



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

DAIANA SOUZA DE JESUS

**EFEITO DE PARÂMETROS FÍSICOS E ANATÔMICOS NA AMPLITUDE DE
PERFURAÇÃO DA HASTE DO RESISTÓGRAFO EM MADEIRA DE
*EUCALYPTUS***

JERÔNIMO MONTEIRO
FEVEREIRO - 2019

DAIANA SOUZA DE JESUS

**EFEITO DE PARÂMETROS FÍSICOS E ANATÔMICOS NA AMPLITUDE DE
PERFURAÇÃO DA HASTE DO RESISTÓGRAFO EM MADEIRA DE
*EUCALYPTUS***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Orientador: Prof. D.Sc. José Tarcísio da Silva Oliveira

JERÔNIMO MONTEIRO

FEVEREIRO – 2019

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

J58e Jesus, Daiana, 1991-
Efeito de parâmetros físicos e anatômicos na amplitude de
perfuração da haste do Resistógrafo em madeira de Eucalyptus /
Daiana Jesus. - 2019.
59 f. : il.

Orientador: José Tarcísio Oliveira.
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e
Engenharias.

1. Madeira - Pesquisa. 2. Eucalipto. 3. Plantas - Anatomia. 4.
Celulose. I. Oliveira, José Tarcísio. II. Universidade Federal do
Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. III.
Título.

CDU: 630

**EFEITO DE PARÂMETROS FÍSICOS E ANATÔMICOS NA AMPLITUDE DE
PERFURAÇÃO DA HASTE DO RESISTÓGRAFO EM MADEIRA DE
EUCALYPTUS**

Daiana Souza de Jesus

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 27 de fevereiro de 2019.

Rejane Costa Alves

Prof.ª Dr.ª Rejane Costa Alves (Examinadora externa)
Universidade Federal do Espírito Santo

Pedro Gutemberg de A. Segundinho

Prof. Dr. Pedro Gutemberg de A. Segundinho (Examinador interno)
Universidade Federal do Espírito Santo

José Tarcísio da Silva Oliveira

Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira (Orientador)
Universidade Federal do Espírito Santo

A minha mãe, Nelma Araújo de Souza por todo acalanto, carinho e amor incondicional, imprescindíveis para o meu sustento emocional. A meu pai, Erisvaldo Fernandes de Jesus, por ser o maior incentivador e motivador da minha carreira acadêmica e da vida. A meu irmão, Solimar Souza de Jesus, por todo apoio e por acreditar tanto em mim.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por nunca ter me desamparado, pela sabedoria que me destes para fazer minhas escolhas, por ter me proporcionado viver momentos incríveis e ter me presenteado com pessoas maravilhosas que pude conviver em Jerônimo Monteiro.

A Universidade Federal do Espírito Santo e ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, pela oportunidade de realizar meu mestrado e desenvolver esta pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A meu pai Erisvaldo, minha mãe Nelma e meu irmão Solimar, que são a minha base, segurança e fortaleza, por me encorajarem sempre acreditarem em mim, me apoiando e me fortalecendo nos momentos difíceis e vibrando comigo a cada nova conquista. Amo vocês.

Ao meu orientador, Professor Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira, por todo o conhecimento transmitido, incentivo, palavras de apoio, pelos momentos de descontração e risada e por ser além de um exemplo de profissional, também um exemplo de pessoa.

Aos amigos do grupo do Newpós, Patrícia, Aline, Lhoraynne, Caio, Rodrigo, Elbya, Maricélia e Nayara, por estarem comigo desde o início desta jornada dividindo vários momentos de estudo, risadas, choro, saídas e festa, se tornando a minha família Jeromense, fundamentais para o meu equilíbrio emocional durante o mestrado.

A Mariana, pela excelente convivência que tivemos nesses últimos dois anos morando juntas, pelo apoio, pela compreensão, pelas conversas e “gordices” preparadas. Ao Laio, por todo carinho, apoio emocional e por ter me apresentado muitas belezas naturais sul-capixabas, me proporcionando passeios maravilhosos e memoráveis.

Às minhas amigas Regina, Carla, Maiane e Milena, meu amigo Jonas, que mesmo na distância se fazem presentes me incentivando, encorajando e torcendo por mim.

Aos colegas de laboratório, que se tornaram grandes amigos, Ana Paula, Jean, Daniela, Sofia, João Gabriel, Lourdes, Naruna, Jaily, Joyce, Ana Carla e Zé Geraldo, por toda a ajuda durante a pesquisa, companheirismo e pelos ótimos momentos de descontração durante os nossos cafés do laboratório de qualidade. Ao senhor Elecir por todo o auxílio nos trabalhos na marcenaria. Aos professores Ananias, Graziela, Pedro, Juarez e demais docentes da TPF, por todo conhecimento transmitido, conversas e conselhos.

Aos membros da Banca Examinadora, Prof^o Dr. Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho e Prof^a Dr^a Rejane Costa Alves, por terem aceitado o convite de participação.

E a todos que de forma direta ou indireta participaram positivamente e contribuíram para a realização desta etapa, meus agradecimentos.

RESUMO

JESUS, Daiana Souza. **Efeito de parâmetros físicos e anatômicos na amplitude de perfuração da haste do Resistógrafo em madeira de *Eucalyptus***. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira.

Os métodos de avaliação não-destrutiva da qualidade da madeira apresentam grandes benefícios por se tratar de procedimentos rápidos, de baixo custo e que possibilitam a análise da madeira em diferentes formas (serrada, em toras ou em pé). Dentre as diversas técnicas de ensaio não destrutivo, o Resistógrafo tem se destacado por permitir uma avaliação rápida da resistência, densidade e outras propriedades da madeira. A umidade da madeira pode exercer um impacto significativo na resistência à perfuração devendo ser considerada quando se pretende garantir a eficiência do aparelho na predição de propriedades da madeira. O objetivo do trabalho foi avaliar a influência do teor de umidade, densidade aparente e anatomia da madeira na resistência a penetração da haste do Resistógrafo. Foram estudados doze clones do híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, com 6 anos de idade. Foram coletadas cinco árvores por clone, totalizando 60 árvores, das quais foram retirados discos que foram perfurados e analisados em diferentes condições de umidade. Observou-se uma leve diminuição da amplitude entre as madeiras perfuradas na condição anidra e no teor de equilíbrio higroscópico, porém não houve diferença estatística, enquanto que na umidade a partir do ponto de saturação das fibras ocorreu um aumento em função do acréscimo da umidade na madeira até a condição de saturação completa. A correlação entre amplitude de perfuração do Resistógrafo e densidade básica foi de $r=0,65$ na umidade seca, $r=0,74$ no teor de equilíbrio higroscópico, $r=0,50$ no ponto de saturação das fibras e não significativa na umidade saturada, logo, as melhores umidades para se predizer a densidade da madeira seriam aquelas abaixo do PSF. Para a anatomia de fibra, observou-se correlação moderada entre a amplitude e a espessura de parede da fibra ($r= 0,60$). O diâmetro do lume, em consequência, apresentou correlação negativa ($r=-0,38$) e o comprimento da fibra $r=0,43$.

Palavras-Chave: Resistógrafo, avaliação não-destrutiva da madeira, umidade da madeira, densidade aparente, anatomia da madeira.

ABSTRACT

JESUS, Daiana Souza. **Effect of physical and anatomical parameters on the micro drilling resistance of *Eucalyptus* wood**. 2019. Dissertation (Master degree in Forest Science) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Advisor: Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira.

The non-destructive evaluation methods of wood quality have great benefits because they are fast, low-cost procedures that allow the analysis of wood in different forms (sawing, logging or standing). Among the various non-destructive testing techniques, the Resistograph has stood out by allowing a rapid evaluation of the strength, density and other properties of the wood. The moisture of the wood can have a significant impact on the resistance to drilling and should be considered when guaranteeing the efficiency of the apparatus in the prediction of wood properties. The objective of this work was to evaluate the influence of moisture content, apparent density and wood anatomy on the drilling resistance. Twelve clones of the 6-year-old *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* hybrid were studied. Five trees were collected per clone, totaling 60 trees, from which were discs that were drilled and analyzed in different moisture conditions. It was observed a slight decrease in the amplitude between the perforated woods in the anhydrous condition and in the hygroscopic equilibrium content, but there was no statistical difference, whereas in the moisture from the saturated fiber point an increase was observed as a function of the increase of the moisture in the wood to full saturation condition. The correlation between drilling resistance perforation amplitude and basic density was $r = 0.65$ in the anhydrous condition, $r = 0.74$ in the hygroscopic equilibrium content, $r = 0.50$ in the fiber saturation point (FSP) and not significant in the saturated wood, so the best moisture content to predict wood density would be those below the FSP. For the fiber anatomy, a moderate correlation was observed between the amplitude and the wall thickness ($r = 0.60$). The diameter of the lumen, therefore, presented negative correlation ($r = -0.38$) and the fiber length with $r = 0.43$.

Keywords: Resistograph, non-destructive evaluation of wood, moisture content, apparent density, wood anatomy.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. OBJETIVOS.....	9
2.1. Objetivo geral	9
2.2. Objetivos específicos	9
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
3.1 O gênero <i>Eucalyptus</i>	10
3.2 Densidade da madeira	11
3.3 Teor de umidade da madeira	13
3.4 Anatomia da madeira de eucalipto	15
3.5 Uso do Resistógrafo	17
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
4.1 Descrição da área e material de estudo	20
4.2 Amostragem da madeira	20
4.3 Análises realizadas	21
4.3.1 Umidade da madeira	21
4.4.2 Perfuração com o Resistógrafo	22
4.4.3 Determinação da densidade aparente	23
4.4.4 Análises anatômica	24
4.4.5 Análise estatística	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	25
5.1 Variação das densidades e amplitudes por clone	25
5.2 Correlações entre densidade e amplitude por posição radial na direção periferia – medula para diferentes condições de umidade da madeira	37
5.3 Variação das densidades e amplitudes por posição radial	39
5.4 Anatomia da madeira	42
6. CONCLUSÕES.....	47
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48

1. INTRODUÇÃO

A qualidade dos produtos provenientes da madeira depende de diversas características anatômicas, químicas, físicas e mecânicas, porém esses parâmetros devem ser avaliados relacionando-os com o uso a que essa madeira se destina. Gonzalez et al. (2006) afirmam que a qualidade da madeira se refere à sua capacidade para atender aos requisitos necessários para a fabricação de um produto, ou ainda, a combinação das características de uma árvore que permite a melhor utilização da madeira para um determinado fim.

A densidade é uma das características mais importantes da madeira, sendo amplamente utilizada nos programas de melhoramento das indústrias de base florestal, estando diretamente relacionada com o rendimento das operações florestais e dos processos industriais. De forma geral, ela é definida como sendo a quantidade da substância madeira presente em um dado volume verde (DIAS et al, 2017).

Por ser considerado um parâmetro tão importante para a indústria, novas ferramentas foram desenvolvidas para estimar indiretamente a densidade e outras propriedades da madeira de árvores em pé, usando técnicas não destrutivas, mais rápidas e menos onerosas que os métodos tradicionais. Um desses equipamentos é o Resistógrafo, descrito por Rinn et al. (1996) como um equipamento que mede a resistência da madeira à penetração de uma broca de 3 mm de diâmetro, feita de aço de alta qualidade. Ao atravessar a madeira a broca encontra diferentes intensidades de resistência que refletem as variações no interior do tronco como lenho inicial e tardio nos anéis de crescimento, além da condição estrutural das paredes celulares gerando gráficos de amplitude de penetração.

A umidade não é uma característica intrínseca da madeira, entretanto o estudo desta é indispensável por tratar-se de um parâmetro que afeta o comportamento da madeira, durante as fases de processamento, secagem e preservação. Winandy e Rowell (1984) afirmam que a resistência mecânica da madeira está relacionada à quantidade de água na parede da fibra, pois o aumento da quantidade de água reduz as ligações por pontes de hidrogênio, entre os polímeros orgânicos das paredes das células, diminuindo assim a resistência da madeira

A densidade da madeira está intimamente ligada ao seu teor de umidade, devido às variações de massa e de volume. O estudo do comportamento das variações das propriedades da madeira devido à intercorrência de umidade é

essencial para a sua utilização industrial na construção civil, produção de móveis, entre outros usos. As relações existentes entre densidade, umidade, e demais propriedades tecnológicas são de fundamental importância para a sua correta utilização.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar a influência da umidade, densidade aparente e anatomia na resistência a perfuração da haste do Resistógrafo em madeira de clones de eucalipto utilizados para produção de celulose.

2.2. Objetivos específicos

Verificar a influência da umidade na amplitude de perfuração da haste do Resistógrafo em madeira de clones de eucalipto.

Avaliar o efeito da distância radial na resistência à perfuração da haste do Resistógrafo em madeira de clones de eucalipto.

Determinar as correlações existentes entre amplitude de perfuração com a densidade e com a anatomia da madeira de clones de eucalipto.

Verificar a influência da anatomia na resistência à penetração da haste do Resistógrafo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O gênero *Eucalyptus*

O gênero *Eucalyptus* pertence à família Myrtaceae sendo, em sua grande maioria de espécies, nativo da Austrália, onde ocorre de maneira natural em praticamente todo o país, formando densos maciços florestais nativos. Existem mais de seiscentas espécies identificadas, além de uma elevada variedade de híbridos (PIGATO e LOPES, 2001).

A descoberta do eucalipto foi feita pelos ingleses na Austrália, em 1788. A disseminação de suas sementes no mundo começou no início do século XIX. O primeiro país a introduzir o eucalipto na América do Sul foi o Chile em 1823, seguido de Argentina e o Uruguai. As primeiras mudas chegaram ao Brasil em 1868, porém a introdução do gênero tomou impulso apenas no início do século XX (KAZMIERCZAK, 2012).

O eucalipto possui uma grande capacidade de adaptação, apresentando rápido crescimento, elevada produtividade, e uma grande diversidade de espécies. Tem grande importância na economia do país, pois pode ser utilizado em diversos processos e aplicado em diferentes finalidades, como para a produção de carvão vegetal, celulose e papel, serraria e movelaria, postes, lâminas, compensados, aglomerados, além da produção de mel (apicultura) e óleos essenciais. Devido ao seu rápido crescimento e excelente capacidade de adaptação, as espécies do gênero *Eucalyptus* são as mais utilizadas para o estabelecimento de plantações em regiões tropicais e subtropicais (DIAS et al., 2017).

O gênero compreende uma grande diversidade de espécies, com madeiras de características físico-mecânicas e estéticas diferenciadas, o que permite a substituição de várias espécies latifoliadas nativas. No entanto, poucas espécies têm sido plantadas em escala comercial (FREITAS, 2007).

No Brasil as espécies do gênero apresentam uma alta produtividade volumétrica e idade reduzida de corte, possibilitando um custo competitivo da madeira, além da obtenção de multiprodutos. No entanto, para Silva, Castro e Evangelista (2015), quando se trata de usos não convencionais, como a indústria moveleira e alguns setores da construção civil, como esquadrias, molduras, assoalhos e revestimentos a utilização da madeira de eucalipto ainda é um desafio, em virtude da pouca quantidade de estudos nessas áreas de aplicação.

As principais espécies cultivadas atualmente no Brasil incluem o *Eucalyptus grandis*, o *Eucalyptus camaldulensis*, o *Eucalyptus saligna* e o *Eucalyptus urophylla*, entre outras. Além dessas espécies é bastante disseminado o cultivo de híbridos, resultado do cruzamento de espécies, como é o caso do Eucalipto urograndis (*E. grandis* x *E. urophylla*) (ABRAF, 2013).

Devido a sua relevância econômica, o conhecimento das espécies de *Eucalyptus* se torna cada vez mais importante, tanto no sentido de melhorar sua produção, assim como também para diminuir as pressões sobre as florestas nativas.

