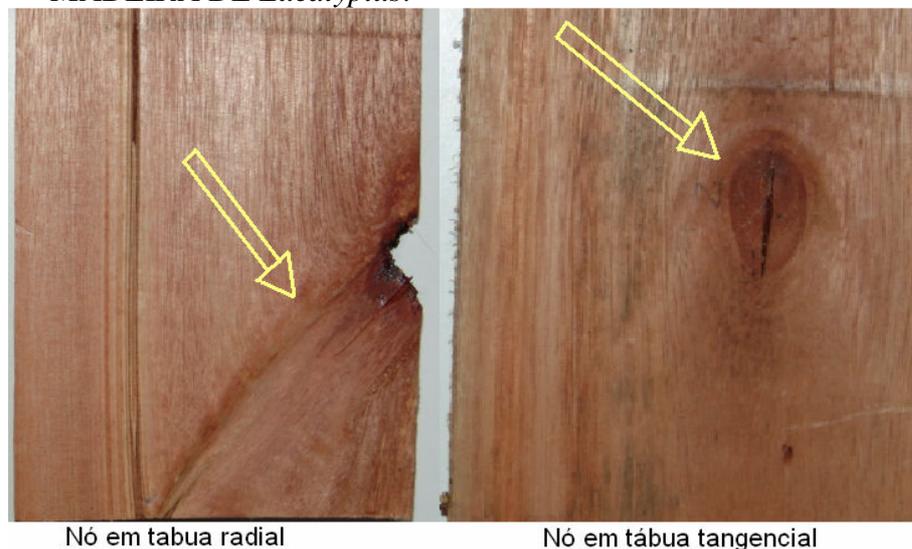


FIGURA 18 – REPRESENTAÇÃO DE NÓS EM TÁBUA RADIAL E TANGENCIAL DA MADEIRA DE *Eucalyptus*.



4.5 - VARIAÇÃO DA PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO ENTRE MATERIAIS GENÉTICOS E TÁBUAS

A análise de variância considerando os dados de todos os materiais genéticos juntos é apresentada no Quadro 5.

QUADRO 5 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA VELOCIDADE DA ONDA DE TENSÃO EM FUNÇÃO DE MATERIAL GENÉTICO E TÁBUA PARA A MADEIRA DE *Eucalyptus* JUNTOS.

Todos os materiais genéticos juntos		
FV	GL	QM
Material genético	8	11211300**
Tábua	3	6142760**
Leitura	23	5633120**
Resíduo	4285	

** Significativo ao nível de 1 %

Essa análise apresenta uma significância estatística ao nível de 1 % para material genético, tábua e leitura, mostrando que pelo menos um dos materiais genéticos difere dos demais com relação à velocidade de ondas de tensão. Pelo menos uma tábua também difere das demais considerando essa característica. A significância de leitura mostra variação da velocidade de propagação das ondas de tensão no tempo.

No Quadro 6 são apresentados os resultados das análises de variância dos materiais genéticos de *Eucalyptus*.

Todos os materiais genéticos apresentaram significância estatística ao nível de 1 % para tábua, com exceção do *E. cloeziana* cuja significância estatística para tábua não existe. Isso mostra que pelo menos uma tábua se diferencia das demais em relação à propagação das ondas de tensão. Todos os materiais genéticos apresentaram significância estatística para

leitura, confirmando a variação na velocidade de propagação das ondas no tempo, observada visualmente nos gráficos de dispersão da umidade em função da velocidade.

QUADRO 6 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA VELOCIDADE DA ONDA DE TENSÃO EM FUNÇÃO DE TÁBUA PARA OS DADOS DOS MATERIAIS GENÉTICOS DE *Eucalyptus* sp.

<i>E. urophylla</i>		
FV	GL	QM
Tábua	3	340899**
Leitura	23	600453**
Resíduo	453	29182
<i>E. cloeziana</i>		
FV	GL	QM
Tábua	3	58255,3
Leitura	23	256657**
Resíduo	453	29551,1
Clone 1		
FV	GL	QM
Tábua	3	636418**
Leitura	23	886931**
Resíduo	453	7653,14
Clone 2		
FV	GL	QM
Tábua	3	1246200**
Leitura	23	781837**
Resíduo	453	4511,71
Clone 3		
FV	GL	QM
Tábua	3	885561**
Leitura	23	915319**
Resíduo	453	18901,4
Clone 4		
FV	GL	QM
Tábua	3	1094500**
Leitura	23	655701**
Resíduo	453	21286
Clone 5		
FV	GL	QM
Tábua	3	507938**
Leitura	23	374419**
Resíduo	453	6203,99
Clone 6		
FV	GL	QM
Tábua	3	1805410**
Leitura	23	571726**
Resíduo	453	9360
Clone 7		
FV	GL	QM
Tábua	3	1265030**
Leitura	23	806658**
Resíduo	453	9403,66

** Significativo ao nível de 1 %

4.6 – ASSOCIAÇÕES ENTRE A PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO E AS CARACTERÍSTICAS DAS TÁBUAS

Analisando-se a correlação entre a velocidade das ondas de tensão e a umidade das tábuas pôde-se observar uma significância estatística ao nível de 1 % de probabilidade para todos os materiais genéticos estudados (Quadro 7). O *E. urophylla*, apresentou um coeficiente de correlação intermediário aos demais. O coeficiente de correlação mais baixo foi observado no *E. cloeziana*. Os demais materiais genéticos apresentaram alta correlação em relação a esses citados.

Essa variação nos valores de correlação entre a velocidade de propagação das ondas de tensão e a umidade da madeira pode ter ligação com a espécie considerada. *E. urophylla* e *E. cloeziana*, que apresentaram valores diferentes dos demais, são de idades diferentes.

QUADRO 7 - CORRELAÇÕES DE PEARSON OBTIDAS ENTRE A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO E AS CARACTERÍSTICAS DAS MADEIRAS DE *Eucalyptus* sp.

Características da madeira	Velocidade de propagação das ondas de tensão (m.s ⁻¹)				
	Todos os materiais genéticos	<i>E. urophylla</i>	<i>E. cloeziana</i>	Clone 1	Clone 2
Umidade (%)	-0,68**	-0,69**	-0,53**	-0,93**	-0,90**
Ângulo da grã (graus)	-0,13**	-0,19**	-0,29**	0,16**	0,24**
Área de nó (cm ²)	-0,41**	0,12*	-0,33**	-0,26**	-0,34**
Área de quino (cm ²)	-0,01	0,09	-0,11*	0,13**	-0,02
Densidade básica (g/cm ³)	-0,26**	-0,47**	-0,55**	0,32**	0,31**
Características da madeira	Velocidade de propagação das ondas de tensão (m.s ⁻¹)				
	Clone 3	Clone 4	Clone 5	Clone 6	Clone 7
Umidade (%)	-0,87**	-0,78**	-0,86**	-0,81**	-0,86**
Ângulo da grã (graus)	-0,34**	0,02	-0,18**	-0,32**	0,09
Área de nó (cm ²)	-0,39**	-0,39**	-0,40**	-0,56**	-0,44**
Área de quino (cm ²)	-0,09	-	-0,02	-0,07	0,02
Densidade básica (g/cm ³)	0,44**	0,45**	0,43**	0,31**	0,35**

** - Significativo ao nível de 1 %

* - Significativo ao nível de 5 %

Considerando a área de quino, onde se observam correlações baixas, pode-se deduzir que essa variável, isoladamente, não afetou significativamente a propagação da onda na madeira. A área de quino raramente foi observada atravessando a tábua em sua espessura, ocorrendo na grande maioria dos casos, apenas superficialmente.

O ângulo da grã não apresentou correlação com a velocidade de propagação das ondas de tensão nos Clones 4 e 7 enquanto nos demais apenas uma correlação fraca foi observada (Quadro 7). Essa correlação baixa indica que o comportamento da grã isoladamente, não explica a variação na velocidade das ondas de tensão na tábua.

Dentre todas as características das tábuas, a área de nó e a densidade básica foram as que apresentaram maiores correlações com a velocidade das ondas de tensão, considerando-se os materiais genéticos individualmente. Apenas no *E. urophylla* a correlação entre a área de nós e a velocidade apresentou correlação inferior às demais e sua significância estatística apenas foi observada a 5% de probabilidade. Isso pode ser explicado pela pequena quantidade de nós apresentada nessa espécie.

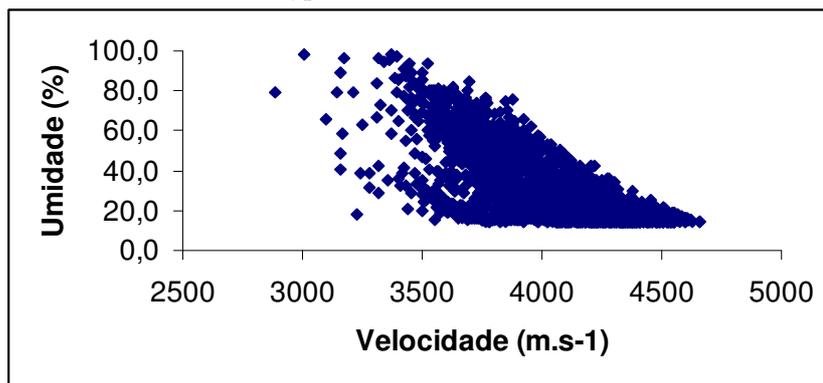
A densidade básica influenciou a velocidade de propagação de ondas de tensão de maneira diferente entre as espécies. Para os clones de *E. grandis* a densidade se correlacionou positivamente e para *E. urophylla* e *E. cloeziana* a correlação foi negativa. Essas diferenças podem estar relacionadas à diferença de idade entre as espécies estudadas.