3.2 Densidade da madeira

A madeira é um material heterogêneo e muito variável. A densidade, assim como outras propriedades, varia entre árvores e dentro da própria árvore, no sentido longitudinal assim como no sentido radial (BENJAMIN, 2002). Essa variação está associada às diferentes dimensões celulares, proporção de vasos e quantidade de extrativos presentes na madeira. O aumento da densidade da madeira é geralmente relacionado com o aumento da espessura da parede das fibras. Por outro lado, um aumento na proporção de vasos, com ou sem decréscimo na espessura da parede celular, leva à redução da densidade na madeira (SOUZA, 2012).

A densidade é uma das propriedades mais importantes da madeira estando diretamente relacionada com o rendimento das operações florestais e dos processos industriais. O seu valor, expresso pela relação entre massa e volume da madeira, indica a quantidade total de paredes das células de sustentação (fibras), transporte (vasos) e armazenamento (parênquima), contido em determinado volume de madeira, incluindo os extrativos (DIAS et al., 2017). Utilizada como índice universal para expressar a qualidade da madeira, a densidade é um parâmetro que tem influência direta com a valoração de produtos madeireiros por ser capaz de expressar relações com as propriedades dos mesmos (GOMIDE et al., 2004).

Sendo a madeira um material heterogêneo e poroso, o valor numérico da densidade pode ser calculado de duas formas, considerando ou não do volume dos poros. Na primeira forma é determinada incluindo o volume de espaços vazios (poros), desta forma é obtida a densidade aparente. Esta é a forma global em que a densidade da madeira usualmente é expressa. Na segunda forma, o volume da amostra é determinado sem a inclusão do volume dos poros, obtendo-se a denominada

densidade real, cujo valor médio é igual a $1,53 \text{ g/cm}^{-3}$, independentemente da espécie (PANSHIN e DE ZEEUW, 1980; FOELKEL et al., 1971).

Dentre as diversas formas de expressar a densidade aparente da madeira, uma das mais práticas é por meio da densidade básica, que é a relação entre a massa absolutamente seca da madeira e o seu volume quando completamente saturado de água (FOELKEL et al., 1971). Sendo o seu valor comumente utilizado como comparativo e referência para caracterização da madeira, sendo também relacionada com outras propriedades.

A utilização da densidade básica é muito difundida por todo o mundo, tanto na indústria como, principalmente, no ambiente científico, já que a madeira é um material higroscópico que, sob diferentes condições de umidade relativa e temperatura, adquire diferentes teores internos de umidade, ocasionando que uma mesma amostra possua diferentes massas e volumes. Deste modo, em condições absolutamente secas, a madeira apresenta a sua massa real sem a água, e com o máximo teor de umidade (saturada) apresenta o seu máximo volume. Acima do “ponto de saturação das fibras” a água ocorre na forma livre, não contribuindo para a variação dimensional da madeira (VITAL, 1984).

A densidade da madeira está intimamente ligada ao seu teor de umidade, devido às variações de massa e de volume ocasionadas pela intercorrência do seu teor de água. Portanto, para determinar esta característica física, é necessário também o conhecimento da retratibilidade e da expansão volumétrica da madeira. Costa (2006), analisando a característica anisotrópica de amostras de clones de *Eucalyptus*, concluiu que a umidade é uma das características físicas da madeira que analisada em função da espécie, variedade, povoamento, idade, árvore e até mesmo dentro de uma mesma amostra ou disco, apresenta diferentes valores.

Mesmo sendo um parâmetro importante a ser considerado na utilização da madeira em processo industrial, as técnicas tradicionais para determinação da densidade apresentam alguns inconvenientes operacionais que podem limitar o atendimento satisfatório à indústria, sendo necessário a busca de métodos alternativos rápidos e eficientes para a sua definição. De acordo com Dias et al. (2017), os principais fatores limitantes são o baixo rendimento da operação (amostragem, transporte, preparo de amostras e determinação da densidade básica em laboratório), e o alto custo da atividade. Esses fatores levam a uma amostragem

reduzida que por vezes não abrange as variações ambientais e genótípicas da população avaliada.

3.3 Teor de umidade da madeira

A madeira é um material orgânico, de origem vegetal, produzido pela árvore em um ambiente saturado em água. A árvore possui um sistema vascular formado por células ativas do alburno que exercem a função de condução de água e soluções aquosas das raízes até as folhas através de uma rede contínua de células saturadas em água (LOGSDON, 1998). Posteriormente a árvore ser derrubada e retirada do solo, a madeira começa a perder a maior parte de sua umidade no processo de secagem natural, podendo apresentar alterações em suas propriedades em função da variação do seu teor de umidade. Assim sendo, a madeira é um material higroscópico, e sua massa, dimensões e densidade, bem como suas propriedades mecânicas, elásticas, elétricas, térmicas, entre outras, são afetadas por seu teor de umidade.

Apesar de não ser uma característica intrínseca da madeira, o estudo da umidade é indispensável por se tratar de um parâmetro que afeta o comportamento da madeira durante as fases de processamento, secagem e preservação. A variação no teor de umidade além de ocorrer entre espécies e entre indivíduos de uma mesma espécie, varia significativamente dentro de uma mesma árvore. Este fato pode ser comprovado durante a secagem, onde para uma mesma tora de madeira, são verificadas velocidades diferentes na secagem das diversas posições, o que mostra a existência de gradientes de umidades (REZENDE et al., 1995).

As alterações dimensionais na madeira, assim como o teor de umidade, não ocorrem de forma isotrópica, comportando-se diferentemente nas direções radial, longitudinal e tangencial. Essas intercorrências são responsáveis pelos principais defeitos de secagem como empenamentos, rachaduras, entre outros, e são indesejáveis do ponto de vista prático. Segundo Oliveira (1998), o conhecimento das propriedades higroscópicas é a chave para a utilização bem-sucedida da madeira. Logo, a madeira seca de forma adequada a um teor de umidade igual ou próximo àquele de equilíbrio com o ambiente poderá ter seus problemas referentes à umidade minimizados ou definitivamente eliminados.

Árvores recém abatidas possuem elevado índice de umidade. Nestas condições as moléculas de água se encontram por todo o interior da árvore, no interior

dos elementos anatômicos e no interior das respectivas paredes celulares. Nesta condição ocorre a saturação, ou seja, a quantidade máxima de água dentro da madeira, e diante deste teor de umidade comumente a madeira é denominada como madeira saturada ou “verde” (BRUDER, 2012). A madeira verde chega a atingir a porcentagem maior que 60% de umidade, dependente da sua densidade. Oliveira, Hellmeister e Tomazello Filho (2005), apresentaram valores de teores de umidade para o gênero *Eucalyptus* maiores que 100%.

Ao se tomar conhecimento da influência da água na madeira com a sua variação dimensional, se torna importante conhecer o mecanismo de retirada de água da madeira. O processo de secagem da madeira ocorre com a retirada da água das suas células e se dá de forma gradual, atingindo pontos de umidade importantes para a caracterização e estudos das alterações das propriedades da madeira. Quando o teor de umidade da madeira se encontra em um valor em equilíbrio com a umidade atmosférica do ambiente no qual ele se encontra, é usualmente dito que a madeira está no Teor de Equilíbrio Higroscópico (TEH). Este teor de umidade varia em função do clima local, situando-se numa faixa média entre 10% e 17% de umidade. Outro teor de umidade importante é Ponto de Saturação da Fibras (PSF), que segundo Bruder (2012) é um valor limitante de umidade em que toda a água livre foi retirada da madeira, ficando apenas a água de adesão. Normalmente o PSF situa-se numa faixa entre 22 e 30% de umidade, variando de espécie para espécie. Esta faixa de umidade é importante pois é abaixo dela que ocorrem as alterações em várias propriedades da madeira.

Um problema encontrado durante o processo de secagem de uma peça de madeira é que a perda de umidade não ocorre de forma homogênea, enquanto alguns pontos já tenham atingido a umidade no limite de estabilidade, em 28%, outros pontos, localizados próximos ao interior da peça, ainda não atingiram este limite e ainda não iniciaram a retração. Isto demonstra que a retratibilidade para pontos diferentes na madeira ocorrem em tempos diferentes. Este aspecto será tanto mais evidente quanto maior forem os gradientes de umidade durante a secagem, sendo estes, diretamente proporcionais à densidade e dimensões da peça de madeira, (REZENDE et al., 1995).

Winandy e Rowell (1984) afirmam que a resistência da madeira está relacionada à quantidade de água na parede da fibra. Acima do ponto de saturação das fibras a água se acumula nas cavidades das células da madeira (água livre ou de capilaridade), e não se verifica efeito sensível sobre a resistência mecânica da

madeira associado à variação do teor de umidade neste intervalo. Para teores de umidade entre 0% (madeira seca em estufa) até o ponto de saturação das fibras a água se acumula nas paredes das células da madeira (água de impregnação), e afeta sensivelmente a resistência mecânica da madeira, pois o aumento da quantidade de água reduz as ligações por pontes de hidrogênio, entre os polímeros orgânicos das paredes das células, diminuindo a resistência da madeira.

3.4 Anatomia da madeira de eucalipto

A madeira é um tecido complexo, formado a partir do câmbio vascular, constituído por diferentes tipos de células lenhosas, organizadas em diferentes proporções e arranjos. O comportamento das propriedades da madeira está intimamente relacionado à estrutura e a disposição de suas células, logo a análise anatômica pode determinar porque algumas espécies são melhores para determinada finalidade (EVANGELISTA et al., 2010; TUNG et al., 2010; BRISOLA; DEMARCO, 2011).

A análise anatômica da madeira de *Eucalyptus* é necessária para a sua caracterização, objetivando descrever sua estrutura e determinar o tamanho das células, bem como as diversas variações estruturais entre as espécies, com a finalidade de determinar o seu melhor uso. Ainda que as madeiras das espécies do gênero apresentem algumas características anatômicas constantes, tais como vasos solitários de arranjo diagonal, parênquima paratraqueal vasicêntrico e raios unisseriados homocelulares, é possível identificá-las utilizando algumas características particulares (ANGYALOSSY-ALFONSO, 1987; SHIMOYAMA (1990); ALZATE, 2009).

Brisola e Demarco (2011) ao analisarem a anatomia do caule das espécies *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, concluíram que os três dispõem de estrutura anatômica do lenho semelhante: possuem vasos de tamanho médio, solitários e com porosidade difusa; fibras curtas, largura estreita a média, espessura da parede delgada a espessa; parênquima paratraqueal vasicêntrico e aliforme; raios unisseriados, eventualmente localmente bisseriados, compostos por células procumbentes.

Dentre os tipos celulares que compõem a madeira de folhosas, como o eucalipto, as fibras são o componente mais presente. Estas constituem geralmente a maior porcentagem do lenho (20-80%), desempenhando a função de sustentação

mecânica. Sua porção no volume total e a espessura de paredes influenciam, de maneira direta, na massa específica, no grau de alteração volumétrica e indiretamente nas propriedades mecânicas da madeira (BURGER; RICHTER, 1991).

Assim como as fibras, os vasos são um importante grupo de células que formam a madeira das angiospermas dicotiledôneas, sendo responsáveis pelo transporte de água e nutrientes. As dimensões dessas células são, em geral, influenciadas por diferenças de idade, material genético e local de crescimento. É observada uma tendência de aumento do diâmetro dos vasos da madeira de eucalipto, no sentido medula-casca; no mesmo sentido observa-se uma diminuição na frequência destes elementos (MOREIRA, 1999).

A respeito das variações em termos de estrutura anatômica no sentido medula-casca, os fatores responsáveis são, principalmente, devido às mudanças no comprimento das fibras; ângulo microfibrilar; proporções dos tipos de células; diâmetro celular e espessura da parede celular. Para as espécies do gênero *Eucalyptus* é observado um padrão de variação no sentido radial do tronco das dimensões das fibras. O comprimento das fibras aumenta na direção radial (medula-casca) e a espessura da parede das fibras também apresenta uma variação crescente da medula para a periferia do tronco (CALONEGO et al., 2005).

Evangelista et al. (2010) ao estudar clones de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus urophylla* de 6, 8 e 10 anos observaram que, considerando o fator distância medula-casca, existe nesse sentido uma tendência de aumento do comprimento e espessura de parede das fibras e diâmetro dos vasos, mas uma tendência de diminuição da frequência de vasos. A largura e diâmetro do lume das fibras não apresentaram padrão linear de variação nesse sentido igual aos parâmetros anteriores. A largura das fibras apresentou aumento de 0 para 33%, diminuindo de 33% para 66% e aumentou novamente até 100% de distância medula-casca. O diâmetro do lume das fibras aumentou de 0 até 33% e diminuiu, a partir daí até 100% de distância medula-casca.

Essa mesma tendência foi observada por Silva et al. (2007), que concluíram também que existe Influência de idade e da posição radial nas dimensões das fibras e dos vasos da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill, e verificaram efeitos significativos da idade e, principalmente, da variação radial no sentido medula-casca no diâmetro tangencial dos vasos, encontrando um aumento no diâmetro tangencial em função da variação da idade e da posição radial, no sentido medula-casca.

3.5 Uso do Resistógrafo

A avaliação não destrutiva da madeira para determinação de suas características tecnológicas é uma importante ferramenta para o conhecimento da variabilidade entre indivíduos e a caracterização de material no campo tendo sido cada vez mais utilizadas por vários setores florestais e industriais (GOUVÊA et al., 2011). Esse tipo de ensaio apresenta como principais vantagens a rapidez na coleta de dados, o baixo custo e a possibilidade de avaliação de grande número de amostras, o que beneficia a melhor seleção de e análise de indivíduos em campo, quando comparado com os métodos tradicionais.

O método de resistência a perfuração se trata de uma técnica não-destrutiva que vem sendo bastante estudada e difundida. Várias ferramentas comerciais estão atualmente disponíveis para uso em campo, incluindo o Resistograph® (Rinntech Ek, Heidelberg, Alemanha), o IML-RESI Systems (IML Instrumenta Mechanik Labor System GmbH, Wiesloch, Alemanha) e uma microssonda digital (Sibert Technology Ltd., Surrey, Inglaterra). Os dispositivos de perfuração por resistência têm diferentes profundidades de penetração, quando selecionada corretamente, estas ferramentas podem avaliar um tronco de árvore da casca até a medula ou toda a seção diametralmente, de casca a casca. Em contraste, uma agulha Pilodyn penetra apenas nos primeiros anéis externos (GAO, et al., 2017).

O Resistograph® (Resistógrafo) foi desenvolvido na Alemanha, com a finalidade de executar análises em condições de campo do lenho das árvores, postes e estruturas de madeira. De acordo com RINN et al. (1996), o princípio do aparelho é bastante simples: uma broca de 2 a 3 mm de diâmetro feita de aço de alta qualidade, é direcionada para o interior da madeira onde a taxa de perfuração é adaptada ao tipo de madeira, podendo depender do modelo empregado. Quando a broca atravessa a madeira, encontra intensidades diferentes de resistência. Essa resistência reflete: (i) a condição estrutural das paredes celulares; (ii) as variações entre lenho inicial e tardio nos anéis de crescimento; (iii) a maneira em que a árvore tem se desenvolvido em resposta às condições ambientais; (iv) bolsas de quino, óleo ou resina; e (v) regiões apodrecidas, bem com outros eventos comuns às árvores.

O Resistógrafo é um equipamento versátil que possibilita a avaliação da madeira em suas diferentes formas, estando a árvore em pé, abatida, ou em peças de madeira serrada. Em árvores vivas ou em toras, os dados podem ser coletados

penetrando-se a broca no sentido diametral, principalmente se o objetivo for obter a variação radial da resistência à perfuração. Além da penetração da broca no sentido diametral, aplicações podem ser feitas em partes isoladas do tronco ou em peças serradas com o objetivo de detectar falhas na formação anatômica causadas por meios naturais durante a formação do lenho ou por ataques de organismos xilófagos (Lima et al., 2006).

A avaliação de madeira com o uso do Resistógrafo pode ser considerada como um método não destrutivo ou semi-destrutivo, pois a perfuração de sua haste causa danos mínimos à árvore (diâmetro máximo do furo 3 mm). O aparelho é uma ferramenta de medição rápida, fácil de manusear, onde os gráficos produzidos podem ser avaliados no local e podem ser catalogados e documentados posteriormente (RINN et al., 1996).

O equipamento avalia a resistência da madeira à perfuração de uma broca de aço com 1,5 mm de diâmetro, com um comprimento variável. A broca gira enquanto é introduzida na madeira a uma velocidade de rotação constante, enquanto o valor da resistência à penetração, chamado de amplitude de penetração, é medido em porcentagem de energia consumida pelo motor. A largura da ponta da broca mede 3 mm, o dobro do diâmetro da haste. Os dados de resistência coletados são registrados de duas formas: graficamente, usando uma pequena impressora que reproduz o perfil resistográfico em tempo real; utilizando a memória interna do aparelho, na qual os dados são armazenados para posterior análise em um software compatível. O Resistógrafo tem a capacidade de fazer o registro de 100 medições por milímetro de penetração.

Diversos estudos têm demonstrado a eficiência e confiabilidade do Resistógrafo para avaliar a densidade da madeira em árvores vivas. Na tabela 1 são mostrados alguns resultados de correlação entre amplitude do Resistógrafo (AMP) e densidade básica (DB) da madeira encontrados na literatura. Nota-se que existe uma variação entre essa correlação, que pode ocorrer em função de fatores intrínsecos à madeira ou não, porém, no geral, são encontradas fortes correlações entre estes dois fatores.

Tabela 1 - Coeficientes de correlação entre amplitudes do Resistógrafo (AMP) e densidade básica da madeira (DB) encontrados na literatura.

Espécie	Referência	Idade (anos)	Correlação AMP x DB
<i>Pinus radiata</i>	Barría et al. (2017)	15	0,65
<i>E. globulus</i>	Carrillo et al. (2017)	6	0,84
<i>E. nitens</i>			0,85
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	Dias et al. (2017)	2 a 7	0,45
<i>Eucalyptus sp.</i>	Lima et al. (2007)	16	0,64
<i>E. grandis</i>	Lopez et al. (2010)	9 a 12	0,72
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	Oliveira, Wang e Vidaurre (2017)	2,6	0,35
		5	0,46
<i>Eucalyptus sp.</i>	Gouvêa et al. (2011)	3	0,74
<i>Cedrela fissilis</i>	Silva et al. (2017)	14	0,54
<i>Picea abies</i>	İÇEL e GÜLER (2016)	ni	0,85

ni = não informado. Fonte: O autor.

O método de perfuração com Resistógrafo pode ser utilizado para estimar outras propriedades da madeira. Zahner et al. (2012) ressaltaram o uso do dispositivo para estimar não apenas a densidade, mas também o módulo de elasticidade da madeira e, além disso, afirmaram que o método é mais recomendado para madeiras adultas do que para madeiras juvenis. Calderoni et al. (2010) mostra que este método também pode ser usado para avaliar a resistência à compressão da madeira. No estudo realizado para as árvores de castanheira (*Bertholletia excelsa*), encontrou-se uma correlação de 58% entre a resistência à compressão paralela às fibras e a amplitude.

Existe uma variedade de métodos não destrutivos disponíveis na literatura para estimar as propriedades da madeira. Para Lima et al. (2006), o Resistógrafo apresenta algumas vantagens sobre outros aparelhos estimadores de densidade em árvores vivas (como Pilodyn, por exemplo), sendo estas: (i) Não exige a retirada da casca; (ii) Permite obter leituras de casca a casca; (iii) Fornece medidas de diâmetro com e sem casca; (iv) É portátil e de fácil manuseio. Além disso, o Resistógrafo pode detectar

possíveis variações da densidade relativa, de cerne e alburno e de madeira juvenil e adulta.

Um dos principais problemas com o método de perfuração com o Resistógrafo está relacionado ao atrito interno, já que a broca corta profundamente a árvore. Devido ao aumento da fricção que atua na superfície da broca à medida que a mesma penetra na madeira, a precisão da medição da resistência pode ser afetada em regiões mais profundas. Como consequência, o poder preditivo do parâmetro de amplitude obtido a partir de um perfil de resistência pode ser substancialmente reduzido, especialmente em árvores de maior diâmetro e maior densidade de madeira. Uma solução possível seria realizar medições de perfuração parcial (até a medula) em vez de perfurar todo o diâmetro (GAO, et al., 2017).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição da área e material de estudo

A madeira avaliada é procedente de doze clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, com seis anos de idade, provenientes de um teste clonal da empresa Fibria, localizada no município de Aracruz, Espírito Santo, nas coordenadas geográficas latitude 19° 49' 11" Sul e longitude 40° 16' 27" Oeste, inserida na microrregião norte do Estado. A precipitação média anual da região é de 1157 mm.

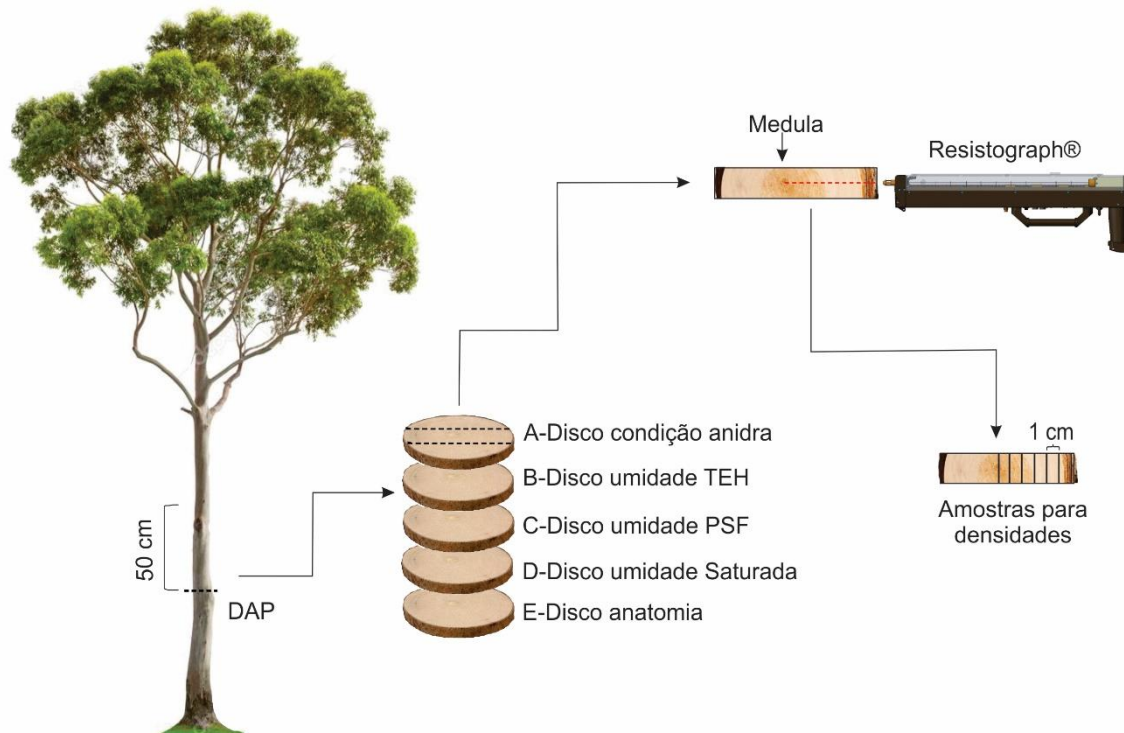
4.2 Amostragem da madeira

Durante o procedimento de coleta do material, foi estabelecido um valor médio do diâmetro das árvores de acordo com as informações do último inventário florestal realizado na área. Foram coletadas cinco árvores de cada clone perfazendo um total de 60 árvores, que foram escolhidas ao acaso, excluindo-se as da bordadura, dentro das parcelas experimentais, com diâmetro a altura do peito em um intervalo de $\pm 5\%$ em relação à média.

Na região do DAP de cada árvore foi retirado um torete de aproximadamente 50 cm de comprimento de onde foi retirado cinco discos com 5 cm de espessura, dos quais foram confeccionadas amostras diametraais, ponderando-se que a medula deveria estar centralizada nas mesmas (Figura 1). Todo o preparo das amostras foi realizado no Laboratório de Ciência da Madeira do Departamento de Ciências

Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo. Quatro amostras diametraais por árvore foram destinadas para a perfuração com o Resistógrafo e uma para análise anatômica.

Figura 1 - Esquema ilustrativo da amostragem da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 6 anos de idade.



Fonte: O autor.

4.3 Análises realizadas

As análises foram realizadas no Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM) pertencente ao Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), localizada na cidade de Jerônimo Monteiro – ES.

4.3.1 Umidade da madeira

Foi avaliada em laboratório a resistência da madeira à penetração do Resistógrafo em quatro teores de umidades: Madeira anidra (0% de umidade), Teor de equilíbrio higroscópico (13%-15%), ponto de saturação das fibras (28%-33%) e a madeira saturada (acima de 100%).

Um conjunto de 60 amostras diametraais, retiradas dos discos, foi pesado e posteriormente acondicionado em prateleiras em local arejado para serem secas ao

ar, objetivando-se alcançar o Teor de Equilíbrio Higroscópico (TEH). Conhecendo-se a umidade inicial das amostras, a variação da mesma foi acompanhada constantemente, obtendo-se a condição de umidade desejada após aproximadamente 30 dias.

Outro conjunto com 120 amostras diametrais foi colocado para saturar em água, onde 60 foram retiradas ao término de 30 dias, visando alcançar o PSF, com o teor de umidade verificado após pesagens sucessivas, e as demais foram retiradas ao final de 60 dias após alcançarem a saturação completa da madeira.

4.4.2 Perfuração com o Resistógrafo

Para o presente estudo utilizou-se um Resistograph® da marca RINNTECH, modelo Rinn-R650-SC.

Após as amostras diametrais serem aclimatadas até atingir os teores de umidades desejados, retirou-se as cascas da madeira e mediu-se a distância entre a periferia e a medula, para estabelecer a distância de perfuração do Resistógrafo. Posteriormente, as amostras foram fixadas em um suporte de madeira com o Resistógrafo, com o intuito de manter a estabilidade durante o processo, onde foram realizadas as perfurações no sentido radial da periferia até a medula, como é mostrado na figura 2.

Figura 2 - Suporte para a perfuração das amostras diametrais com o Resistógrafo.

Fonte: O autor.



Os dados de amplitudes registrados na memória interna do equipamento foram descarregados em computador utilizando-se o software DECOM™, a seguir foram exportados para uma planilha eletrônica Excel. Para cada centímetro de penetração da broca foi feita uma média da amplitude de resistência (%), afim de realizar as correlações com a densidade e o teor de umidade da madeira.

O Resistógrafo registra 100 pares de valores de amplitude a cada milímetro de avanço da broca na madeira, ou seja, mede a resistência à penetração a cada 0,01mm. Essa quantidade de pontos de amostragem fornece uma representação detalhada do perfil de resistência da árvore à perfuração com o equipamento. Porém, situações excepcionais como a passagem da broca pela casca da árvore ou leitura feita com a broca fora da madeira, podem gerar dados não representativos de sua estrutura que, portanto, necessitam ser minerados. Todos os valores de amplitudes referentes à movimentação inicial da broca, quando ela não toca a madeira, foram descartados.

4.4.3 Determinação da densidade aparente

Após a perfuração, as amostras diametrais foram seccionadas em amostras menores, com dimensões de 1,0x3,0x4,0cm nas direções radial, tangencial e longitudinal, respectivamente, para a determinação das densidades. Foram obtidas quatro densidades: densidade básica (DB), densidade seca ou anidra (DS), densidade no teor de equilíbrio higroscópico (DTEH) e finalmente a densidade saturada (DSAT).

Tais densidades foram determinadas pelo método do deslocamento de líquidos, onde a massa das amostras foi medida em balança semianalítica (0,01g) e o seu volume foi obtido pelo método de deslocamento em água (amostras saturadas) e em mercúrio (demais condições). Deste modo, tais densidades foram calculadas através das relações entre massa e volumes nos respectivos teores de umidade e a densidade básica calculada por meio da Equação 2.

$$\rho_b = \frac{m_s}{V_{sat}} \quad (2)$$

Em que:

ρ_b :densidade básica (g.cm⁻³).

m_s : massa seca (g).

V_{sat} volume saturado (cm³).

4.4.4 Análises anatômica

As análises anatômicas foram realizadas baseadas nos resultados da amplitude de penetração do Resistógrafo, sendo avaliados apenas os pontos críticos, com maior e menor amplitude, da madeira de 20 árvores selecionadas após análise gráfica dos resultados de resistência à perfuração.

Realizou-se uma avaliação quantitativa que consistiu na mensuração dos elementos de vaso (diâmetro tangencial do lume e frequência por mm²) e fibras (comprimento, diâmetro da fibra, diâmetro do lume e espessura da parede celular).

Amostras com dimensões 1,0x1,5x2,0cm (direção radial, direção tangencial e direção longitudinal, respectivamente) foram retiradas e devidamente amolecidas em água fervente, com a realização de cortes histológicos de 18 a 20 µm em micrótomo de deslize no plano transversal da madeira para as análises dos elementos de vasos. O preparo das lâminas histológicas seguiu o procedimento de rotina adotado no Laboratório de Ciência da Madeira do DCFM/UFES.

A mensuração das fibras foi realizada conforme metodologia preconizada por Dadswell (1972). Logo após o preparo dos cortes histológicos, partes das amostras foram reduzidas a palitos finos e mergulhados em frascos de 25 ml contendo uma solução de ácido acético e peróxido de hidrogênio na proporção de 1:1. Após serem lacrados, os frascos foram colocados em estufa a 60°C por um período de 48 horas. Com a solução decantada, as células suspensas foram lavadas com água destilada, coradas com safranina e as lâminas histológicas foram preparadas utilizando-se glicerina e água destilada na proporção de 1:1.

A mensuração anatômica foi realizada em um sistema de aquisição de imagens composto de câmera acoplada a um microscópio de luz polarizada e com o auxílio do *software* Image-Pro Plus para análise das imagens.

4.4.5 Análise estatística

O estudo foi conduzido sob delineamento inteiramente casualizado (DIC). Depois de serem tabulados, os dados passaram por um teste de normalidade, a fim de se conhecer a distribuição do conjunto de dados.

A análise de variância (ANOVA) foi aplicada e quando as variáveis foram significativas, aplicou-se o teste de Scott-Knott para comparação de médias em nível de 5% de significância.

O estudo de correlações de Pearson ao nível de 5% de significância foi realizado no sentido de verificar a existência de relações entre a amplitude do Resistógrafo com a densidade, teor de umidade, posições radiais e anatomia da madeira. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o *software* R versão 3.5.2.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Variação das densidades e amplitudes por clone

Na Tabela 2 são apresentadas as médias de densidade básica (DB), densidade seca (DS), densidade no teor de equilíbrio higroscópico (TEH) e densidade saturada (DS), bem como os valores mínimos, médios e máximos de amplitude de perfuração do Resistógrafo da madeira dos 12 clones avaliados, acompanhados do teste de média para a madeira perfurada na umidade anidra.

Tabela 2 - Valores médios para densidades e amplitude do Resistógrafo para doze clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6 anos de idade perfurados na umidade anidra.