4.7 – UMIDADE EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO

Durante o experimento pôde-se observar que à medida que a umidade da madeira diminuiu, a velocidade de propagação das ondas de tensão aumentou. Essa tendência pode ser

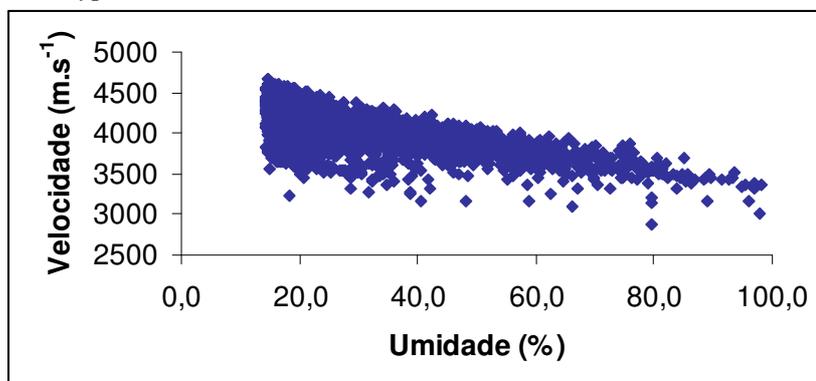
observada na Figura 19 e esses dados foram tomados de todos os materiais genéticos para estimar a umidade da madeira. Os gráficos de dispersão da umidade em função da velocidade de propagação das ondas, para cada material genético são apresentados em anexo.

FIGURA 19 – DISPERSÃO DOS DADOS DE UMIDADE DA MADEIRA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NA MADEIRA DE *Eucalyptus*.



Para melhor visualização dessa tendência esses mesmos pontos são apresentados na Figura 20, invertendo-se os eixos do gráfico, ou seja, a velocidade em função da umidade.

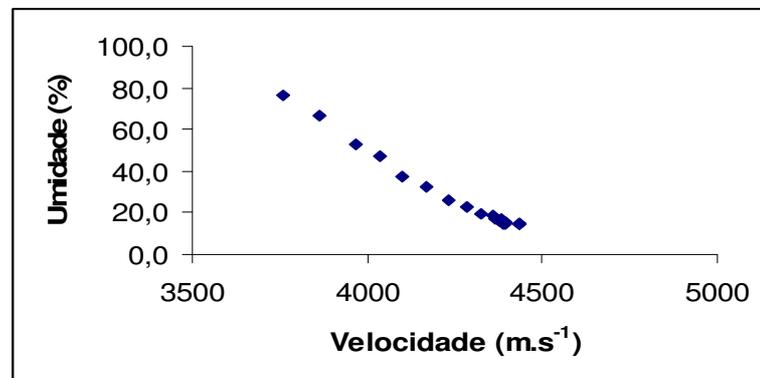
FIGURA 20 - DISPERSÃO DOS DADOS DE VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO EM FUNÇÃO DA UMIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus*.



Na seleção dos melhores modelos de regressão foram testadas equações lineares e não-lineares, na tentativa de utilizar a velocidade de propagação das ondas de tensão para a estimativa da umidade da madeira.

Os dados de umidade em função da velocidade de propagação das ondas de tensão em cada tábua individualmente apresentaram um comportamento muito parecido e a dispersão de uma tábua de *E. grandis* é apresentado na Figura 21.

FIGURA 21 - DISPERSÃO DOS DADOS DE UMIDADE EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO EM UMA TÁBUA DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*.



A estimativa da umidade da madeira, com todos os dados de velocidade das ondas coletados, foi possível com uma equação linear múltipla onde foram consideradas a área de nós e a densidade básica da madeira (Quadro 8). No entanto, eliminando-se aquelas tábuas que apresentaram dispersões diferenciadas dentro dos materiais genéticos, obteve-se uma equação não-linear onde a umidade é estimada apenas pela velocidade de propagação das ondas.

Com ajustes lineares foram obtidas quatro equações sendo, uma equação geral e uma equação para cada uma das três espécies estudadas.

QUADRO 8 – RESULTADOS DO AJUSTE DO MODELO DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA QUE DESCREVE A RELAÇÃO ENTRE A UMIDADE DA MADEIRA E A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO UTILIZANDO-SE A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO, ÁREA DE NÓS E A DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DE *Eucalyptus*.

Variáveis	Coefficientes estimados
Constante	2227,83**
V^2	-0,000275356**
V^3	0,0000000371332**
$1 / V^3$	-16226400000000**
NA	40,4397**
Db	-2226,1**
AN^2	-0,0847639**
Db^2*NA	1,19099**
$V*Db$	0,919716**
V^2*Db	-0,0000686911**
V^2*Db^2	-0,0000210528**
$V*NA$	-0,0200876**
V^2*NA	0,00000243591*
V^2*AN^2	0,0000000544034**

V = velocidade de propagação das ondas de tensão Db = densidade básica AN = área de nós

R^2 – 80,43%

S_{yx} – 6,53442% **

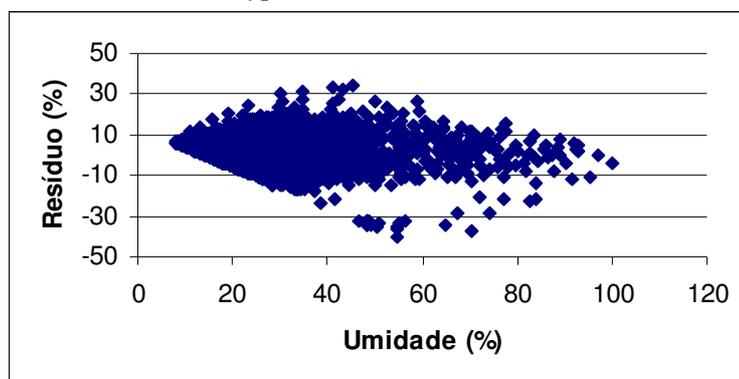
Apenas uma variável foi significativa ao nível de 5% de probabilidade, as demais tiveram significância a 1% de probabilidade.

O coeficiente de determinação dessa equação foi 80,43% e o erro padrão da estimativa foi 6,53442%, sendo significativo ao nível de 1% de probabilidade. O gráfico de resíduos relativo à estimativa da equação geral é apresentado na Figura 22.

Além da equação geral, os dados foram separados por espécie e dessa maneira foram ajustadas outras três equações.

A equação linear múltipla que explica a umidade da madeira em função da velocidade de propagação das ondas de tensão, densidade básica e área de nós da madeira de *E. urophylla*, é apresentada no Quadro 9.

FIGURA 22 – DISPERSÃO DOS RESÍDUOS DO AJUSTE DA EQUAÇÃO GERAL QUE ESTIMA A UMIDADE DA MADEIRA A PARTIR DA PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO, DENSIDADE BÁSICA E ÁREA DE NÓS DA MADEIRA DE *Eucalyptus*.



QUADRO 9 - RESULTADOS DO AJUSTE DO MODELO DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLO QUE DESCREVE A RELAÇÃO ENTRE A UMIDADE DA MADEIRA E A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO, DENSIDADE BÁSICA E ÁREA DE NÓS DA MADEIRA DE *E. urophylla*.

Variáveis	Coefficientes estimados
Constante	1865,42**
V^2	-0,000076355**
$1 / V^3$	-29309900000000**
NA	-2,2053**
Db	6426,88**
AN^2	0,0487298**
$Db^2 * NA$	4,5069**
$V * Db$	-3,63927**
$V^2 * Db$	0,000492849**

V = velocidade de propagação das ondas de tensão Db = densidade básica AN = área de nós

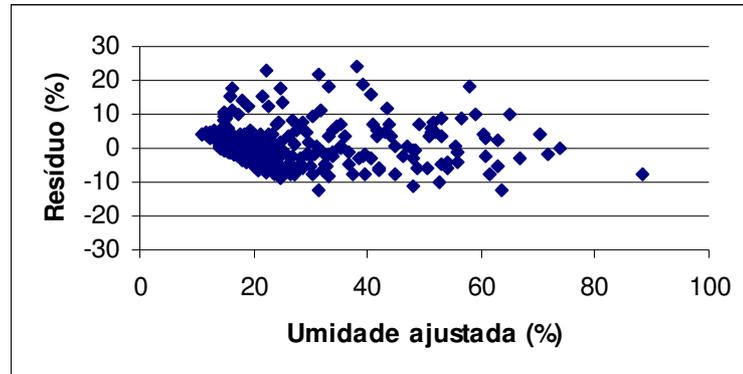
R^2 – 85,82%

S_{yx} – 5,09619%**

Todas as variáveis do ajuste foram significativas ao nível de 5% de significância estatística.

Apesar das tábuas dessa espécie terem apresentado uma grande variação de densidade básica, ela apresentou o melhor ajuste entre as espécies estudadas, com coeficiente de determinação de 85,82 e erro padrão da estimativa de 5,09619, significativo ao nível de 1% de probabilidade. O gráfico de resíduos referente a esse ajuste é apresentado na Figura 23.

FIGURA 23 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS DO AJUSTE DA EQUAÇÃO QUE ESTIMA A UMIDADE DA MADEIRA A PARTIR DA PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO, DENSIDADE BÁSICA E ÁREA DE NÓS DA MADEIRA DE *E. urophylla*.



A equação que explica a umidade da madeira de *E. cloeziana* é apresentada no Quadro 10.

QUADRO 10 - RESULTADOS DO AJUSTE DO MODELO DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA QUE DESCREVE A RELAÇÃO ENTRE A UMIDADE DA MADEIRA E A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO, DENSIDADE BÁSICA E ÁREA DE NÓS DA MADEIRA DE *Eucalyptus cloeziana*.

Variáveis	Coefficientes estimados
Constante	-846,535*
V^2	0,000546461**
V^3	-0,000000123956**
$1 / V^3$	-45614000000000**
Db	21576**
$V*Db$	-11,6315**
V^2*Db	0,00155685**
V^2*Db^2	-0,00000000022303**

V = velocidade de propagação das ondas de tensão Db = densidade básica AN = área de nós

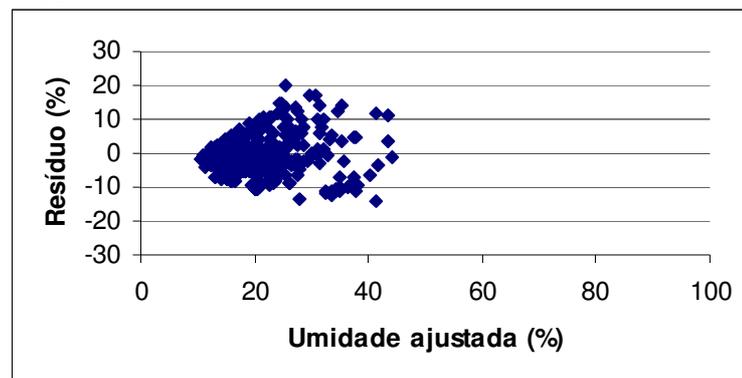
R^2 - 49,01%

S_{yx} -4,8852%**

A constante da equação foi significativa ao nível de 5% de probabilidade e as demais variáveis foram significativas ao nível de 1% de probabilidade.