CLONE	DB (g/cm ⁻³)	DS (g/cm ⁻³)	DTEH (g/cm ⁻³)	Dsat (g/cm ⁻³)	AMPLITUDES (%)		
					Mínima	Média	Máxima
1	0,47 b	0,55 a	0,56 a	1,16 a	37,68	72,12 b	180,94
2	0,45 c	0,52 b	0,54 b	1,15 b	35,56	62,00 b	120,43
3	0,49 a	0,58 a	0,58 a	1,16 a	37,93	87,19 a	200,78
4	0,47 b	0,55 a	0,56 a	1,15 b	41,52	70,31 b	169,16
5	0,46 b	0,54 a	0,56 a	1,16 b	44,89	69,45 b	176,16
6	0,49 a	0,57 a	0,59 a	1,17 a	49,78	88,12 a	193,71
7	0,50 a	0,57 a	0,59 a	1,17 a	51,79	75,04 b	123,09
8	0,42 c	0,48 b	0,50 b	1,14 c	36,96	57,43 b	104,07
9	0,52 a	0,60 a	0,61 a	1,17 a	39,21	101,50 a	237,50
10	0,47 b	0,55 a	0,57 a	1,16 a	35,84	83,06 a	301,39
11	0,44 c	0,51 b	0,52 b	1,15 c	39,93	59,36 b	136,35
12	0,46 b	0,52 b	0,54 b	1,15 b	41,42	74,68 b	147,75

Valores médios seguidos de uma mesma letra na coluna não diferiram entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

O resultado do teste de médias indicou diferença significativa entre os clones, sendo que os clones 3, 6 e 9 foram superiores aos demais, onde para densidade básica as respectivas médias foram 0,49 g.cm⁻³, 0,49 g.cm⁻³ e 0,52 g.cm⁻³. Estes mesmos clones apresentaram as maiores amplitudes médias, sendo estas 87,19 %, 88,12%, 101,50%, respectivamente.

Observa-se ainda que os clones 2, 8 e 11 foram os que apresentaram as menores médias para todas as densidades estudadas e para amplitude, sendo que as médias de densidade básica foram $0,45 \text{ g.cm}^{-3}$, $0,42 \text{ g.cm}^{-3}$ e $0,44 \text{ g.cm}^{-3}$, enquanto que as médias de amplitude foram 62,00%, 57,43% e 59,33%, respectivamente.

Observou-se uma relação positiva da densidade básica com a amplitude de perfuração do Resistógrafo, em que os clones com maiores e menores médias de AMP corresponderam com os de maiores e menores DB. Esta mesma tendência foi observada por Gouvêa et al. (2011a, 2011b) e Couto et al (2013) para diferentes clones de *Eucalyptus*.

Foi observada uma variação entre os resultados para todas as densidades e amplitude de perfuração do Resistógrafo entre os clones perfurados na umidade anidra, onde a densidade básica apresentou uma variação de $0,42 \text{ g.cm}^{-3}$ (clone 8) a $0,52 \text{ g.cm}^{-3}$ (clone 9), a densidade seca variou de $0,48 \text{ g.cm}^{-3}$ (clone 8) a $0,60 \text{ g.cm}^{-3}$ (clone 9), a densidade no TEH de $0,50 \text{ g.cm}^{-3}$ (clone 8) a $0,61 \text{ g.cm}^{-3}$ (clone 9) e para densidade saturada foi de $1,14 \text{ g.cm}^{-3}$ (clone 8) a $1,17 \text{ g.cm}^{-3}$ (clones 6, 7 e 9). A amplitude média de perfuração do Resistógrafo apresentou uma variação de 57,43% (clone 8) a 101,50% (clone 9), onde o valor mínimo foi de 35,56% (clone 1) e o máximo 301,39% (clone 10).

Os resultados referentes à madeira dos 12 clones avaliados perfurada no teor de equilíbrio higroscópico (TEH) são apresentados na Tabela 3. Observa-se que o resultado do teste de médias indicou diferença significativa entre os clones, sendo que os clones 6, 7 e 9 apresentaram maiores médias para todas as densidades. Para densidade básica os valores médios observados foram $0,50 \text{ g.cm}^{-3}$, $0,50 \text{ g.cm}^{-3}$ e $0,51 \text{ g.cm}^{-3}$, respectivamente para estes clones citados. Para a amplitude de perfuração do Resistógrafo as maiores médias foram 72,48% (clone 1), 74,42% (clone 3), 85,18% (clone 6), 81,00% (clone 9), 76,89% (clone 11), e 74,42% (clone 12), que não apresentaram diferença estatística.

Tabela 3 - Valores médios para densidades e amplitude do Resistógrafo para doze clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6 anos de idade perfurados na umidade no Teor de Equilíbrio Higroscópico (TEH).

CLONE	TU (%)	DB (g/cm ⁻³)	DS (g/cm ⁻³)	DTEH (g/cm ⁻³)	Dsat (g/cm ⁻³)	AMPLITUDES (%)		
						Mínima	Média	Máxima
1	14,66 a	0,47 b	0,53 b	0,59 a	1,05 b	30,30	72,48 a	146,70
2	14,15 b	0,43 c	0,49 c	0,56 b	1,02 b	37,95	62,93 b	126,35
3	15,05 a	0,47 b	0,54 b	0,60 a	1,07 a	28,20	74,42 a	168,95
4	15,03 a	0,45 c	0,52 b	0,58 b	1,03 b	34,90	64,56 b	132,50
5	14,45 a	0,46 b	0,54 b	0,58 b	1,05 b	33,61	69,60 b	159,00
6	15,17 a	0,50 a	0,58 a	0,63 a	1,06 a	42,39	85,18 a	259,50
7	15,48 a	0,50 a	0,58 a	0,63 a	1,06 a	44,91	70,81 b	125,16
8	14,20 b	0,42 c	0,47 c	0,52 b	1,04 b	37,73	56,34 b	93,60
9	14,01 b	0,51 a	0,59 a	0,63 a	1,10 a	41,54	81,00 a	188,59
10	14,80 a	0,44 c	0,50 c	0,56 b	1,07 a	40,54	68,27 b	149,22
11	14,22 b	0,44 c	0,50 c	0,55 b	1,03 b	46,99	76,89 a	186,95
12	14,82 a	0,47 b	0,53 b	0,58 b	1,10 a	44,52	74,42 a	120,94

Valores médios seguidos de uma mesma letra na coluna não diferiram entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Observa-se ainda que os clones 2, 8 e 11 foram os que apresentaram as menores médias para todas as densidades estudadas e para amplitude, sendo que as médias de densidade básica foram 0,43 g.cm⁻³, 0,42 g.cm⁻³ e 0,44 g.cm⁻³, respectivamente, enquanto que as menores médias de amplitude foram 62,93% (clone 2), 64,56% (clone 4), 69,60% (clone 5), 70,81% (clone 7), 56,34% (clone 8), 68,27% (clone 10), que não apresentaram diferença estatística.

Içel e Guller (2016) realizaram um estudo no qual perfuraram a madeira serrada de *Picea abies* no teor de equilíbrio higroscópico, objetivando gerar modelos de predição de densidade com o uso de Resistógrafo. Os autores encontraram boa correlação entre a densidade da madeira e os dados da amplitude do Resistógrafo (85%), porém concluíram que a adição da umidade como uma segunda variável independente melhora a significância dos modelos de regressão linear, devido à grande variabilidade na densidade da madeira.

Ocorreu variação entre os resultados para todas as densidades e amplitude de perfuração do Resistógrafo entre os clones perfurados no teor de equilíbrio higroscópico, onde a umidade apresentou uma variação de 14,01% (clone 9) a 15,48% (clone 7). A densidade básica variou de 0,47 g.cm⁻³ (clone 8) a 0,59 g.cm⁻³ (clone 9), a densidade seca de 0,48 g.cm⁻³ (clone 8) a 0,60 g.cm⁻³ (clone 9), a densidade no TEH de 0,52 g.cm⁻³ (clone 8) a 0,63 g.cm⁻³ (clone 9) e para densidade

saturada foi de 1,02 g.cm⁻³ (clone 2) a 1,10 g.cm⁻³ (clones 9). A amplitude média de perfuração do Resistógrafo apresentou uma variação de 56,34% (clone 8) a 81,00% (clone 9), onde o valor mínimo foi de 28,20% (clone 1) e o máximo de 259,50% (clone 6).

Na Tabela 4 são apresentados os resultados referentes à madeira dos 12 clones avaliados perfurada no ponto de saturação das fibras (PSF). O resultado do teste de médias indicou diferença significativa entre os clones, sendo que o clone 9 apresentou maiores médias para todas as densidades avaliadas, sendo que para densidade básica a média observada para este clone foi de 0,54 g.cm⁻³. Para a amplitude de perfuração do Resistógrafo as maiores médias foram 72,48% (clone 1), 74,42% (clone 3), 85,18% (clone 6), 81,00% (clone 9), 76,89% (clone 11), e 74,42% (clone 12), que não apresentaram diferença estatística.

Tabela 4 - Valores médios para densidades e amplitude do Resistógrafo para doze clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6 anos de idade perfurados na umidade no Ponto de Saturação das fibras (PSF).

CLONE	TU (%)	DB (g/cm ⁻³)	DS (g/cm ⁻³)	DTEH (g/cm ⁻³)	Dsat (g/cm ⁻³)	AMPLITUDES (%)		
						Mínima	Média	Máxima
1	31,31 c	0,48 b	0,57 b	0,58 a	1,14 b	49,40	114,28 a	334,98
2	34,04 a	0,44 d	0,54 c	0,52 b	1,10 c	26,73	61,15 c	96,39
3	34,00 a	0,47 c	0,57 b	0,61 a	1,13 b	55,76	100,09 a	238,93
4	32,46 b	0,46 c	0,55 c	0,55 b	1,11 c	48,94	77,12 b	198,71
5	33,46 b	0,47 c	0,57 b	0,56 b	1,12 b	49,44	80,17 b	177,05
6	29,72 d	0,51 b	0,61 a	0,62 a	1,13 b	48,09	95,89 a	293,14
7	31,78 c	0,49 b	0,61 a	0,59 a	1,13 b	42,15	84,04 b	119,69
8	30,64 c	0,42 d	0,49 c	0,50 b	1,11 c	41,29	67,29 c	135,26
9	28,41 d	0,54 a	0,64 a	0,66 a	1,16 a	34,08	104,26 a	237,08
10	35,50 a	0,47 c	0,58 b	0,56 b	1,13 b	54,12	99,39 a	211,08
11	32,36 b	0,44 d	0,53 c	0,52 b	1,11 c	42,02	78,28 b	156,16
12	33,05 b	0,46 c	0,55 c	0,55 b	1,13 b	52,17	100,26 b	195,33

Valores médios seguidos de uma mesma letra na coluna não diferiram entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Observa-se ainda que os clones 2, 8 e 11 foram os que apresentaram as menores médias para todas as densidades estudadas e para amplitude, sendo que as médias de densidade básica foram 0,43 g.cm⁻³, 0,42 g.cm⁻³ e 0,44 g.cm⁻³, respectivamente, enquanto que as menores médias de amplitude foram 114,28% (clone 1), 100,09% (clone 3), 95,89% (clone 6), 104,26% (clone 9), 99,39% (clone 10), que não apresentaram diferença estatística.

A variação da densidade entre os clones não apresentou tendência semelhante à variação de amplitude de perfuração do Resistógrafo no ponto de saturação das

fibras, isto pode ter ocorrido pois, além da densidade, outros fatores podem afetar a resistência à perfuração, como a ocorrência de nós na madeira e aumento da fricção da ponta da broca ocasionada pela formação de serragem durante a perfuração, que tende a aumentar em função do aumento do teor de umidade.

A densidade da madeira pode ser prevista de forma não destrutiva usando o Resistógrafo, juntamente com técnicas de modelagem estatística. No entanto, existem vários fatores e variáveis que afetam a densidade da madeira, incluindo espécies, idade da árvore, ocorrência de madeira de reação, local de origem, teor de umidade (GULLER, 2012). Há também fatores que afetam as leituras do Resistógrafo, como profundidade de perfuração, quantidade de carga da bateria, desgaste da broca, estrutura e orientação do anel de crescimento, ocorrência de nós e posicionamento da broca (IÇEL; GULLER, 2016).

Foi observada uma variação entre os resultados para todas as densidades e amplitude de perfuração do resistógrafo entre os clones perfurados no ponto de saturação das fibras, onde a umidade apresentou uma variação de 28,41% (clone 9) a 35,50% (clone 10). A densidade básica variou de 0,42 g.cm⁻³ (clone 8) a 0,54 g.cm⁻³ (clone 9), a densidade seca de 0,49 g.cm⁻³ (clone 8) a 0,64 g.cm⁻³ (clone 9), a densidade no TEH de 0,50 g.cm⁻³ (clone 8) a 0,66 g.cm⁻³ (clone 9) e para densidade saturada foi de 1,10 g.cm⁻³ (clone 2) a 1,16 g.cm⁻³ (clones 9). A amplitude média de perfuração do Resistógrafo apresentou uma variação de 61,15% (clone 2) a 104,26% (clone 9), onde o valor mínimo foi de 26,73% (clone 2) e o máximo foi de 334,98% (clone 1).

Na Tabela 5 estão apresentados os resultados para a madeira dos 12 clones avaliados na umidade saturada. Observa-se que os clones 6 e 9 apresentaram maiores médias para todas as densidades avaliadas, sendo que para densidade básica as médias observadas foram de 0,48 g.cm⁻³ e 0,50 g.cm⁻³, respectivamente. Para a amplitude de perfuração do Resistógrafo as maiores médias foram 123,85% (clone 6), 128,15% (clone 7), 135,78% (clone 9), 124,04% (clone 10), 117,21% (clone 12), que não apresentaram diferença estatística.

Tabela 5 - Valores médios para densidades e amplitude do Resistógrafo para doze clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6 anos de idade perfurados na umidade Saturada.

CLONE	TU (%)	DB (g/cm ⁻³)	DS (g/cm ⁻³)	DTEH (g/cm ⁻³)	Dsat (g/cm ⁻³)	AMPLITUDES (%)		
						Mínima	Média	Máxima
1	123,05 a	0,46 a	0,52 b	0,55 b	1,01 a	55,69	102,45 b	170,62
2	129,59 a	0,43 b	0,49 c	0,53 c	0,99 b	44,42	97,90 b	145,42
3	124,73 a	0,48 a	0,55 b	0,59 a	1,06 a	35,32	107,88 b	207,78
4	104,89 c	0,47 a	0,54 b	0,56 b	0,95 b	59,20	100,59 b	138,15
5	116,49 b	0,47 a	0,54 b	0,57 b	1,00 b	47,08	110,69 b	171,92
6	117,21 b	0,48 a	0,58 a	0,60 a	1,03 a	62,04	123,85 a	212,65
7	103,39 c	0,49 a	0,57 a	0,60 a	0,99 b	57,95	128,15 a	174,83
8	133,02 a	0,41 b	0,46 c	0,49 c	0,95 b	50,87	84,21 c	129,00
9	105,25 c	0,50 a	0,59 a	0,62 a	1,02 a	70,86	135,78 a	258,75
10	128,64 a	0,46 a	0,54 b	0,56 b	1,04 a	54,57	124,04 a	220,67
11	127,59 a	0,43 b	0,49 c	0,51 c	0,97 b	59,44	101,78 b	136,28
12	128,95 a	0,46 a	0,53 b	0,56 b	1,05 a	52,78	117,21 a	172,95

Valores médios seguidos de uma mesma letra na coluna não diferiram entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Observa-se ainda que os clones 2, 8 e 11 foram os que apresentaram as menores médias para todas as densidades estudadas e para amplitude, sendo que as médias de densidade básica foram 0,43 g.cm⁻³, 0,41 g.cm⁻³ e 0,43 g.cm⁻³, respectivamente, enquanto que a menor média de amplitude foi de 84,21%, observada no clone 8.