Para *E. cloeziana* o ajuste apresentou o menor coeficiente de determinação em relação aos demais materiais genéticos com o valor de 49,01% e erro padrão da estimativa de 4,8852%, significativo ao nível de 1% de probabilidade. Esses valores podem ser explicados pela baixa umidade inicial apresentada pelas tábuas desse material genético e desse modo o ajuste foi feito em uma menor amplitude de umidade da madeira (entre 15% e 50%). O gráfico de resíduos desse ajuste é apresentado na Figura 24.

FIGURA 24 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS DO AJUSTE DA EQUAÇÃO QUE ESTIMA A UMIDADE DA MADEIRA A PARTIR DA PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO, DENSIDADE BÁSICA E ÁREA DE NÓS DA MADEIRA DE *Eucalyptus cloeziana*.



Para os clones de *E. grandis* também se obteve uma equação linear múltipla que explica a umidade da madeira através da propagação das ondas de tensão, densidade básica e área de nós da madeira. Para essa espécie, no entanto utilizou-se um número muito maior de dados para o ajuste em relação às outras espécies, já que sete dos nove materiais genéticos estudados eram clones dessa espécie. O resultado é apresentado no Quadro 11.

Todas as variáveis que compõem a equação foram significativas ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 11 - RESULTADOS DO AJUSTE DO MODELO DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA QUE DESCREVE A RELAÇÃO ENTRE A UMIDADE DA MADEIRA E A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO, DENSIDADE BÁSICA E ÁREA DE NÓS DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*.

Variáveis	Coefficientes estimados
Constante	2713,71**
V^2	-0,000392668**
V^3	0,0000000591096**
$1 / V^3$	-15940500000000**
NA	47,9867**
Db	-5570,42**
AN^2	-0,0818375**
$Db^2 * NA$	-2,06394**
$V * Db$	2,79323**
$V^2 * Db$	-0,000338001**
$V^2 * Db^2$	-0,00000688558**
$V * NA$	-0,0238343**
$V^2 * NA$	0,00000295102**
$V^2 * AN^2$	0,000000005,44206**

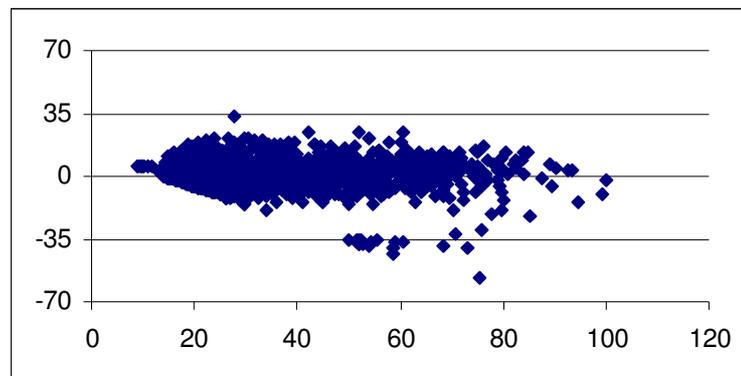
V = velocidade de propagação das ondas de tensão Db = densidade básica AN = área de nós

R^2 -85,22%

S_{yx} -6,04128%**

O coeficiente de determinação para a estimativa da umidade das tábuas de *E. grandis* foi 85,22% e o erro padrão da estimativa foi 6,04128%, significativo ao nível de 1% de probabilidade. O gráfico de resíduos dessa estimativa é apresentado na Figura 25.

FIGURA 25 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS DO AJUSTE DA EQUAÇÃO QUE ESTIMA A UMIDADE DA MADEIRA EM FUNÇÃO DA PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO, DENSIDADE BÁSICA E ÁREA DE NÓS DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*.



O erro percentual da estimativa, que compara a umidade estimada pelas equações lineares múltiplas com a umidade real, é apresentado no Quadro 12.

QUADRO 12 – ERRO DA UMIDADE ESTIMADA PELAS EQUAÇÕES LINEARES MÚLTIPLAS EM RELAÇÃO À UMIDADE REAL DA MADEIRA DE *Eucalyptus*.

Equação	Erro (%)
Geral	18,99
<i>E. urophylla</i>	14,63
<i>E. cloeziana</i>	19,02
Clones de <i>E. grandis</i>	15,99

As equações apresentaram erros percentuais muito parecidos. A equação geral apresentou um erro de 18,99%. O *E. urophylla* apresentou o maior erro, provavelmente pela umidade inicial das amostras já comentadas anteriormente. Os coeficientes de variação foram elevados em todos os materiais genéticos.

Os gráficos que mostram a sobreposição das dispersões da umidade real e da umidade estimada pela equação linear múltipla são apresentados em anexo.

Eliminando-se as tábuas que apresentaram dispersões diferenciadas obtiveram-se novos gráficos de dispersão dos dados de umidade da madeira em função da velocidade de propagação das ondas de tensão por espécie. Esses gráficos podem ser observados em anexo.

Devido a não linearidade visual dos dados de dispersão foram feitos ajustes não-lineares. Foram utilizados modelos com 3 coeficientes, no programa R. Com esses ajustes foram obtidas quatro equações sendo, uma equação geral e uma equação para cada uma das três espécies estudadas. O modelo da equação não-linear é apresentado a seguir:

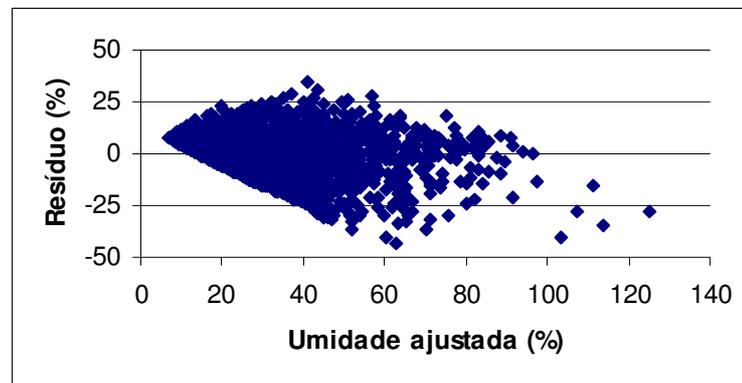
$$U = \frac{P1}{1 + EXP\left[\left(\frac{P2 - V}{P3}\right)\right]}$$

A equação geral ajustada com dados de todas as espécies juntas foi a seguinte:

$$U = \frac{165,2421}{1 + \text{EXP}\left[\left(\frac{3449,077 - V}{-385,3317}\right)\right]}$$

O gráfico de resíduos relativo à estimativa da equação geral é apresentado na Figura 26.

FIGURA 26 – DISPERSÃO DOS RESÍDUOS DO AJUSTE DA EQUAÇÃO GERAL NÃO-LINEAR QUE ESTIMA A UMIDADE DA MADEIRA A PARTIR DA PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NA MADEIRA DE *Eucalyptus*.



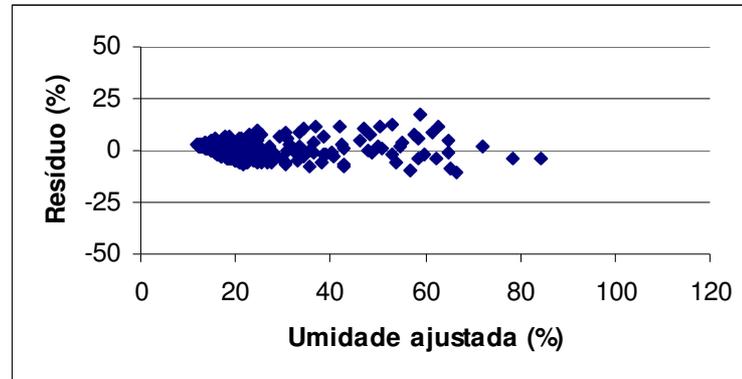
Além da equação geral, os dados foram separados por espécie e dessa maneira foram ajustadas outras três equações.

A equação que explica a variação de umidade de *E. urophylla* é:

$$U = \frac{245,861125}{1 + \text{EXP}\left[\left(\frac{3449,08831293 - V}{370,293818}\right)\right]}$$

O gráfico de resíduos referente a esse ajuste é apresentado na Figura 27.

FIGURA 27 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS DO AJUSTE NÃO-LINEAR DA EQUAÇÃO QUE ESTIMA A UMIDADE DA MADEIRA A PARTIR DA PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NA MADEIRA DE *Eucalyptus urophylla*.

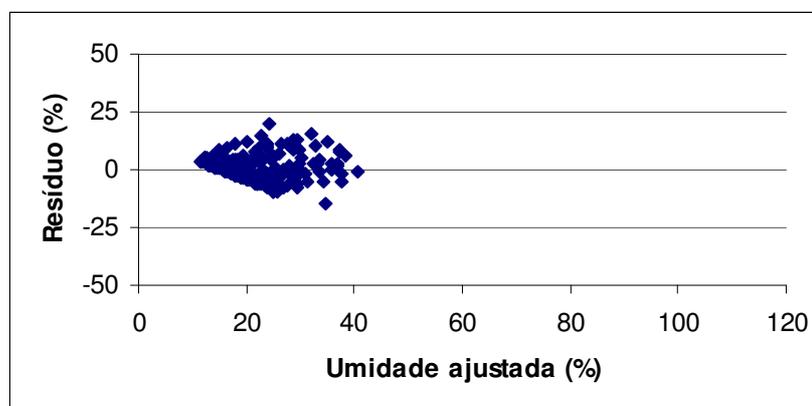


A equação não-linear que explica a umidade da madeira de *E. cloeziana* em função da velocidade de propagação das ondas de tensão é:

$$U = \frac{94,524889}{1 + \text{EXP}\left[\left(\frac{3448,93880242 - V}{390,159762}\right)\right]}$$

O gráfico de resíduos desse ajuste é apresentado na Figura 28.

FIGURA 28 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS DO AJUSTE NÃO-LINEAR DA EQUAÇÃO QUE ESTIMA A UMIDADE DA MADEIRA A PARTIR DA PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NA MADEIRA DE *Eucalyptus cloeziana*.