Observou-se uma variação entre os resultados para todas as densidades e amplitude de perfuração do Resistógrafo entre os clones perfurados na umidade saturada, onde a umidade variou de 103,39% (clone 7) a 133,02% (clone 8). A densidade básica variou de 0,41 g.cm⁻³ (clone 8) a 0,50 g.cm⁻³ (clone 9), a densidade seca de 0,46 g.cm⁻³ (clone 8) a 0,59 g.cm⁻³ (clone 9), a densidade no TEH de 0,49 g.cm⁻³ (clone 8) a 0,62 g.cm⁻³ (clone 9) e para densidade saturada foi de 0,95 g.cm⁻³ (clones 4 e 8) a 1,06 g.cm⁻³ (clones 3). A amplitude média de perfuração do Resistógrafo apresentou uma variação de 84,21% (clone 8) a 135,08% (clone 9), onde o valor mínimo foi de 35,32% (clone 3) e o máximo de 258,75% (clone 9).

As amostras de madeira perfuradas na umidade saturada representam a árvore viva. A variação da amplitude do Resistógrafo com as densidades observada nos resultados pode estar relacionada com a variação dos teores de umidade de cada indivíduo nesta condição. De acordo com Isik e Li. (2003), muitas vezes há grande variação no teor de umidade entre as árvores vivas nos testes de campo durante o

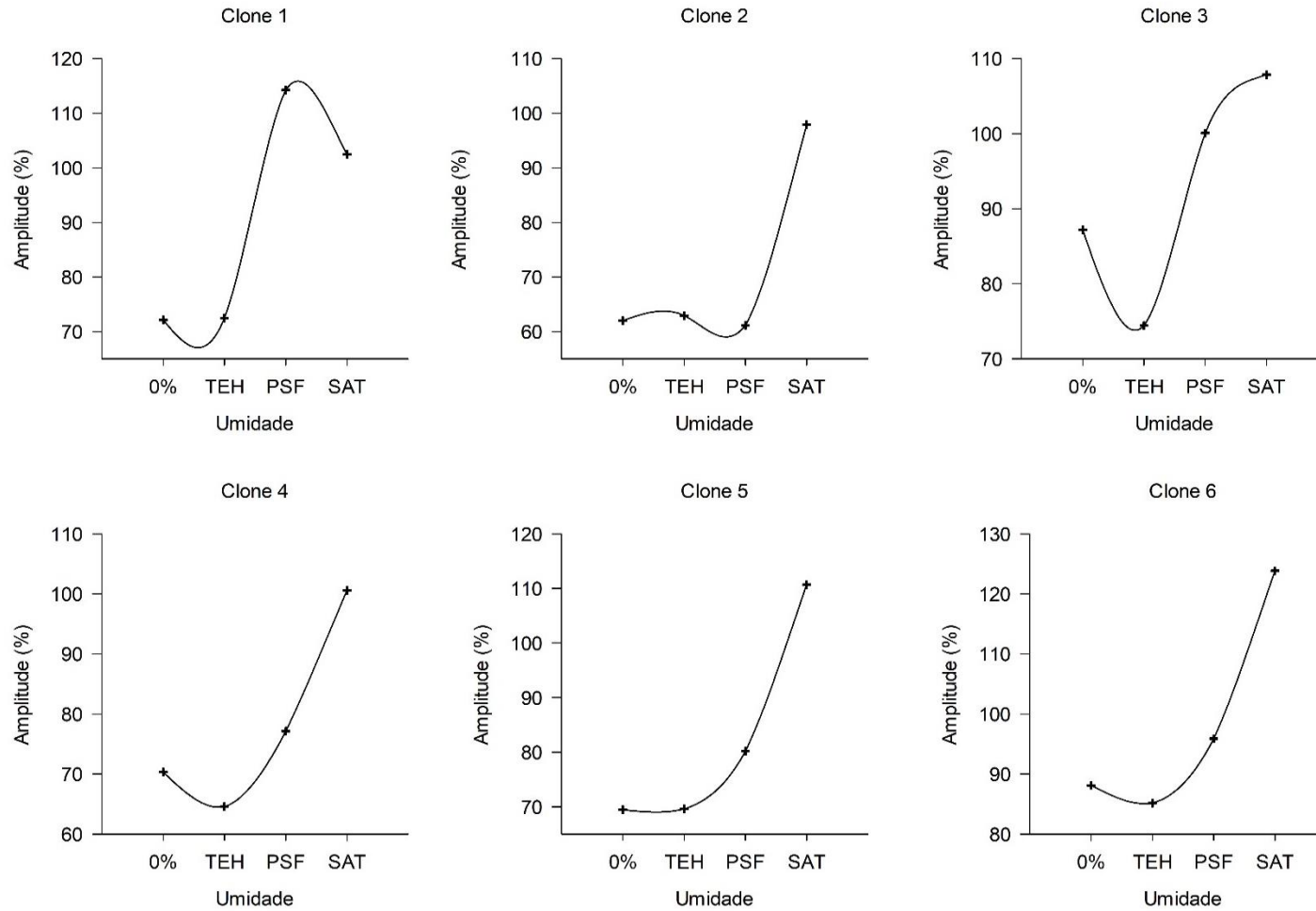
tempo de medição do Resistógrafo, enquanto que a medição da densidade em laboratório é realizada em madeira seca com umidade constante.

A variação da amplitude de perfuração do Resistógrafo nos quatro teores de umidades para cada clone estudado é apresentada nas Figuras 3 e 4. Verificou-se nos clones 2, 3, 4, 6, 7, 9 e 10 a tendência de decréscimo na amplitude na condição anidra para o Teor de Equilíbrio Higroscópica com posterior aumento da mesma no PSF e na umidade saturada. Este mesmo comportamento foi observado por Sharapov et al. (2016) ao estudarem duas espécies de folhosas e uma de conífera em condições semelhantes ao do presente estudo. Esta tendência ocorre devido a diminuição abrupta das propriedades mecânicas da madeira na condição anidra para o teor de equilíbrio, diminuindo a resistência à perfuração. A partir do PSF a água aumenta a resistência à penetração por causar atrito com a ponta da broca do Resistógrafo.

Nos demais clones, com exceção do clone 1, observou-se que o comportamento de aumento da amplitude de perfuração é diretamente proporcional ao teor de umidade da madeira, onde as maiores médias de amplitude ocorreram na umidade saturada, sendo estas 110,69% (clone 5), 84,21% (clone 8), 101,78% (clone 11) e 117,21% (clone 12), enquanto que as menores médias ocorreram na condição anidra, sendo estas 69,45% (clone 5), 57,43% (clone 8), 59,36% (clone 11) e 74,68% (clone 12). Este mesmo comportamento foi observado por Lin et al. (2003) ao estudarem a influência da umidade na amplitude de penetração do Resistógrafo em madeira de *Taiwania cryptomerioides*.

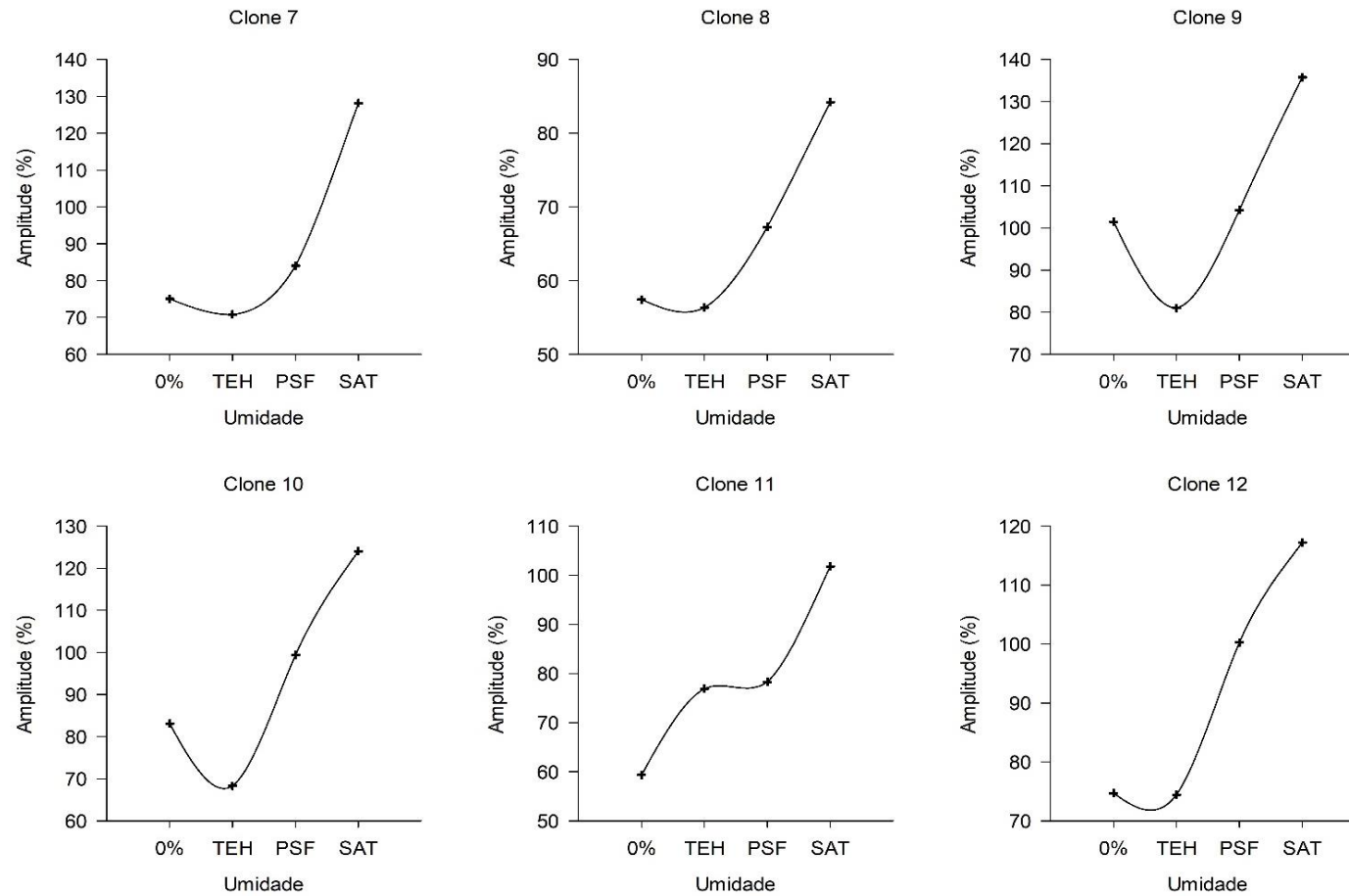
Os resultados obtidos no presente trabalho corroboram a ideia afirmada em outros estudos de que a umidade influencia diretamente na resistência à perfuração do Resistógrafo na madeira. Tem-se como exemplo estudos realizados por Ukrainetz e O'Neill (2010), que concluíram que o teor de umidade da madeira deve ser levado em consideração ao se fazer medições em árvores vivas e mortas, podendo esta variação acarretar erros ao se tentar correlacionar os dados da amplitude com a densidade. Portanto, é necessário ajustar os valores de resistência aos diferentes teores de umidade ao se tentar estimar propriedades físicas da madeira por esta técnica.

Figura 3 - Comportamento individual da amplitude de perfuração do Resistógrafo nas quatro condições de umidades avaliadas dos clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 6 anos de idade.



Fonte: O autor.

Figura 4 - Comportamento individual da amplitude de perfuração do Resistógrafo nas quatro condições de umidades avaliadas dos clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 6 anos de idade.



Fonte: O autor.

Na Tabela 6 estão apresentadas as médias de densidade básica (DB), densidade seca (DS), densidade no Teor de equilíbrio Higroscópico (TEH), densidade saturada (DS), e de amplitude de perfuração do Resistógrafo (AMP) da madeira das árvores avaliadas, acompanhados do teste de média.

Tabela 6 - Valores médios gerais de densidades e amplitude do Resistógrafo para madeira de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6 anos de idade perfurados em diferentes condições de umidade.

Umidade	AMP (%)	DB (g/cm ³)	DS (g/cm ³)	DTEH (g/cm ³)	DSAT (g/cm ³)
Anidra	(34,93) (301,39)	(0,26) (0,87)	(0,39) (0,91)	(0,41) (1,16)	(1,12) (1,28)
	75,27 c (38,78) (49,13)	0,47 a (0,08) (16,31)	0,55 b (0,11) (18,97)	0,56 b (0,11) (17,68)	1,16 a (0,03) (2,26)
TEH	(28,20) (259,50)	(0,35) (0,73)	(0,38) (186,79)	(0,41) (0,98)	(0,81) (1,96)
	71,58 c (31,11) (42,54)	0,46 a (0,08) (15,77)	0,53 c (0,11) (19,16)	0,59 a (0,11) (17,87)	1,06 c (0,03) (9,90)
PSF	(26,73) (334,98)	(0,33) (0,78)	(0,39) (186,79)	(0,41) (1,03)	(0,92) (1,42)
	88,39 b (41,09) (43,50)	0,47 a (0,08) (16,07)	0,57 a (0,11) (19,62)	0,56 b (0,11) (19,00)	1,13 b (0,03) (5,07)
SAT	(35,32) (258,75)	(0,27) (0,74)	(0,34) (186,79)	(0,40) (0,93)	(0,74) (1,34)
	111,37 a (30,17) (23,98)	0,46 a (0,08) (16,26)	0,53 c (0,11) (19,80)	0,56 b (0,11) (17,69)	1,01 d (0,03) (13,05)

Valores médios seguidos de uma mesma letra na coluna não diferiram entre si pelo teste de Scott-Knott ($p>0,05$). Valores entre parênteses correspondem ao valor mínimo e máximo (superior); desvio padrão e coeficiente de variação (inferior).

O teste de comparação de médias indicou que a amplitude de perfuração não teve diferença significativa entre a umidade anidra e o teor de equilíbrio higroscópico, porém, nas condições de umidade a partir do ponto de saturação das fibras, houve um aumento em função do acréscimo da umidade na madeira. A densidade básica, por outro lado, não variou entre as diferentes condições de umidade, enquanto que as demais densidades variaram de forma irregular. Este comportamento denota que a umidade da madeira exerce efeito significativo na leitura do Resistógrafo e, conseqüentemente, na precisão da determinação das propriedades da madeira através da medição da resistência à perfuração.