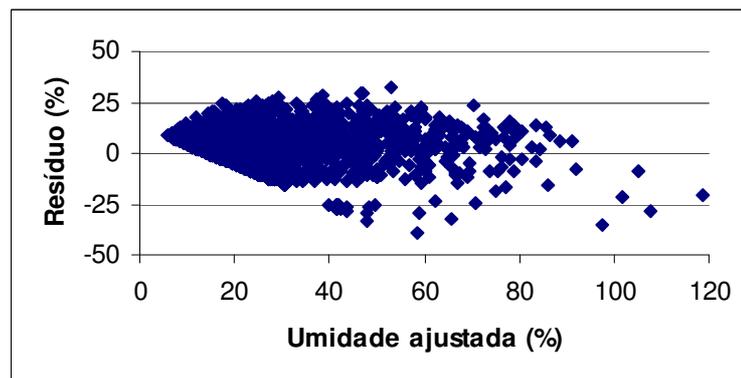


Para os clones de *E. grandis* também se obteve uma equação não-linear. Dessa maneira, a equação gerada para estimar a umidade da madeira de *E. grandis* foi:

$$U = \frac{155,340286}{1 + \text{EXP}\left[\left(\frac{3449,20388465 - V}{-375,12188}\right)\right]}$$

O gráfico de resíduos dessa estimativa é apresentado na Figura 29.

FIGURA 29 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS DO AJUSTE NÃO-LINEAR DA EQUAÇÃO QUE ESTIMA A UMIDADE DA MADEIRA EM FUNÇÃO DA PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*.



O erro percentual da estimativa, que compara a umidade estimada pelas equações não-lineares com a umidade real, é apresentado no Quadro 13.

QUADRO 13 - ERRO OBSERVADO NA ESTIMATIVA DA UMIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus* POR EQUAÇÕES NÃO-LINEARES EM RELAÇÃO A UMIDADE REAL.

Equação	Erro (%)
Geral	30,61
<i>E. urophylla</i>	24,94
<i>E. cloeziana</i>	18,09
Clones de <i>E. grandis</i>	25,80

As equações não-lineares apresentaram erros percentuais muito parecidos. A equação geral apresentou um erro de 30,61%. O *E. grandis* apresentou o maior erro e o menor coeficiente de variação.

Os gráficos que mostram a sobreposição das dispersões da umidade real e das umidades ajustadas em função da velocidade de propagação das ondas de tensão para os ajustes não-lineares são apresentados em anexo.

4.8 – RELAÇÃO ENTRE A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO E AS DIMENSÕES DOS COMPONENTES DA MADEIRA

No Quadro 14 são apresentadas as médias e os coeficientes de variação da velocidade de propagação e constituintes anatômicos da madeira de *Eucalyptus*.

QUADRO 14 - MÉDIAS E COEFICIENTES DE VARIAÇÃO EM PORCENTAGEM, DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO E COMPONENTES ANATÔMICOS DA MADEIRA DE *Eucalyptus*.

Materiais genéticos	Velocidade (m.s ⁻¹)		Comprimento (mm)		Parede (µm)	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV
<i>E. urophylla</i>	4205	6,3	1,14	7,2	6,4	9,6
<i>E. cloeziana</i>	3957	6,1	1,12	5,3	6,7	9,7
Clone 1	4157	5,7	1,31	5,6	7,9	7,5
Clone 2	4283	5,5	1,09	5,0	6,0	8,6
Clone 3	4172	6,4	1,14	6,2	5,6	7,4
Clone 4	3971	8,2	1,08	10,3	5,2	4,1
Clone 5	4440	4,4	1,22	9,4	5,0	4,2
Clone 6	4209	5,4	1,09	7,1	5,1	6,8
Clone 7	4200	5,5	1,11	5,7	4,9	6,3
Clones	Lume (µm)		Diâmetro dos poros (µm)		Frequência de vasos / mm ²	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV
<i>E. urophylla</i>	7,4	20,3	158,6	13,9	19,3	33,7
<i>E. cloeziana</i>	7,0	22,1	150,6	8,5	20,5	12,4
Clone 1	7,2	15,6	131,1	11,1	25,8	14,0
Clone 2	6,9	15,3	124,9	7,4	21,5	16,3
Clone 3	8,9	15,7	122,4	8,8	25,1	14,5
Clone 4	8,4	11,8	119,1	13,9	33,5	26,3
Clone 5	9,1	9,3	141,1	12,1	19,2	25,8
Clone 6	8,5	12,9	130,4	9,8	23,0	15,5
Clone 7	9,9	12,0	135,1	8,4	24,0	12,8

As dimensões das fibras foram maiores em relação a Cruz (2000) estudando a madeira de *Eucalyptus*, que registrou em média, fibras com 1,14 mm, com espessura da parede de 4,42 e 7,73 μm de lume. Os vasos também apresentaram maiores dimensões em relação ao mesmo autor, que apresentou 124 μm de largura com uma frequência de 14 vasos/ mm^2 , em média.

Os Clones 4 e 6 apresentaram o menor comprimento das fibras e o Clone 1 o maior (Quadro 14). A parede mais fina foi observada no Clone 7 e a mais espessa no Clone 1. O diâmetro do lume das fibras foi menor no Clone 2 e o maior no Clone 7.

O *E. cloeziana* apresentou comprimentos de fibras intermediários, porém apresentou parede espessa e diâmetro do lume pequeno. O Clone 5 possui fibras menores com paredes mais finas e lume de maiores diâmetros em relação aos demais.

E. urophylla e *E. cloeziana* apresentaram poros com maiores diâmetros e juntamente com o Clone 5 apresentaram menores frequências de vaso. A principal diferença entre esses dois materiais genéticos, considerando o diâmetro e a frequência dos vasos, é o coeficiente de variação. Em *E. cloeziana*, o CV dessas duas características está entre os mais baixos e no *E. urophylla*, entre os mais altos. Além das menores frequências de vasos, a madeira do Clone 5 apresentou ainda, poros com maiores diâmetros em relação aos outros clones de *E. grandis*. Os poros com menores diâmetros e maiores frequências foram os do Clone 4.

Considerando-se as características anatômicas dessas madeiras e que a onda se propaga pela parede das fibras, pode-se inferir que a menor velocidade de propagação das ondas, ocorrida no *E. cloeziana* ocorreu principalmente pelas dimensões relativas à parede e ao comprimento das fibras dessa espécie. Com paredes densas e espessas essa madeira proporciona maior espalhamento das ondas. O Clone 5, com paredes finas e fibras mais longas que o *E. cloeziana*, apresentou maior velocidade de propagação das ondas de tensão.

O Clone 1 apresentou parede mais espessa que o *E. cloeziana*, porém a velocidade de propagação da onda de tensão é maior. Nesse material genético, o comprimento da fibra é menor e assim um número maior de fibras é encontrado em um mesmo comprimento linear paralelo ao eixo, aumentando o número de vezes que a onda deve passar de uma fibra para outra. Por ser mais densa, a madeira do *E. cloeziana* possui maior atenuação.

As correlações estatísticas entre a velocidade de propagação das ondas de tensão e as características anatômicas da madeira dos materiais genéticos estudados são apresentadas no Quadro 15.

QUADRO 15 - CORRELAÇÃO DE PEARSON OBTIDAS DA VELOCIDADE DAS ONDAS DE TENSÃO COM AS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus*.

Materiais genéticos	Variável dependente – Velocidade das ondas de tensão (ms ⁻¹)				
	Comprimento (mm)	Parede (µm)	Lume (µm)	Diâmetro dos poros (µm)	Frequência de vasos / mm ²
<i>E. urophylla</i>	0,15**	0,36**	-0,02	0,21**	-0,07
<i>E. cloeziana</i>	0,26**	0,16**	-0,23**	0,27**	0,23**
Clone 1	0,04	0,08*	0,02	0,07	-0,03
Clone 2	0,22**	0,16**	0,03	-0,05	-0,15**
Clone 3	0,23**	0,26**	-0,16**	-0,02	0,00
Clone 4	0,41**	0,24**	0,25**	0,38**	-0,33**
Clone 5	0,43**	-0,01	0,00	0,36**	-0,38**
Clone 6	0,21**	0,15**	-0,06	0,05	-0,16**
Clone 7	0,26**	0,18**	-0,02	0,20**	-0,22**

** - Significativo ao nível de 1 %

* - Significativo ao nível de 5 %

O Clone 4 foi o que apresentou a correlação estatística mais alta entre a velocidade de propagação das ondas de tensão e as características anatômicas da madeira e o Clone 1 apresentou as correlações mais baixas. De modo geral, as correlações encontradas para os materiais genéticos foram baixas. Esse resultado pode ter sido influenciado pela pequena variação anatômica existente entre os materiais genéticos. Sendo assim, com base no Quadro 15, pode-se observar que o comprimento das fibras é a característica que mais se

correlacionou com a velocidade de propagação das ondas de tensão (exceto no Clone 1). A espessura das paredes apresentou correlações baixas, porém significativas estatisticamente para a maioria dos materiais genéticos. As demais características influenciaram no deslocamento das ondas apenas em alguns materiais genéticos, com diferentes níveis de significância, ou não se correlacionaram.

5 – CONCLUSÕES

De acordo com os resultados observados nesse trabalho pode-se concluir para as madeiras de *Eucalyptus* pesquisadas:

1 - A umidade das madeiras pode ser estimada pela propagação das ondas de tensão na madeira através de modelos não-lineares e lineares múltiplos. Os erros médios dessas estimativas foram 24,86 e 17,16 respectivamente.

2 - A velocidade de propagação das ondas de tensão pode variar em função da área de nós nas tábuas, do ângulo da grã, da densidade básica da madeira e da orientação anatômica das tábuas, reduzindo de forma diferenciada a precisão das estimativas de umidade da madeira;

3 - Os nós exercem maior influência na propagação das ondas quando presentes em tábuas radiais;

4 - A influência da densidade básica da madeira na velocidade de propagação de ondas de tensão foi linearmente positiva para os clones de *E. grandis* e linearmente negativa para *E. urophylla* e *E. cloeziana*.