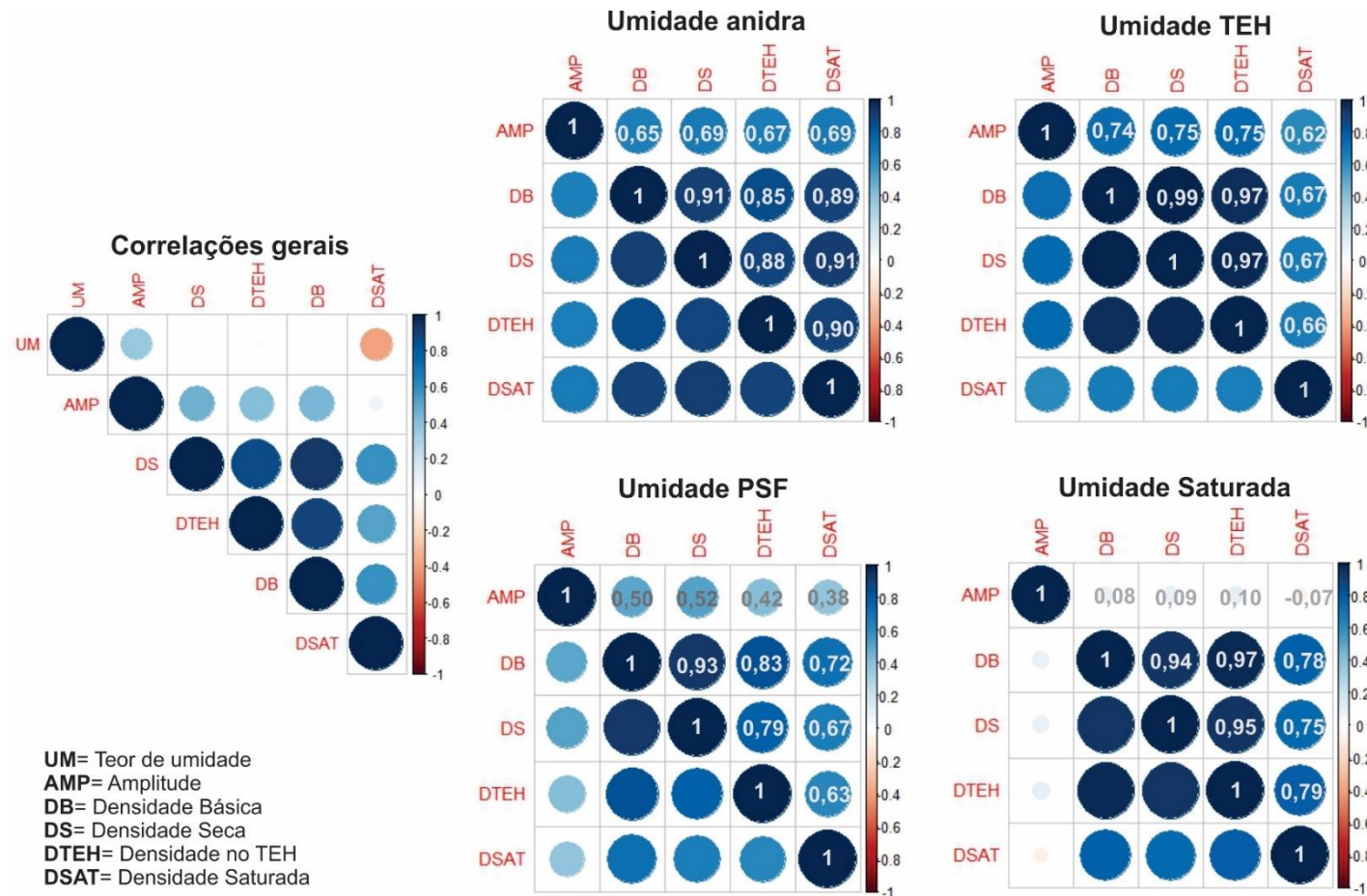
Sharapov et al. (2016), em seus estudos com as espécies *Betula pendula*, *Quercus* sp. e *Pinus sylvestris*, encontraram comportamento semelhante ao da variação da amplitude de perfuração. Foi observado que com o aumento na umidade da madeira de 0% para o TEH (10% a 12%), ocorreu uma leve redução na amplitude de perfuração. Um aumento adicional da umidade da amostra para umidades acima do PSF (90% a 150%) foi acompanhado por um aumento nesta amplitude.

A ocorrência deste comportamento se deve ao fato de que um aumento no teor de umidade de um estado completamente seco para o nível de umidade de equilíbrio afeta mais intensamente a diminuição nas características mecânicas da madeira e, como resultado, há uma diminuição na resistência à perfuração. O aumento subsequente do teor de umidade contribui para um aumento das forças de atrito da superfície da ponta da broca com a madeira e, conseqüentemente, da resistência à perfuração (SHARAPOV et al. 2016).

O coeficiente de variação (CV) mostra a extensão da dispersão dos dados, permitindo descrever se há homogeneidade entre os mesmos. Segundo a classificação de Gomes (1985), o CV é considerado baixo quando menor ou igual a 10%, médio entre 10% e 20%, alto entre 20% e 30% e muito alto quando maior que 30%, denotando uma dispersão dos dados muito alta. Para as amplitudes de perfuração encontradas no presente estudo, o CV foi acima de 40% nas quatro condições de umidade, o que representa a heterogeneidade entre os clones e dentro da própria árvore, em decorrência da variabilidade morfológica de suas células. Esta alta variação é refletida no resistograma, devido à capacidade do Resistógrafo em coletar um grande número de dados em uma pequena distância, fazendo o registro de 100 medições por milímetro de penetração. Para as densidades, os coeficientes de variação foram classificados entre baixos e médios.

As correlações entre a amplitude de perfuração do Resistógrafo e as densidades analisadas nas diferentes condições de umidade são observadas na figura 5. Nota-se que correlações mais fortes e positivas foram encontradas na madeira absolutamente seca e no teor de equilíbrio higroscópico, sendo as melhores observadas nesta última condição. No teor de umidade no ponto de saturação das fibras as correlações também foram positivas, porém moderadas, enquanto que para a umidade saturada não foram encontradas correlações significativas.

Figura 5 - Valores e intensidades de correlação de Pearson ($p < 0,05$) entre as variáveis amplitude e densidades da madeira de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6 anos de idade nas diferentes condições de umidade.



Fonte: O autor.

A correlação entre amplitude de perfuração do Resistógrafo (AMP) e densidade básica (DB) foi de $r=0,65$ na umidade seca, $r=0,74$ no teor de equilíbrio higroscópico, $r=0,50$ no ponto de saturação das fibras e não significativa na umidade saturada. Lima et al. (2007) ao estudarem árvores do gênero *Eucalyptus* encontraram valores correlação variando entre 0,71 e 0,81.

Tendo em vista que o teor de umidade exerce influência na resistência à perfuração do resistógrafo, as melhores umidades para se predizer a densidade da madeira seriam aquelas abaixo do PSF. Acima deste ponto, a água ocupa os espaços vazios da madeira interferindo na resistência a penetração da haste do Resistógrafo. Na madeira muito úmida existe a formação de serragem compactada durante a perfuração, sendo que este componente acidental pode causar aumento na fricção entre a superfície da broca e a madeira, o que pode inferir um erro na medição durante a sua penetração.

5.2 Correlações entre densidade e amplitude por posição radial na direção periferia – medula para diferentes condições de umidade da madeira

Pelo coeficiente de correlação de Pearson foi medida a intensidade da relação entre a amplitude e as densidades estudadas em cada posição radial para as quatro umidades avaliadas. Os resultados dos coeficientes obtidos para o conjunto dos clones avaliados na condição anidra, mostrados na tabela 7, indicam que há correlação positiva e significativa a 5% de significância entre a amplitude e a densidade básica na condição completamente seca da posição 1 até a posição 8, no teor de equilíbrio higroscópico (TEH) até a posição 9, no ponto de saturação das fibras (PSF) da posição 5 até a posição 9 e na condição saturada da posição 1 até a 6 e na posição 10.

As correlações foram mais fortes nas posições iniciais. Oliveira, Wang e Vidaurre (2016), em seus estudos com clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, observaram uma tendência clara de enfraquecimento das correlações com o aumento da profundidade de penetração da broca. As correlações permaneceram relativamente alta nas posições de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, começando a diminuir em função do avanço da profundidade. Os autores afirmam que este fato é explicado pelo efeito prejudicial de forças de atrito mais altas em maiores profundidades, que aumenta a resistência à penetração mesmo com a diminuição da densidade.

Tabela 7 – Coeficiente de correlações de Pearson ($p < 0,05$) entre as amplitudes e densidades por posição radial da madeira de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6 anos de idade nas diferentes condições de umidade.

Posição Radial	AMP x DB				AMP x DS				AMP x DTEH				AMP x DSAT			
	0%	TEH	PSF	SAT	0%	TEH	PSF	SAT	0%	TEH	PSF	SAT	0%	TEH	PSF	SAT
1	0,60*	0,56*	NS	0,58*	0,61*	0,61*	0,26*	0,52*	0,46*	0,38*	NS	0,54*	0,64*	NS	NS	NS
2	0,73*	0,69*	NS	0,67*	0,72*	0,67*	0,33*	0,65*	0,76*	0,70*	NS	0,73*	0,72*	0,33*	NS	NS
3	0,56*	0,33*	NS	0,67*	0,54*	0,34*	NS	0,31*	0,58*	0,30*	NS	0,64*	0,54*	0,29*	NS	NS
4	0,44*	0,44*	NS	0,43*	0,52*	0,46*	0,31*	0,62*	0,59*	0,46*	NS	0,62*	0,40*	0,33*	NS	NS
5	0,66*	0,43*	0,48*	0,55*	0,66*	0,45*	0,46*	0,58*	0,69*	0,39*	0,52*	0,58*	0,68*	0,29*	0,59*	0,29*
6	0,64*	0,59*	0,67*	0,53*	0,69*	0,64*	0,63*	0,50*	0,70*	0,64*	0,61*	0,49*	0,71*	0,75*	0,61*	NS
7	0,38*	0,40*	0,56*	NS	0,41*	0,36*	0,58*	NS	0,45*	0,42*	NS	NS	0,42*	0,46*	0,33*	NS
8	0,41*	0,53*	0,61*	NS	0,43*	0,57*	0,68*	NS	0,45*	0,60*	0,67*	0,28*	0,42*	0,35*	0,39*	NS
9	NS	0,68*	0,63*	NS	NS	0,76*	0,64*	NS	NS	0,78*	0,63*	NS	NS	NS	0,60*	NS
10	NS	NS	NS	0,58*	0,95*	NS	NS	0,52*	NS	NS	NS	0,54*	NS	NS	NS	NS

AMP: Amplitude; DB: densidade básica; DS: densidade seca; DTEH: densidade no teor de equilíbrio higroscópico; DSAT: densidade saturada. (*) significativo (NS) não significativo ($p < 0,05$). Fonte: O autor.

Correlações positivas e significativas foram observadas entre a amplitude e densidade seca para todas as posições, exceto a 9, na condição anidra. Não houve significância nesta condição apenas na posição 10 e no TEH nas posições 3 e 10. Para as amostras saturadas as correlações foram positivas da posição 1 até a posição 6 e na posição 10.

Os resultados dos coeficientes indicam que há correlação positiva e significativa entre a amplitude e a DTEH na condição anidra da posição 1 até a 8 e no TEH da 1 até a 9. No PSF houve correlação significativa apenas nas posições 5, 6, 8 e 9. Já na umidade saturada as correlações foram não significativas apenas nas posições 7 e 9.

Coefficientes de correlações significativos foram encontrados entre densidade saturada e amplitude de perfuração nas condições anidra e no TEH nas posições de 1 a 8. No PSF essas correlações foram significativas das posições 5 a 9 e na condição saturada apenas na posição 5.

Melhores correlações por posição radial foram observadas entre amplitude e as densidades nas condições anidra e umidade no TEH, este último exceto entre a amplitude e densidade saturada. Estas correlações foram mais fortes principalmente nas posições iniciais, próximo a periferia, havendo tendência de diminuição em direção à medula. Correlações não significativas foram encontradas na posição 10 (medula), na maioria das situações, fato que é justificável pelo baixo número de repetições observados nesta última posição.

5.3 Variação das densidades e amplitudes por posição radial

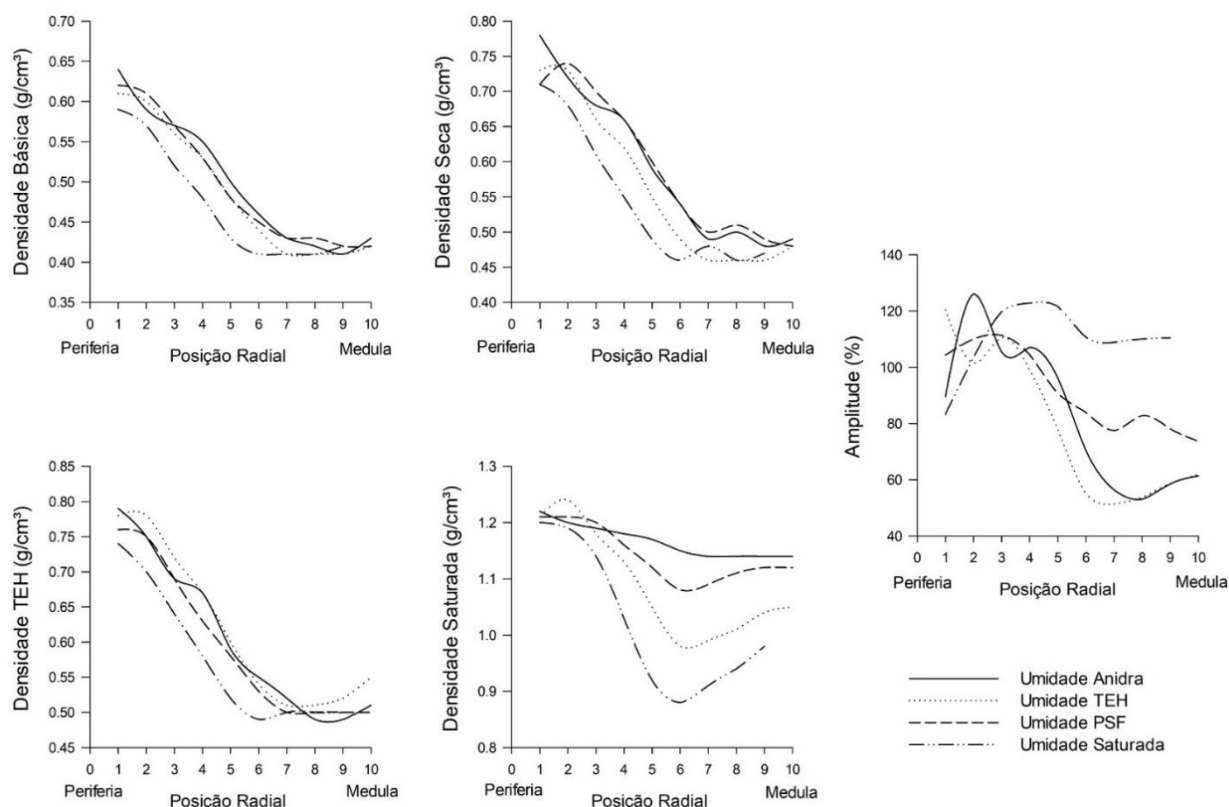
A variação das densidades e amplitude de perfuração do Resistógrafo na direção periferia-medula nas diferentes condições de umidade é apresentada na figura 6. Ao se analisar os gráficos, observa-se que em madeira perfurada na condição anidra ocorre um leve aumento da amplitude nas posições próximas à periferia, com diminuição gradual entre as posições em direção à medula e um ligeiro aumento na última posição.

Maior amplitude foi observada na posição 2, sendo esta 126,07% e a menor a posição 8, 53,06%. As densidades básica, seca e no teor de equilíbrio higroscópico apresentaram semelhante tendência de diminuição no sentido periferia medula, embora os maiores resultados tenham sido observados na posição 1, em todos os

casos. A densidade saturada, no entanto, apresentou pouca variação no sentido radial, sendo quase constante na direção periferia-medula.

Comportamento diferente foi observado para madeira perfurada no teor de equilíbrio higroscópico, em que a maior média de amplitude ocorre na posição inicial 1 (120,47%), seguida por uma diminuição na posição 2 (101,57%) e posterior aumento na posição seguinte (110,59%) e logo após ocorre constante diminuição até a região da medula. Todas as densidades apresentaram tendência de diminuição gradual no sentido periferia-medula, onde as maiores médias ocorreram nas posições mais periféricas, próximas à casca, sendo que as posições 1 e 2 foram as que apresentaram a maiores médias em todos os casos. Ocorreu um leve aumento das densidades nas últimas posições, próximas à medula.

Figura 6 - Variação das densidades e amplitude de perfuração do Resistógrafo na direção periferia-medula da madeira de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6 anos de idade, nas diferentes condições de umidade.