5 - Com os métodos e análises empregadas não foi possível explicar o comportamento das ondas de tensão utilizando-se os constituintes anatômicos das madeiras.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Madeira – determinação da densidade básica**. ABNT. NBR 7190. Comissão de estudo de madeira para fabricação de pasta celulósica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

BRASHAW, B. K.; WANG, X.; ROSS, R. J.; PELLERIN, R. F. Relationship between stress wave velocities of green and dry veneer. **Forest Products Journal**, Madison, v. 54, n. 6, p. 85-89, June 2004.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão: 2. Densidade da madeira x densidade do carvão. **IPEF**, n. 20, p.101-113, Jun. 1980.

BROWN, H. P.; PANSHIN, A. J.; FORSAIT, C. C. **Textbook of wood technology**. New York: McGraw-Hill, 1952. v. 2, 783 p.

BUCUR, V.; BÖHNKE, I. Factors affecting ultrasonic measurements in solid wood. **Ultrasonics**, Oxford, v. 32, n. 5, p. 385-389, Sept. 1994.

BUCUR, V.; FEENEY, F. Atenuation of ultrasound in solid wood. **Ultrasonics**, Oxford, v. 30, n. 2, p. 76-81, Mar. 1992.

CAIXETA, R. P.; TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; ROSADO, S. C. S. Classificação de *Eucalyptus* relacionados com a qualidade da madeira após a secagem natural. **Scientia Forestalis**, n. 61, p. 49-58, jun. 2002.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 2005. 137 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

COSTA, O. A. L.; GONÇALVES, R. Modelo de variação da velocidade de propagação longitudinal de ondas de ultra-som na madeira em função da umidade. In: SEMINÁRIO SOBRE A APLICAÇÃO DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS EM MADEIRA E MATERIAIS À BASE DE MADEIRA, 1., 2006, Itatiba, São Paulo. **Anais...** Itatiba, São Paulo: Abende, 2006.

CRUZ, C. R.; LIMA, J.T.; MUNIZ, G. I. B. Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*. **Scientia Florestalis**, IPEF-USP, v. 64, p. 33-47, 2003.

CRUZ, C. R.; LIMA, J.T.; MUNIZ, G. I. B. VARIACÃO RADIAL DAS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA DE CLONES DE *Eucalyptus*, 2006, Itatiba, São Paulo. **Anais...** Itatiba, São Paulo: Abende, 2006.

EFRON, A. **Basic physics**. New York: John F. Rider Publisher, 1957. v. 1, 702 p.

GALINA, I. C. M. **Variação da resistência elétrica em madeiras visando o grupamento de espécies**. 1997. 92 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo.

GONÇALVES, J. C.; VALLE A. T.; COSTA, A. F. Estimativa das constantes elásticas da madeira por meio de ondas ultra-sonoras (ultra-som). **CERNE**, Lavras, v. 7. n. 2, p. 81-92, 2001.

GONÇALVES, R.; COSTA, O. A. L. Acompanhamento da secagem da madeira de *Pinus*, Eucalipto e Imbuia utilizando ultra-som. In: CONGRESSO IBRO-AMERICANO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS, 2.; SEMINÁRIO EM TECNOLOGIA DA MADEIRA E PRODUTOS FLORESTAIS NÃO MADEIREIROS, 1., 2002, Curitiba, Pr, Brasil. **Anais...** . Curitiba, 2002.

IAWA COMMITTEE. List of microscope features for hardwood identification. **Iawa Bulletin**, Leiden, v. 10, n. 3, p. 234-332, 1989.

JAYNE, B. A. Vibration properties of wood as indices of quality. **Forest Products Journal**. V.9, n. 11, 1959.

KOLLMANN, F. F. P. **Tecnologia de la Madera y sus aplicaciones**. 2. ed. Madri: Gráficas Reunidas, 1959. 675 p.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ JR, W. A. **Principles of wood science and techonology**: solid wood. New York: Sprigerm, 1968. v. 1, 592 p.

KOPAC, I.; SALI, S. Wood: an important material in manufacturing technology. **Journal of Materials Processing Technology**, Lausanne, v. 133, n. 1/2, p. 134-142, Feb. 2003.

NOGUEIRA, M.; BALLARIN, A. W. O ultra-som como ferramenta na classificação de *Pinus taeda* L. In: SEMINÁRIO SOBRE A APLICAÇÃO DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS EM MADEIRA E MATERIAIS A BASE DE MADEIRA, 2006, Itatiba, São Paulo. **Anais...** Itatiba, São Paulo: Abende, 2006.

OLIVEIRA, F. G. R.; CANDIAN, M.; LUCCHETTE, F. F.; SALGON, J. L.; SALES, A. A technical note on the relationship between ultrasonic velocity and moisture content of Brazilian hardwood (*Goupia glabra*). **Building and Environment**, Oxford, v. 40, n. 2, p. 297-300, Feb. 2005a.

OLIVEIRA, F. G. R.; MILLER, K. P.; CANDIAN, M.; SALES, A. Efeito do comprimento do corpo-de-prova na velocidade ultra-sônica em madeiras. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 30, n. 1, p. 141-145, jan./fev. 2006a.

OLIVEIRA, F. G. R.; MILLER, K. P.; CANDIAN, M.; SALES, A. Influência da seção transversal na velocidade ultra-sônica na madeira de *Eucalyptus citriodora*. **CERNE**, Lavras-MG, v. 11, n. 2, p. 197-203, abr./jun. 2005b.

OLIVEIRA, F. G. R.; CANDIAN, M.; SALES, A. Influência do teor de umidade e da densidade da madeira na velocidade ultra-sônica. In: SEMINÁRIO SOBRE A APLICAÇÃO DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS EM MADEIRA E MATERIAIS À BASE DE MADEIRA, 1., 2006, Itatiba, SP. **Anais...** Itatiba, São Paulo: Abende, 2006b.

SAKAI, H.; MINAMISAWA, A.; TAKAGI, K. Effect of moisture content on ultrasonic velocity and attenuation in woods. **Ultrasonics**, Oxford, v. 28, n. 6, p. 382-385, Nov. 1990.

SANTINI, E. J. **Alternativas para monitoramento e controle do processo de secagem de madeira serrada em estufa**. 1996. 198 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Pr.

SANTINI, E. J. Temperatura da madeira como alternativa de controle do processo de secagem. **CERNE**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 112-121, 2000.

SIMPSON, W. T. Relationship between speed of sound and moisture content of red oak and hard maple during drying. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 30, n. 4, p. 405-413, Oct. 1998.

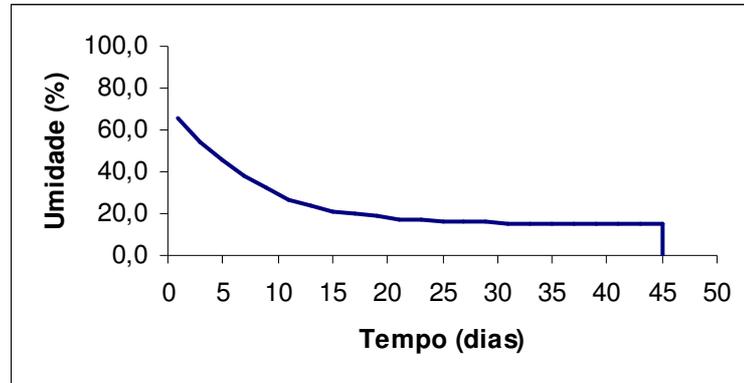
SIMPSON, W. T.; WANG, X. Relationship between longitudinal stress wave transit time and moisture content of lumber during kiln-drying. **Forest Products Journal**, Madison, v. 51, n. 10, p. 51-54, Oct. 2001.

SKAAR, C. **Water in wood**. Syracuse: Syracuse University Press, 1972. 218 p. (Syracuse Wood Science Series, 4).

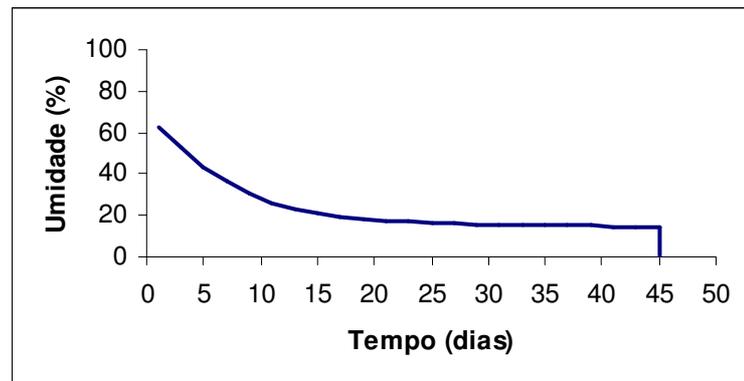
TRINCA, A.; MASCIA, N. T.; GONÇALVES, R.; NICOLAS, E. A. Comportamento da velocidade de propagação de ondas de ultra-som e da tensão de ruptura à compressão na madeira em função da inclinação das fibras. In: SEMINÁRIO SOBRE A APLICAÇÃO DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS EM MADEIRA E MATERIAIS À BASE DE MADEIRA, 1., 2006, Itatiba, SP. **Anais...** Itatiba, São Paulo: Abende, 2006.

7 - ANEXOS:

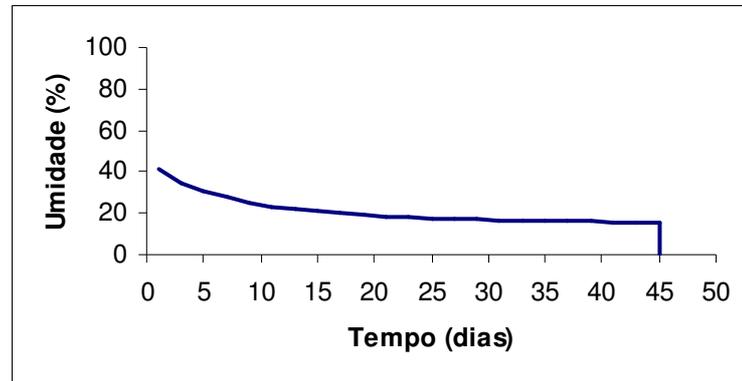
ANEXO 1 - COMPORTAMENTO DO ACONDICIONAMENTO EM CÂMARA CLIMATIZADA, DAS TÁBUAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus*, COM TODOS OS MATERIAIS GENÉTICOS.



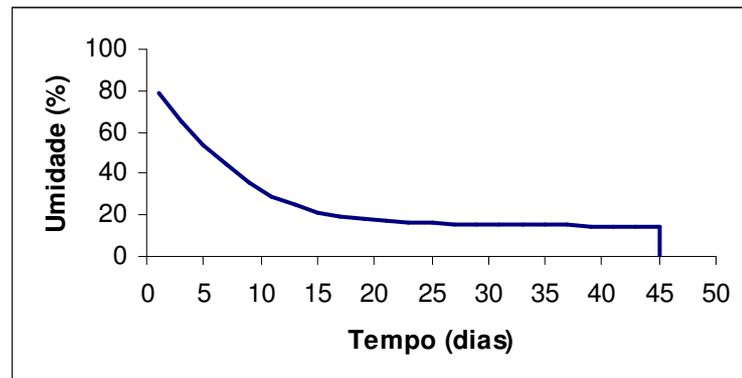
ANEXO 2 - COMPORTAMENTO DO ACONDICIONAMENTO EM CÂMARA CLIMATIZADA, DAS TÁBUAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus urophylla*.



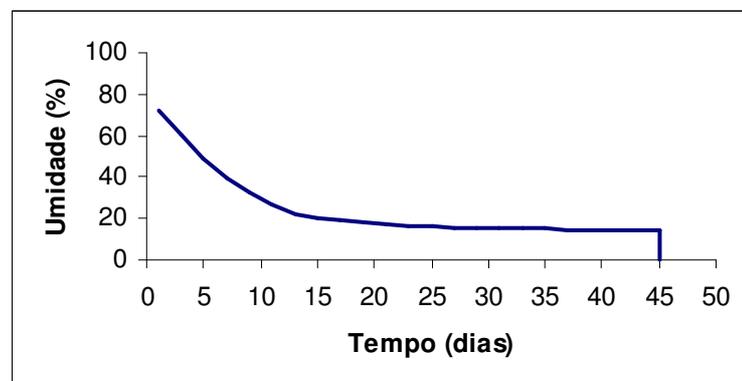
ANEXO 3 - COMPORTAMENTO DO ACONDICIONAMENTO EM CÂMARA CLIMATIZADA, DAS TÁBUAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus cloeziana*.



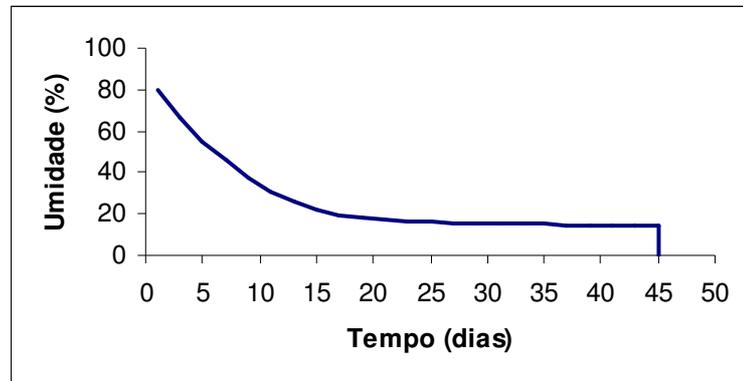
ANEXO 4 - COMPORTAMENTO DO ACONDICIONAMENTO EM CÂMARA CLIMATIZADA, DAS TÁBUAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*, CLONE 1.



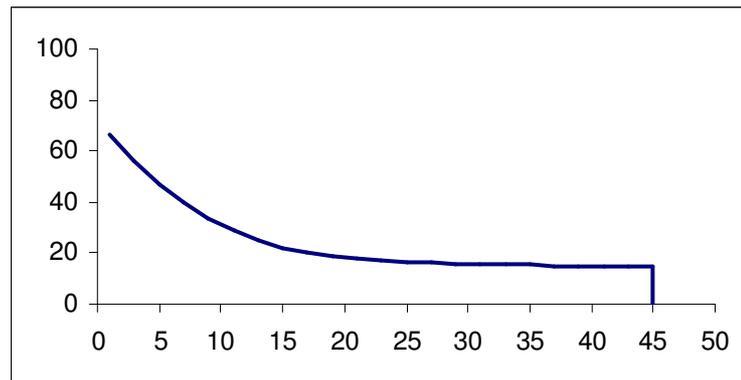
ANEXO 5 - COMPORTAMENTO DO ACONDICIONAMENTO EM CÂMARA CLIMATIZADA, DAS TÁBUAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*, CLONE 2.



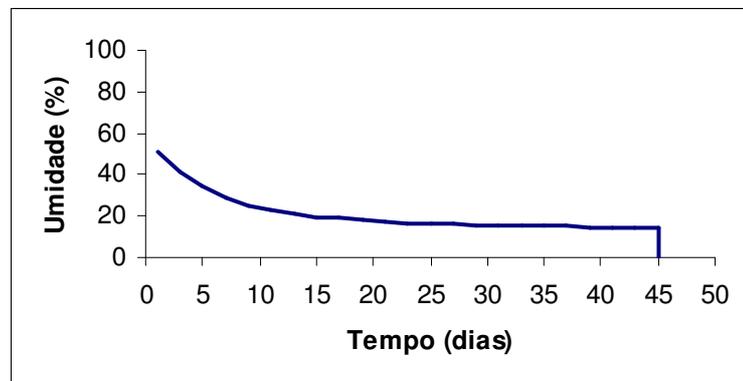
ANEXO 6 - COMPORTAMENTO DO ACONDICIONAMENTO EM CÂMARA CLIMATIZADA, DAS TÁBUAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*, CLONE 3.



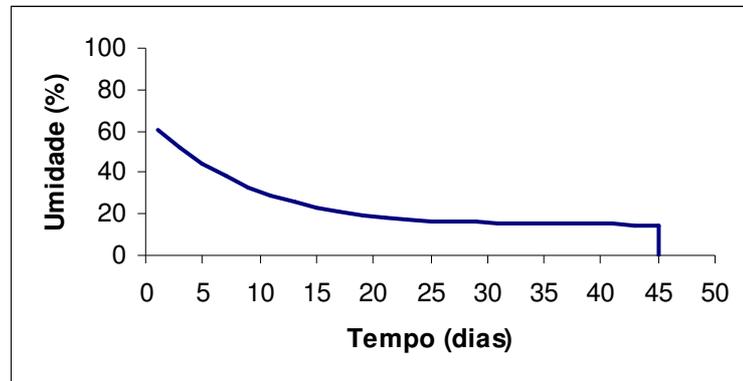
ANEXO 7 - COMPORTAMENTO DO ACONDICIONAMENTO EM CÂMARA CLIMATIZADA, DAS TÁBUAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*, CLONE 4



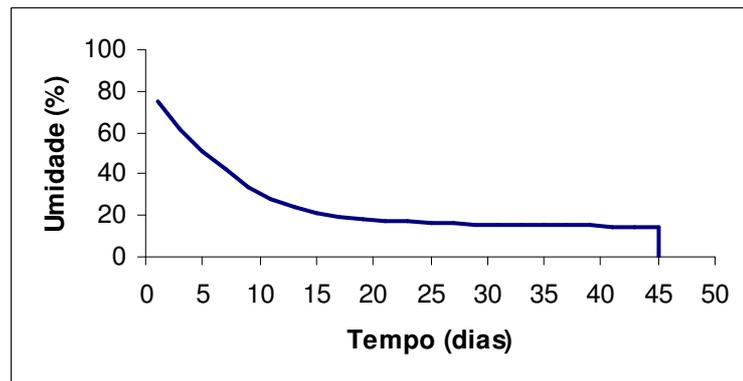
ANEXO 8 - COMPORTAMENTO DO ACONDICIONAMENTO EM CÂMARA CLIMATIZADA, DAS TÁBUAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*, CLONE 5.



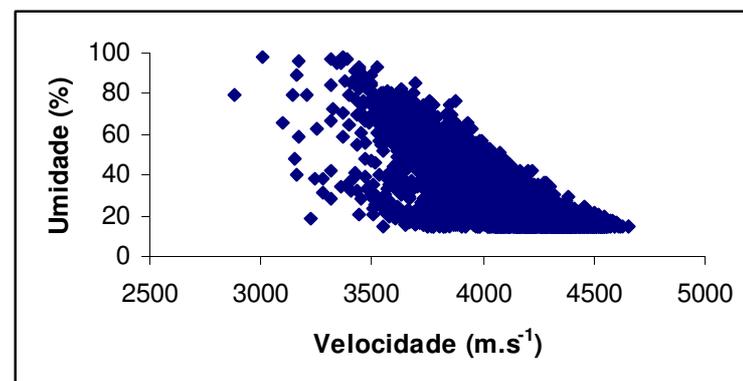
ANEXO 9 - COMPORTAMENTO DO ACONDICIONAMENTO EM CÂMARA CLIMATIZADA, DAS TÁBUAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*, CLONE 6.



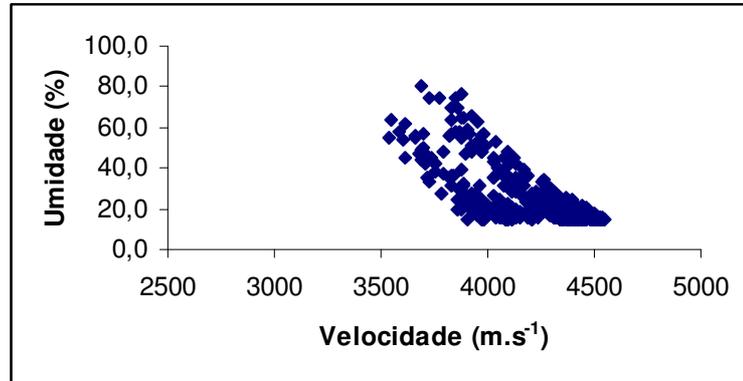
ANEXO 10 - COMPORTAMENTO DO ACONDICIONAMENTO EM CÂMARA CLIMATIZADA, DAS TÁBUAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*, CLONE 7.