Fonte: O autor.

A amplitude de perfuração do Resistógrafo para a madeira perfurada no ponto de saturação das fibras apresentou comportamento de variação semelhante ao

observado na condição anidra. Maior amplitude foi observada na posição 2, sendo esta 110,12% e a menor na posição 10, 73,65 %. Nas densidades também foi observada tendência de variação semelhante, onde as maiores médias ocorreram nas posições mais próximas à casca, sendo que as posições 1 e 2 apresentaram maiores médias em todos os casos. Na densidade saturada ocorreram menores médias na região central do raio, posição 6 e 7.

Com os resultados referentes à resistência à perfuração da broca na madeira na condição saturada, observa-se um aumento inicial da amplitude, com as maiores médias observadas na posição 3 (103,44%), posição 4 (122,89%) e posição 5 (121,60%), enquanto que a menor média de amplitude ocorreu na posição 1 (83,26%). O menor valor de amplitude, 35,32%, foi encontrado na posição 3, enquanto que o maior valor foi verificado na posição 2, 258,75%. As densidades mostraram tendência de variação análoga à observada nas outras condições de umidade, tendo os maiores valores sido observados próximos à periferia.

A tendência decrescente da densidade no sentido periferia-medula, observadas no presente estudo, corroboram com outros trabalhos com *Eucalyptus* spp. (OLIVEIRA & SILVA, 2003; OLIVEIRA, HELLMEISTER E TOMAZELLO FILHO, 2005; LIMA E GARCIA, 2010; CARNEIRO, 2017). Gonçalves et al. (2010) ao estudar madeira de *Eucalyptus*, observaram valores muito baixos de densidade básica na região medular, com tendência de crescimento nas posições mais externas do tronco. Constatou-se que para esta propriedade o valor médio somente foi ultrapassado nas posições mais periféricas.

A ocorrência de menores valores de densidade nas posições próximas à medula, segundo Latorraca e Albuquerque (2000), deve-se à presença da madeira juvenil, a qual é formada no período inicial do crescimento das árvores. Assim, objetivando-se madeiras de maiores densidades, deve-se dar preferência a árvores com maiores idades e maiores diâmetros.

5.4 Anatomia da madeira

A amplitude de perfuração do Resistógrafo apresentou boas correlações com a densidade, logo, as variações anatômicas na madeira tendem a afetar de forma semelhante os dois atributos. As variações da densidade dependem das mudanças na proporção dos vasos e das espessuras das paredes celulares das fibras. O crescimento da densidade pode ser o resultado do aumento da espessura da parede celular das fibras ou de um aumento na proporção das fibras em relação, por exemplo, à proporção de vasos. De maneira inversa, um aumento na proporção de vasos, com ou sem decréscimo na espessura da parede celular, leva à redução na densidade (OLIVEIRA & SILVA, 2003).

As médias do diâmetro tangencial do lume e frequência dos vasos obtidas nos pontos que apresentaram maior variação na amplitude de perfuração da broca do Resistógrafo, e o seu respectivo valor percentual da amplitude, estão apresentadas na Tabela 8. Pelos resultados da análise anatômica dos vasos nota-se que, de modo geral, os pontos que obtiveram maior média de amplitude de perfuração do Resistógrafo (ponto III: 133,72%) foram os mesmos que apresentaram maior média diâmetro tangencial do lume (94,85 μm) e menor frequência vascular (9,63 v.mm^{-2}). Por outro lado, a análise anatômica de vasos não apresentou diferença significativa entre as médias dos pontos de menor amplitude (ponto I: 48,85%) com os de amplitude intermediária (ponto II: 84,04%).

Zanuncio et al. (2016) ao estudarem a anatomia da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, encontraram médias de diâmetro de vaso variando entre 77,5 μm a 129,4 μm , enquanto que a frequência de vaso variou de 7,7 a 14,3 v.mm^{-2} . Estes resultados corroboram com os observados no presente estudo.

Tabela 8 - Valores médios frequência (n°.mm⁻²) e do diâmetro tangencial do lume (µm) dos vasos e amplitude de perfuração do Resistógrafo observados nos pontos críticos em árvores de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 6 anos de idade.

Árvore	Frequência vascular (n°.mm ⁻²)			Média	Diâmetro do lume (µm)			Média	Amplitude (%)			Média
	I	II	III		I	II	III		I	II	III	
1	16,08	11,40	10,20	12,56 b	97,13	100,27	88,86	95,42 b	36,80	47,00	111,10	67.72 h
2	11,92	7,64	8,40	9,32 d	89,98	105,21	118,84	104,68 a	40,00	63,10	109,20	70.39 h
3	12,20	9,04	8,08	9,77 d	80,10	106,32	107,16	97,86 b	58,50	61,10	106,40	76.65 g
4	10,68	15,00	10,48	12,05 b	93,12	75,25	92,53	86,97 c	46,80	174,30	244,20	156.10 a
5	9,28	13,12	14,92	12,44 b	87,86	77,30	68,54	77,90 c	59,20	63,80	145,20	87.46 f
6	14,92	11,96	9,76	12,21 b	68,20	85,21	80,62	78,016 c	34,50	57,20	67,10	52.73 i
7	10,44	13,68	13,16	12,43 b	87,76	86,65	81,47	85,29 c	54,00	122,90	168,30	116.45 d
8	9,84	12,72	8,88	10,48 d	95,09	80,87	101,21	92,39 b	48,60	179,00	217,60	158.29 a
9	19,72	13,72	9,92	14,45 a	61,55	77,13	77,13	71,94 c	53,90	90,70	114,50	88.29 f
10	16,32	10,76	7,96	11,68 c	69,05	84,36	101,80	85,07 c	46,60	69,20	130,30	82.58 g
11	7,92	6,48	7,68	7,36 f	103,34	112,44	118,49	111,42 a	48,90	52,20	98,40	66.49 h
12	7,04	11,48	7,28	8,60 e	114,57	75,43	114,56	101,52 a	45,10	50,00	101,50	65.59 h
13	11,16	11,84	9,88	10,96 c	89,98	73,30	99,41	87,56 c	51,10	94,50	159,10	103.93 e
14	10,80	13,96	9,20	11,32 c	92,11	86,99	98,48	92,53 b	40,50	65,60	186,70	102.01 e
15	9,76	11,60	8,84	10,10 d	74,06	80,52	83,43	79,34 c	61,00	118,10	126,40	103.71 e
16	13,88	10,92	8,64	11,15 c	82,74	93,31	87,51	87,85 c	40,80	61,60	80,60	69.89 h
17	14,08	11,40	9,84	11,77 c	79,00	85,03	90,99	85,01 c	39,10	45,20	75,90	57.83 i
18	9,16	13,64	10,04	10,95 c	84,86	82,49	99,67	89,01 c	66,00	143,20	160,10	123.81 c
19	16,12	10,68	8,60	11,80 c	73,65	88,10	92,18	84,64 c	68,20	70,20	171,70	134.66 b
20	16,00	11,28	10,84	12,71 b	77,97	89,46	94,06	87,16 c	37,30	51,80	100,10	62.65 h
Média	12,37 A	11,62 A	9,63 B		85,11 B	87,28 B	94,85 A		48,85 C	84,04 B	133,72 A	

Pontos de menor amplitude (I), amplitude intermediária (II), maior amplitude (III). Valores médios seguidos de uma mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferiram entre si pelo teste de Scott-Knott (p<0,05).

Fonte: O autor.

Na tabela 9 estão expostos os valores médios para comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular das fibras observados nos mesmos pontos em 20 árvores de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos seis anos de idade. Com os dados anatômicos das fibras, observa-se que os pontos com a maior amplitude de resistência à perfuração (ponto III: 133,72%) denotam maior comprimento (CF=1126,7 μm), maior espessura de parede (EP=5,4 μm), maior largura (LF=21,7 μm) e diâmetro de lume intermediário (DL=10,9 μm), em relação aos demais pontos. Brisola e Demarco (2011), ao analisar a anatomia de fibra *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, também com 6 anos de idade, encontraram valores inferiores para CF= 1,1 mm, LF= 20 μm e DL=7,8 μm e superiores para EP=6,1 μm .

Os pontos com as menores médias de amplitudes (ponto I: 48,85%) e amplitude intermediária (ponto II: 84,04%), não diferiram estatisticamente para os parâmetros de anatomia de fibra. Porém, as menores médias de amplitude foram observadas nos pontos com menor média de comprimento de fibra (956,5 μm), menor espessura de parede (4,6 μm), menor largura (20,2 μm) e maior diâmetro do lume (11,4 μm).

As árvores que apresentaram maiores médias de amplitude de perfuração, árvore 4 (156,10%) e árvore 8 (158,29%), foram as mesmas que apresentaram maior espessura de parede, 5,5 μm e 5,6 μm , respectivamente. O ponto com maior amplitude de perfuração foi observado na árvore 4 (ponto III: 244,20%), sendo este o mesmo que apresentou maior espessura de parede (6,6 μm). Maior espessura de parede de fibra aumenta a densidade básica da madeira (SETTE JR et al., 2012), que por sua vez, aumenta as propriedades mecânicas (ABRUZZI et al., 2012) tornando assim a madeira mais resistente à perfuração do Resistógrafo.

Para os resultados de amplitudes de perfuração encontradas no presente estudo foi observado um desvio padrão alto, o que representa a heterogeneidade da madeira em decorrência da variabilidade morfológica de suas células que diferem do lenho inicial para o lenho tardio (CARILLHO, et al. 2017). Semelhante heterogeneidade também foi detectada nos resultados de comprimento de fibra e diâmetro de vaso. Esta alta variação é refletida no resistograma, devido à capacidade do Resistógrafo em coletar um grande número de dados em uma pequena distância, fazendo o registro de 100 medições por milímetro de penetração.

Tabela 9 - Valores médios de comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede das fibras observados nos pontos críticos em árvores de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 6 anos de idade.

Árvore	Comprimento (μm)			Média	Largura (μm)			Média	Diâmetro do lume (μm)			Média	Espessura de parede (μm)			Média
	I	II	III		I	II	III		I	II	III		I	II	III	
	1	996,9	862,6		1079,9	979,8 d	18,9		20,1	19,9	19,6 c		9,9	13,3	9,9	
2	939,7	900,1	1100,6	980,1 d	22,5	21,0	23,6	22,4 a	13,3	11,9	11,8	12,4 a	4,6	4,5	5,9	5,1 b
3	976,4	835,8	1011,1	941,1 e	23,9	19,5	20,9	21,5 b	15,2	9,9	10,6	11,9 b	4,4	4,8	5,2	4,8 c
4	863,9	1061,8	984,4	970,0 d	20,2	19,8	19,7	19,9 c	11,3	7,4	8,6	9,1 c	4,6	5,5	6,6	5,5 a
5	858,6	1123,1	831,8	937,8 e	21,7	19,8	19,3	20,3 c	10,9	8,6	9,7	9,7 c	5,4	5,6	4,8	5,3 b
6	934,4	823,5	1109,1	955,7 e	19,0	19,4	20,9	19,8 c	9,6	9,9	10,3	9,9 c	4,7	4,8	5,3	4,9 c
7	969,4	1127,9	1074,1	1057,1 c	19,8	19,6	20,3	19,9 c	10,5	10,4	9,3	10,1 b	4,6	4,6	5,5	4,9 c
8	922,8	1109,3	1143,9	1058,6 c	19,4	21,1	20,6	20,3 c	9,4	10,8	7,4	9,2 c	5,0	5,1	6,4	5,6 a
9	1012,2	865,3	1243,6	1040,4 c	18,9	25,1	21,5	21,8 b	9,7	14,9	10,0	11,6 b	4,6	5,1	5,8	5,1 b
10	936,6	927,6	1218,8	1027,7 c	19,7	17,4	21,5	19,6 c	9,3	8,1	9,9	9,2 c	5,3	4,6	5,8	5,2 b
11	1175,9	969,2	1256,6	1133,9 b	23,5	19,8	25,1	22,8 a	14,2	10,5	14,9	13,2 a	4,7	4,6	5,1	4,8 c
12	946,3	1200,1	1280,8	1142,4 b	20,1	22,3	23,6	21,9 b	12,1	12,6	13,1	12,6 a	3,9	4,8	5,3	4,7 c
13	969,2	1074,9	1155,8	1066,6 c	21,0	19,3	20,0	20,1 c	12,5	7,7	8,1	9,5 c	4,2	5,8	5,7	5,1 b
14	933,1	1077,9	1189,4	1066,8 c	21,6	19,9	20,5	20,7 c	12,4	8,9	7,0	9,5 c	4,6	5,1	6,3	5,4 a
15	903,3	991,2	1042,5	979,1 d	18,1	19,7	23,1	20,3 c	9,2	10,4	12,4	10,7 b	4,5	4,7	5,4	4,8 c
16	971,9	911,2	1239,4	1040,8 c	21,3	19,8	23,6	21,6 b	12,6	10,5	12,6	11,9 b	4,4	4,7	5,5	4,9 c
17	954,3	929,6	1153,0	1012,3 d	22,1	20,4	25,3	22,6 a	12,0	11,2	15,2	12,8 a	5,1	4,6	5,1	4,9 c
18	1122,6	1083,6	1349,1	1185,1 a	20,4	20,6	23,7	21,6 b	11,1	10,9	12,2	11,5 b	4,4	4,8	5,7	5,1 b
19	866,3	794,0	1020,8	893,7 f	18,7	19,3	19,9	19,3 c	10,1	11,0	11,4	10,8 b	4,2	4,2	4,2	4,2 d
20	876,7	880,1	1050,4	935,7 e	20,9	19,9	21,5	20,8 c	12,5	11,5	12,4	12,2 a	4,2	4,2	4,5	4,3d
Média	956,5B	977,4B	1126,7A		20,2B	20,6B	21,7A		11,4A	10,5A	10,9B		4,6B	4,8B	5,4A	

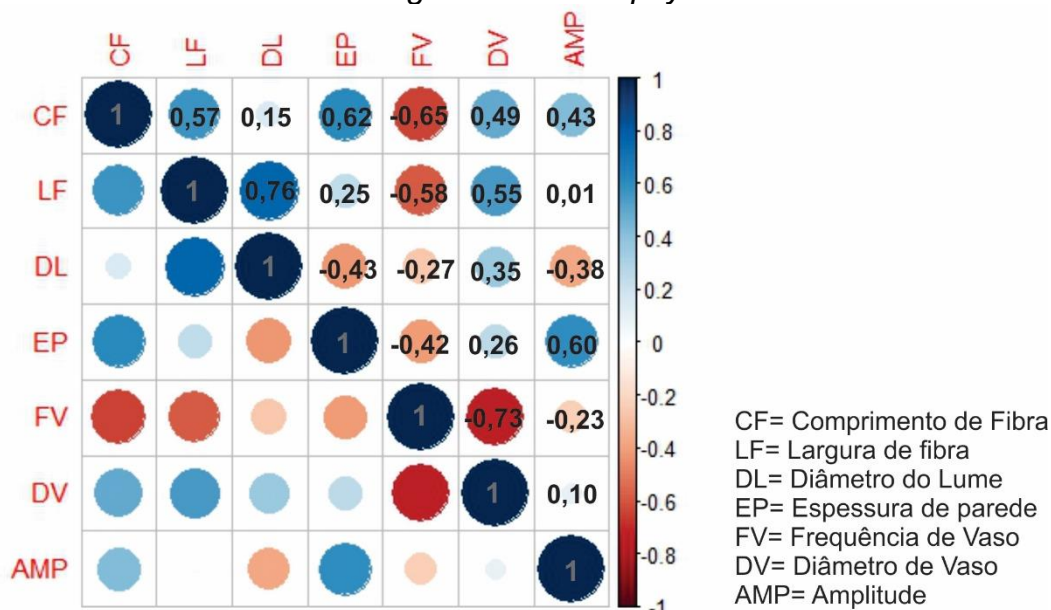
(I) menor amplitude; (II) amplitude intermediária; (III) maior amplitude. Valores médios seguidos de uma mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferiram entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Fonte: O autor

Na figura 7 são observados os coeficientes e a intensidade da correlação de Pearson entre a amplitude de perfuração e as variáveis anatômicas de amostras de madeira de 20 árvores de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6 anos de idade, em pontos selecionados com maior variação de amplitude.