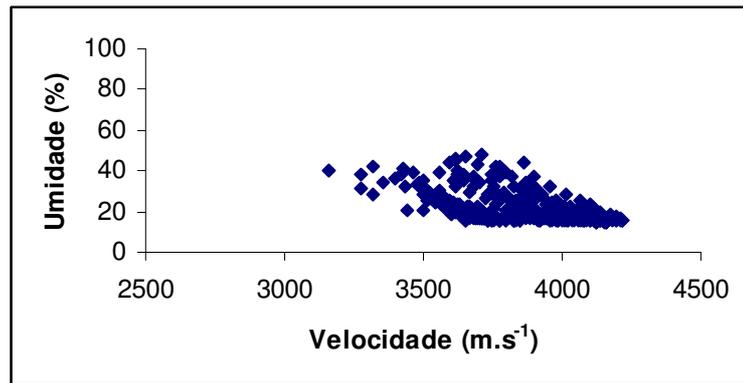
ANEXO 11 - VARIAÇÃO DA UMIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus* EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO. TODOS OS MATERIAIS GENÉTICOS.



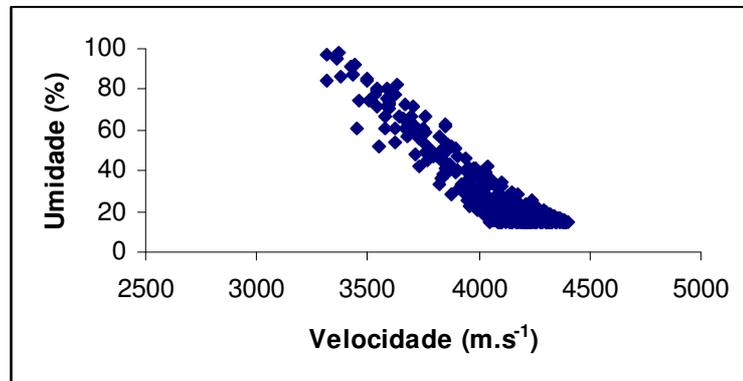
ANEXO 12 - VARIAÇÃO DA UMIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus urophylla* EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO.



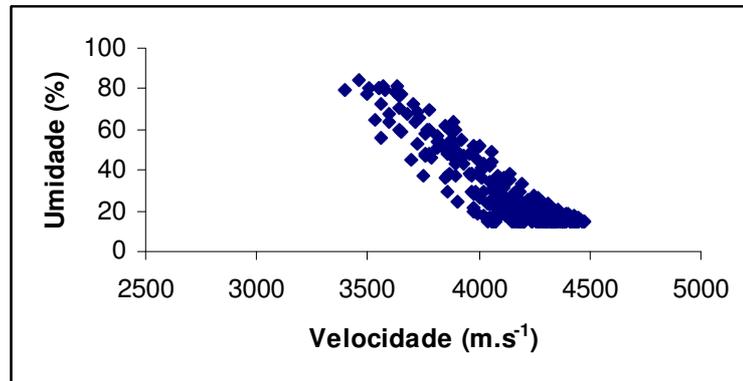
ANEXO 13 - VARIAÇÃO DA UMIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus cloeziana* EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO.



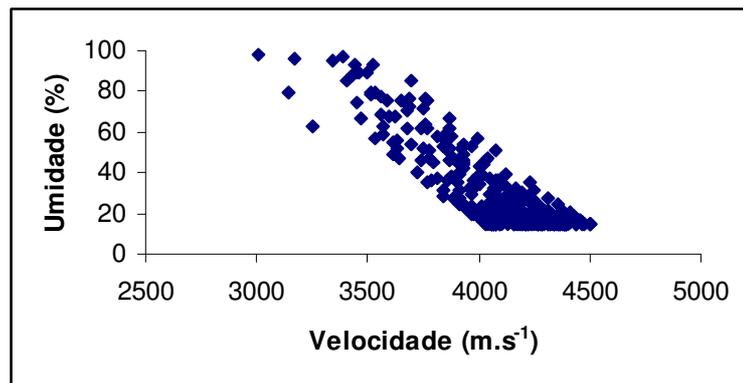
ANEXO 14 - VARIAÇÃO DA UMIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO. CLONE 1.



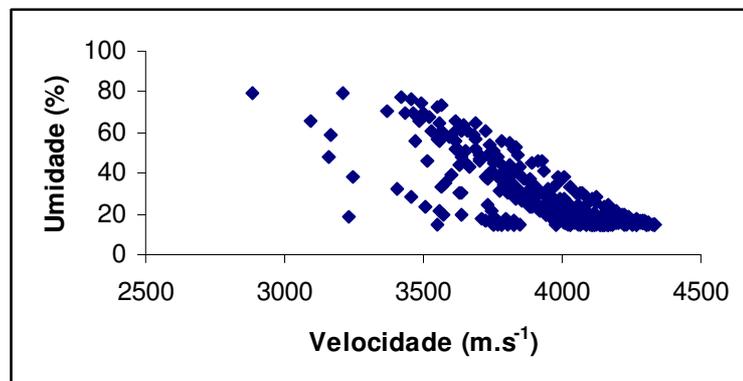
ANEXO 15 - VARIAÇÃO DA UMIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO. CLONE 2.



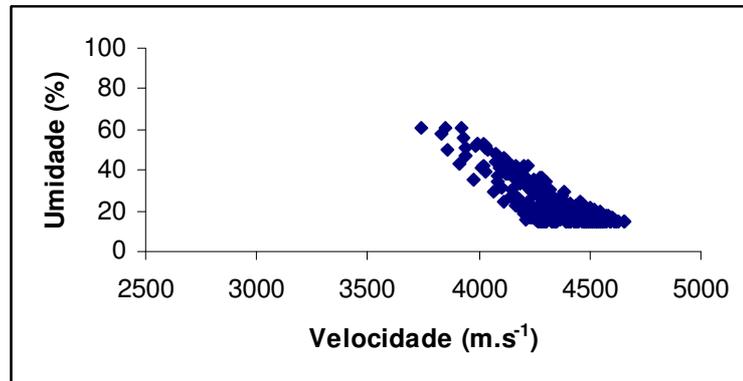
ANEXO 16 - VARIAÇÃO DA UMIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO. CLONE 3.



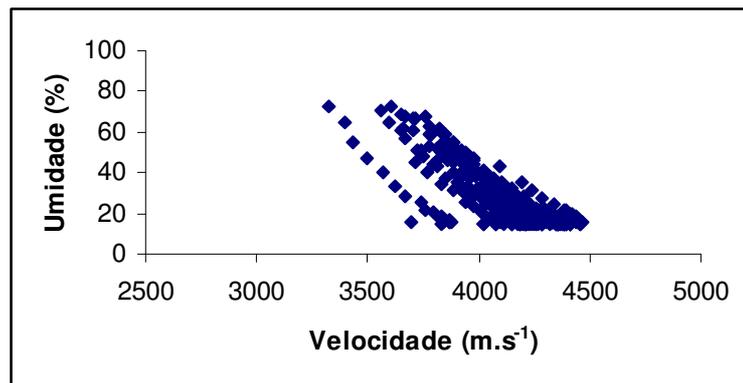
ANEXO 17 - VARIAÇÃO DA UMIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO. CLONE 4.



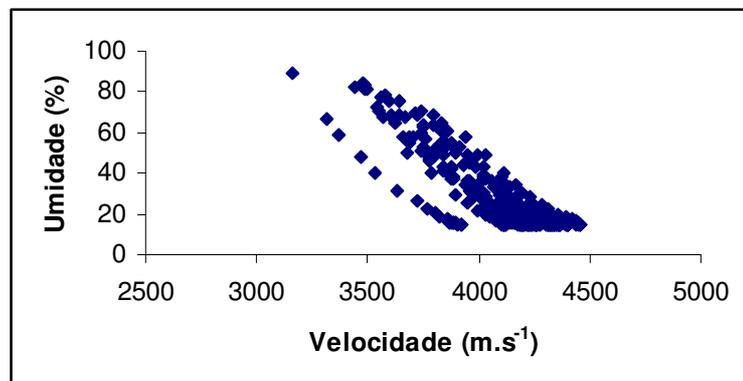
ANEXO 18 - VARIAÇÃO DA UMIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO. CLONE 5.



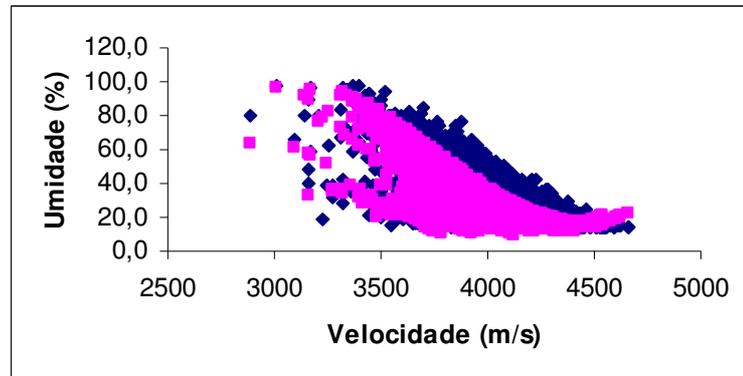
ANEXO 19 - VARIAÇÃO DA UMIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO. CLONE 6.



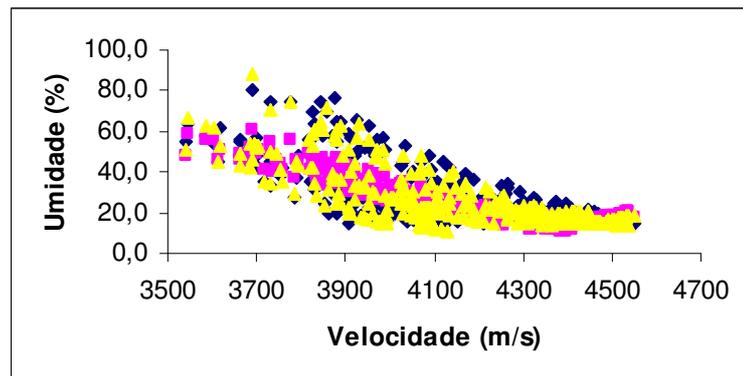
ANEXO 20 - VARIAÇÃO DA UMIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO. CLONE 7.