Para a anatomia de fibra nota-se que ocorreu correlação moderada entre a amplitude e a espessura de parede da fibra ($r= 0,60$), sendo esta positiva. O diâmetro do lume, em consequência, apresentou correlação negativa ($r= -0,38$), ou seja, os pontos que apresentaram maior resistência à perfuração possuem fibras com maior espessura de parede e menor diâmetro de lume. A correlação também foi positiva e significativa para comprimento de fibra ($r=0,43$), porém com intensidade moderada. As correlações não foram significativas entre a amplitude e a anatomia de vasos a 5% de significância.

Figura 7 - Valores e intensidades de correlação de Pearson ($p<0,05$) entre amplitude e variáveis anatômicas da madeira de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6 anos de idade.



Fonte: O autor.

Estes resultados podem indicar que a espessura da parede celular, o comprimento de fibra e, em menor grau, diâmetro de lume de fibra são as principais características que contribuem para os maiores valores de amplitude de resistência à perfuração do Resistógrafo e, conseqüentemente, de densidade da madeira, já que estas duas propriedades estão associadas (CARRILLHO et al. 2017).

Coeficientes de correlação positivas foram relatados entre densidade da madeira e comprimento de fibra e entre densidade e largura de fibra para *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* de 6,8 anos e de 5,6 anos de idade (QUILHÓ et al., 2006). Raymond et al. (1998) também descreveram coeficientes de correlação positivas entre densidade da madeira e dimensões de fibra (comprimento e espessura de parede) em *Eucalyptus nitens* de 12 anos (KUBE et al. 2001) e *Eucalyptus regnans*.

6. CONCLUSÕES

O teor de umidade exerceu influência na resistência à perfuração do Resistógrafo, ocorrendo tendência de decréscimo na amplitude da umidade anidra para o teor de equilíbrio higroscópica com posterior aumento da mesma no ponto de saturação das fibras e na umidade saturada.

Correlações positivas e fortes entre a amplitude de perfuração do Resistógrafo e a densidade aparente ocorrem na madeira absolutamente seca e no teor de equilíbrio higroscópico. No ponto de saturação das fibras as correlações são positivas, porém moderadas, enquanto que para a umidade saturada não foram encontradas correlações significativas.

Melhores correlações entre amplitude e a densidade aparente por posição radial ocorrem principalmente nas posições iniciais, próximas à periferia, havendo tendência de diminuição em direção à medula.

As melhores umidades para se predizer a densidade da madeira seriam aquelas abaixo do PSF, onde foram observadas melhores correlações. Acima deste ponto, a água ocupa os espaços vazios da madeira interferindo na resistência à penetração da haste do Resistógrafo.

Conclui-se que a espessura da parede celular, o comprimento de fibra e, em menor grau, diâmetro de lume de fibra, são as principais características anatômicas que contribuem para os maiores valores de amplitude de resistência à perfuração da haste do Resistógrafo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. Anuário estatístico da ABRAF 2013 ano base 2012. Brasília: ABRAF, 2013. 146 p. Disponível em: <<http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-ABRAF13-BR.pdf>>. Acesso em 21 Set. 2017.

ABRUZZI, R.C. et al. Relação das propriedades mecânicas e densidade de postes de madeira de eucalipto com seu estado de deterioração. **Revista Árvore**, v.36, n.6, p.1173-1181, 2012.

ALZATE, S.B.A. Estrutura anatômica da madeira de clones de *Eucalyptus*. **Revista Investigaciones Aplicadas**, Medellín, v.5, n.1, p.1-14, 2009.

ANGYALOSSY-ALFONSO, V. **Caracterização Anatômica do lenho e da casca das principais espécies de *Eucalyptus* L'Hérit. cultivadas no Brasil**. 1987. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

BARRÍA, C.; SANDOVAL, S.; ROJAS, G. Uso del método de resistografía para la predicción de la densidad básica de la madera en árboles en pie de *Pinus radiata*. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, [s.l.], n. 19 (3) , p.349-362, 2017.

BENJAMIN, C. A. **Comparação entre três critérios de amostragem para a avaliação da densidade básica da madeira de florestas implantadas de eucaliptos**. 2002. 132 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/99743/>>. Acesso em 21 set. 2017.

BETINI, M. A.; GALATTI, P. E. Curso de pasta mecânica. Monte Alegre: Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, 1995.

BRISOLA, S. H. DEMARCO, D. Análise anatômica do caule de *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla* e *E. grandis x urophylla*: desenvolvimento da madeira e sua importância para a indústria. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 317-330, set. 2011.

BRUDER, E. M. **Métodos de determinação da densidade básica e aparente da madeira de *Eucalyptus* sp**. 2012. 113 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp, Botucatu, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/90573>>. Acesso em 10 dez. 2018.

BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, p.154, 1991.

CALDERONI, C. et al. Experimental correlations between destructive and non-destructive tests on ancient timber elements. **Engineering Structures**, vol. 32, pp. 442-448, 2010.

CALONEGO, F.W. et al. Mensuração do comprimento das fibras para a determinação da madeira juvenil em *Eucalyptus citriodora*. **Scientia Forestalis**, IPEF, n. 68, p.113-121, 2005.

CARRILLO, I.; ELISSETCHE, J. P.; VALENZUELA, S.. Comparative evaluation of *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* wood and fibre quality. **Iawa Journal**, v. 38, n. 1, p.105-116, 13 fev. 2017.

CARNEIRO, M. F. **Qualidade da madeira de clones de eucalipto utilizados na produção de celulose**.2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro - ES. 2017.

COSTA, V. E. **Caracterização físico-energética da madeira e produtividade de reflorestamentos de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E.urophylla***. 2006. 99 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

COUTO, A. M. et al. modeling of basic density of wood from *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus urophylla* using nondestructive methods. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 1, p. 27-34, jan./mar. 2013.

DADSWELL, H. E. The anatomy of eucalypt wood. **CSIRO Forest Products Laboratory**, Melbourne, n.66, p. 1-28, 1972.

DIAS, D. C. et al. Uso da técnica de resistografia e de variáveis dendrométricas na modelagem da densidade básica de povoamentos clonais de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 609-619, abr.-jun., 2017.

EVANGELISTA, W. V. et al. Caracterização anatômica quantitativa da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 273-284, jun. 2010.

FEIO, A. O.; LOURENÇO, P. B.; MACHADO, J. S. Testing and modeling of a traditional timber mortise and tenon joint. **Materials And Structures**, v. 47, n. 1-2, p.213-225, 26 mar. 2013.

FREITAS, A. S. **Frequências de irrigação para *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* em viveiro**. 2007. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rs, 2007. Disponível em < <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp067119.pdf>>. Acesso em 21 Set. 2017.

FOELKEL, C. E. B.; BRASIL, M. A. M.; BARRICHELO, L. E. G. Métodos de determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF**, Piracicaba, n. 2-3, p. 65-74, 1971.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOVSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 112 p.

GAO, S. et al. A critical analysis of methods for rapid and nondestructive determination of wood density in standing trees. **Annals of Forest Science**, [s.l.], v. 74, n. 2, p.2-13, 22 mar. 2017.

GOMES, F. P. Curso de Estatística Experimental. São Paulo: Nobel, 1985. 467 p.

GOMIDE, J. L. et al. Influência da densidade básica da madeira na qualidade da polpa Kraft de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 901-909, nov./dez. 2004.

GOMIDE, J. L.; Fantuzzi Neto, H; Leite, H. G. Estratégia de análise da qualidade de madeira de *eucalyptus* sp. para produção de celulose. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.3, p. 443-450, 2004.

GONÇALEZ, J. C. et al. Características tecnológicas das madeiras de *Eucalyptus grandis* w.hill ex maiden e *Eucalyptus cloeziana* f. muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 329-341, 2006.

GOUVÊA, A. F. G. et al. Relação entre características da madeira da polpa celulósica de *Eucalyptus* com métodos não destrutivos na árvore viva. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 205-220, 2011a.

GOUVÊA, A. F. G. et al. Determinação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* por diferentes métodos não destrutivos. **Revista Árvore**, Viçosa, v.35, n.2, p.349-358, 2011b.

GULLER, B. Effects of heat treatment on density, dimensional stability and color of *Pinus nigra* wood. **African Journal Of Biotechnology**, [s.l.], v. 11, n. 9, p.2204-2209, 31 jan. 2012.

İÇEL, B.; GÜLER, G. Nondestructive determination of spruce lumber wood density using drilling resistance (Resistograph) method. **Turkish Journal Of Agriculture And Forestry**, v. 40, p.900-907, 2016.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ, Brasília, 2016, 100_p. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf> Acesso em: 29 set. 2018.

ISIK, F.; LI, B. Rapid assessment of wood density of live trees using the Resistograph for selection in tree improvement programs. **Canadian Journal Of Forest Research**, [s.l.], v. 33, n. 12, p.2426-2435, dez. 2003.

KAZMIERCZAK, S. **Qualidade de painéis de madeira compensada fabricados com lâminas de madeira de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus urograndis***. 2012. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Estadual do Centro-Oeste – Unicentro, Irati-PR. 2012.

KUBE, P. D.; RAYMOND, C. A; BANHAM, P. W. Genetic parameters for diameter, basic density, cellulose content and fibre properties for *Eucalyptus nitens*. **Forest Genetic**. 8: 285–294. 2001.

LATORROCA, J. V.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, v.7, n.1, p.279-291, 2000.

- LIMA, J. T. et al. Adequação do resistograph® para a estimativa da densidade básica da madeira de *Eucalyptus*. **Madeira: arquitetura e engenharia**. São Carlos. v. 7, n. 18, jun. 2006.
- LIMA, I. L.; GARCIA, J. N. Variação da densidade aparente e resistência à compressão paralela às fibras em função da intensidade de desbaste, adubação e posição radial em *Eucalyptus grandis* hill ex- maiden. **Rev. Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 551-559, 2010.
- LOGSDON, N. B. **Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira**. 1998. 174 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Universidade de São Paulo, São Carlos-SP. 1998.
- LOPEZ, A. J.; GENES, P. Y.; LOPEZ, J. A. Evaluacion no-destructiva de la densidad de la madera de arboles vivos en pie de *Eucalyptus grandis* utilizando Resistógrafo. In: JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RIOS, **Anais**,... Concordia. 2010.
- LIMA, J. T. et al. Uso do Resistógrafo para estimar a densidade básica e a resistência à perfuração da madeira de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 75, p. 85-93, set. 2007
- LIN, C. J. et al. Effect of moisture content on the drill resistance value in taiwania plantation wood. **Wood and Fiber Science**, 35(2), 2003, pp. 234–238, 2003.
- MOREIRA, W.S. **Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira**. 1999. 107p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.
- MOTTA, A. R. C. et al. Application of the nondestructive method of drill resistance for determination of the strength of brazilian tropical woods. **International Journal of Engineering & Technology**, v. 13 n. 4, Ago. 2013.
- NISGOSKI, S. **Espectroscopia no infravermelho próximo no estudo de características da madeira e papel de *Pinus taeda* L.** 2005. 145 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- OLIVEIRA, J.T.S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1998. 429 f. Tese (Doutorado) Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n. 1, p. 115-127, 2005.
- OLIVEIRA, J.T.S.; SILVA, J.C. Variação Radial da Retratibilidade e densidade básica da Madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.3, p.381-385, 2003.
- OLIVEIRA, J. T. S.; WANG, X.; VIDAURRE, G. B. Assessing specific gravity of young *Eucalyptus* plantation trees using a resistance drilling technique. **Holzforschung**, v. 71, n. 2, p.137-145, 1 jan. 2017.

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

PIGATO, S. M. C.; LOPES, C. R. Caracterização silvicultural, botânica e avaliação da variabilidade genética por meio do marcador molecular RAPD em um teste de progênies de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Scientia Forestalis** Piracicaba, n. 60, p. 135-148, dez. 2001.

QUILHÓ, T.; MIRANDA, I.; PEREIRA, H. Within-tree variation in wood fibre biometry and basic density of the urograndis eucalypt hybrid (*Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*). **IAWA Journal**. 27: 243–254, 2006.

RAYMOND, C. A., BANHAM, P., MACDONALD, A. C. Within tree variation and genetic control of basic density, fiber length, and coarseness in *Eucalyptus regnans* in Tasmania. **Appita Journal**. 51: 299–305. 1998.

REZENDE, M. A.; GUERRINI, I. A.; SAGLIETTI, J. R. C. Estudo das interrelações entre massa específica, retratibilidade e umidade da madeira do *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **IPEF**, Piracicaba, n. 49, p. 133-141, 1995.

RINN, F.; SCHWEINGRUBER, F.H.; SCHAR, E. Resistograph and X-ray density charts of wood comparative evaluation of drill resistance profiles and X-ray density charts of different wood species. **Holzforschung**, Berlin, v.50, n.4, p.303-311, 1996.

SETTE JR, C.R. et al. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v.36, n.6, p.1183-1190, 2012.

SHARAPOV, E.S. et al. The Impact of Moisture Content on the Accuracy of Wood Properties Evaluation by Drilling Resistance Measurement Method. Bulletin Of Higher Educational Institutions. **Lesnoi Zhurnal (forestry Journal)**, [s.l.], n. 2, p.103-113, 20 abr. 2016.

SHIMOYAMA, V. R. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* spp.** 1990. 93p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

SILVA, J. C., et al. Influência de idade e da posição radial nas dimensões das fibras e dos vasos da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v.31, n.6, nov. 2007.

SILVA, J. C.; CASTRO, V. R.; EVANGELISTA, W. V. Influência da idade na usinabilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, visando uso na indústria moveleira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 117-125, mar. 2015.

SILVA, C. E. S. et al. Estimativa da densidade da madeira em árvores vivas de *Cedrela fissilis* Vell. através de resistografia. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 113, p.139-144, 1 mar. 2017.

SOUZA, F. M. L. **Estudo comparativo da madeira e polpação de *Eucalyptus urophylla* e do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* em dois modelos silviculturais.** 2012. xi, 70 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2012.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*. **Revista IPEF**, n. 29, p. 37-45, 1985.

TRUGILHO, P. F. et al. Clones de *Eucalyptus* versus a produção de polpa celulósica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 145-155, 2005.

TUNG, E.S.C. et al. Variação genética para caracteres silviculturais e anatômicos da madeira em progênies de *Myracrodruon urundeuva* (Engler) Fr. Allem. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.38, n.87, p.499-508, 2010.

UKRAINETZ, N. K.; O'NEILL, G. A. An analysis of sensitivities contributing measurement error to Resistograph values. **Canadian Journal of Forest**, Ottawa, v. 40, p. 806–811, 2010.

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

WINANDY, J. E.; ROWELL, R. M. The Chemistry of Wood Strength. **The Chemistry of Solid Wood**. Washington, D.C. p.211-255, 1984.

ZAHNER, V. A.; SIKORA, L. B, PASINELLI, G. Heart rot as a key factor for cavity tree selection in the black woodpecker. **Forest Ecology and Management**, vol. 271, p. 98–103, 2012.

ZANUNCIO, A. J. V. et al. Relationship between the anatomy and drying in *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla* wood. **Revista Árvore**, v. 40, n. 4, p.723-729, ago. 2016.