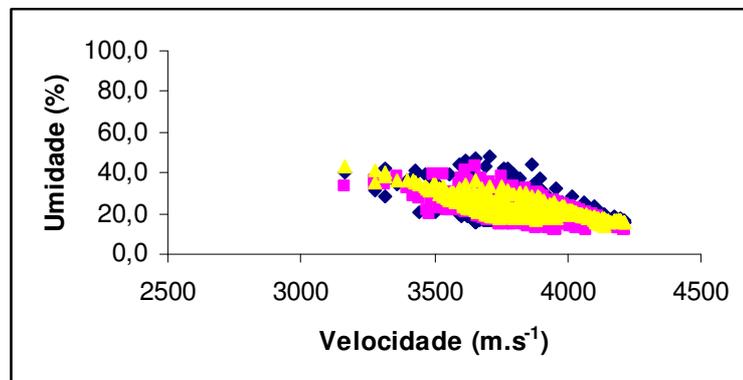
ANEXO 21 - DISPERSÃO DOS DADOS REAIS E ESTIMADOS, DA UMIDADE EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NA MADEIRA DE *Eucalyptus*.



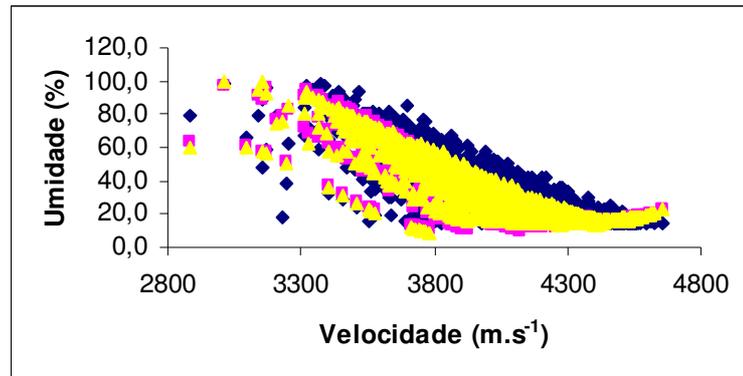
ANEXO 22 - DISPERSÃO DOS DADOS REAIS E ESTIMADOS, DA UMIDADE EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NA MADEIRA DE *Eucalyptus urophylla*.



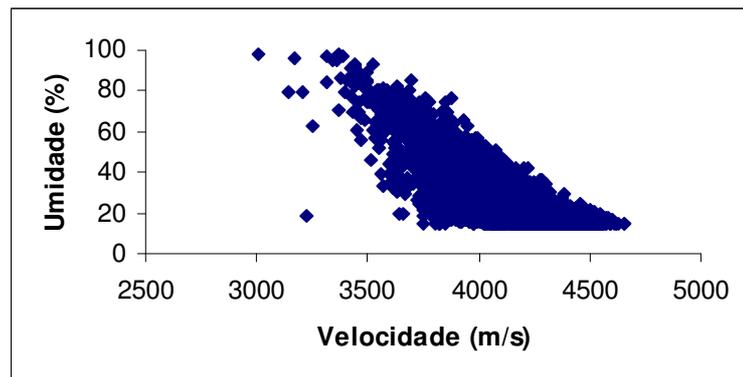
ANEXO 23 - DISPERSÃO DOS DADOS REAIS E ESTIMADOS, DA UMIDADE EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NA MADEIRA DE *Eucalyptus cloeziana*.



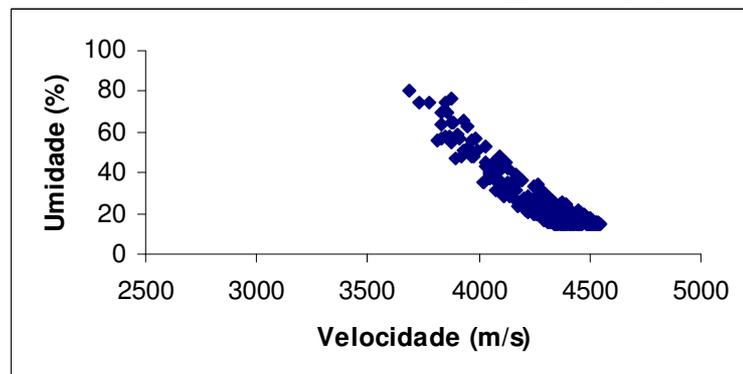
ANEXO 24 - DISPERSÃO DOS DADOS REAIS E ESTIMADOS, DA UMIDADE EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*.



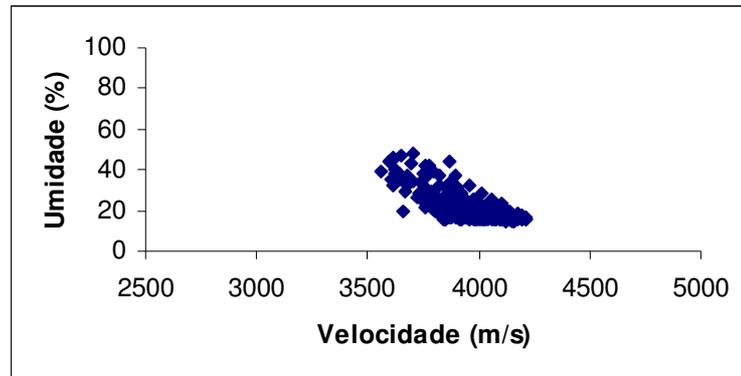
ANEXO 25 - VARIAÇÃO DA UMIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus* EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO COM TÁBUAS SELECIONADAS DAS TRÊS ESPÉCIES.



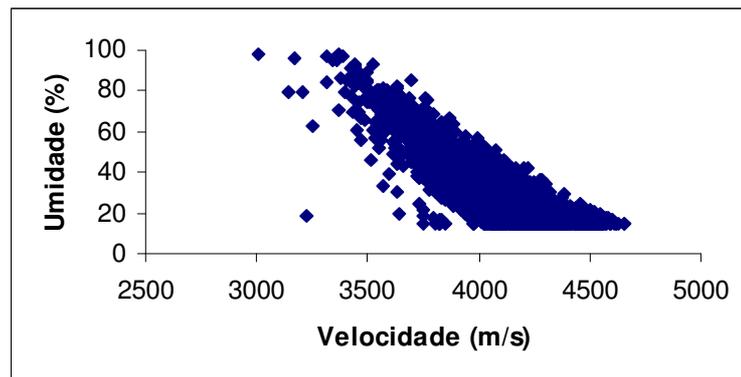
ANEXO 26 - VARIAÇÃO DA UMIDADE DA MADEIRA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO COM TÁBUAS SELECIONADAS DE *Eucalyptus urophylla*.



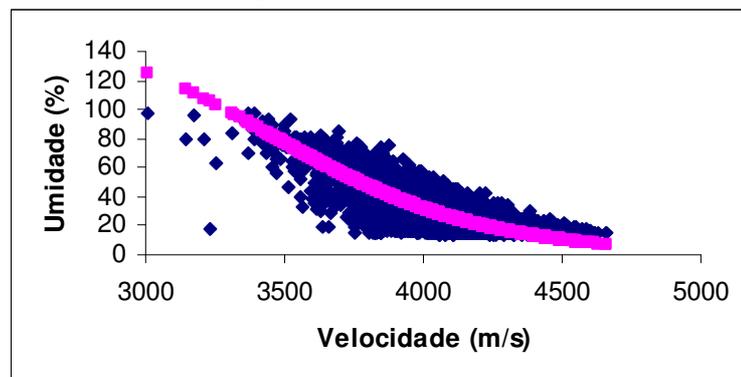
ANEXO 27 - VARIAÇÃO DA UMIDADE DA MADEIRA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO COM TÁBUAS SELECIONADAS DE *Eucalyptus cloeziana*.



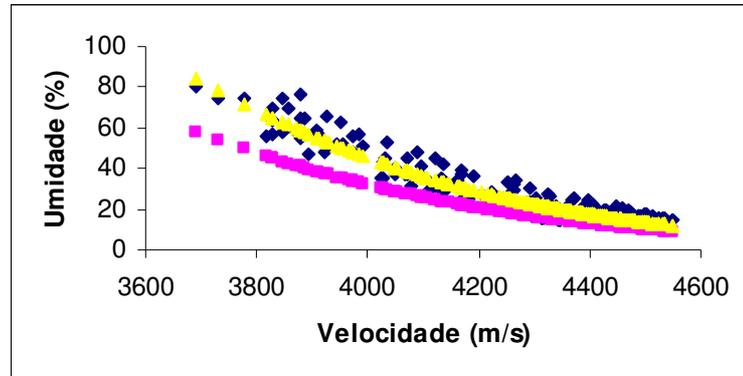
ANEXO 28 - VARIAÇÃO DA UMIDADE DA MADEIRA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO COM TÁBUAS SELECIONADAS DE *Eucalyptus grandis*.



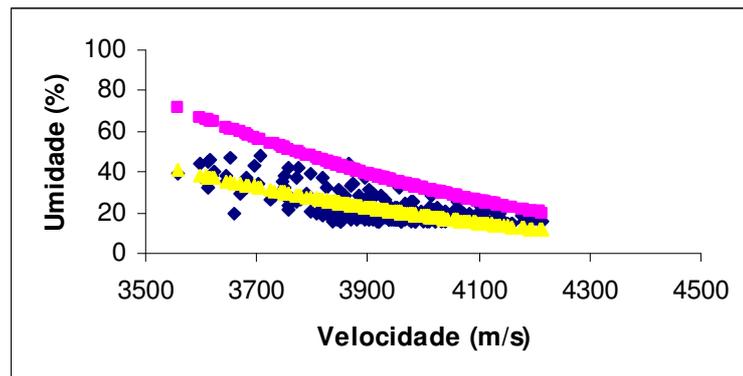
ANEXO 29 - DISPERSÃO DOS DADOS REAIS E ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO GERAL NÃO-LINEAR, DA UMIDADE EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NA MADEIRA DE TRÊS ESPÉCIES DE *Eucalyptus*.



ANEXO 30 - DISPERSÃO DOS DADOS REAIS E ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO NÃO-LINEAR, DA UMIDADE EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NA MADEIRA DE *Eucalyptus urophylla*.



ANEXO 31 - DISPERSÃO DOS DADOS REAIS E ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO NÃO-LINEAR, DA UMIDADE EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NA MADEIRA DE *Eucalyptus cloeziana*.



ANEXO 32 - DISPERSÃO DOS DADOS REAIS E ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO NÃO-LINEAR, DA UMIDADE EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*.

