

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**ESTUDO COMPARATIVO DE MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DA
DENSIDADE BÁSICA DE CAVACOS E DISCOS DE MADEIRA**

RAFAEL RIBEIRO PADULA

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Ciência
Florestal

BOTUCATU – SP

Junho - 2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**ESTUDO COMPARATIVO DE MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DA
DENSIDADE BÁSICA DE CAVACOS E DISCOS DE MADEIRA**

RAFAEL RIBEIRO PADULA

Orientador: Cláudio Angeli Sansígolo

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Ciência
Florestal

BOTUCATU – SP

Junho - 2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO
DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA
- LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Padula, Rafael Ribeiro, 1983 -
P125e Estudo comparativo de métodos para determinação da densidade básica de cavacos e discos de madeira / Rafael Ribeiro Padula. - Botucatu : [s.n.], 2013
x, 52 f. : ils., tabs., grafs., fots. color.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2013
Orientador: Cláudio Angeli Sansígolo
Inclui bibliografia

1. Madeira - Densidade. 2. Madeira - Propriedades físicas. 3. Eucalipto. 4. Indústria madeireira. I. Sansígolo, Cláudio Angeli. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “ESTUDO COMPARATIVO DE MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DE CAVACOS E DISCOS DE MADEIRA”

ALUNO: RAFAEL RIBEIRO PADULA

ORIENTADOR: PROF. DR. CLÁUDIO ANGELI SANSÍGOLO

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. CLÁUDIO ANGELI SANSÍGOLO



PROF. DR. LINCOLN GEHRING CARDOSO



PROF. DR. VLADIMIR ELIODORO COSTA

Data da Realização: 19 de agosto de 2013.

AGRADECIMENTOS

A minha mulher e a minha família pelo apoio e incentivo que foram extremamente necessários nesta etapa da minha vida.

Ao Prof. Dr. Cláudio Angeli Sansígolo pela paciência com meus atrasos, orientação, amizade e confiança.

Ao Prof. Dr. Lincoln Gehring Cardoso, por me aconselhar a realizar o curso de Pós-graduação e por sua sincera amizade.

A Empresa Lwarcel pelo material fornecido, pela oportunidade de se trabalhar com um grupo competente e eficiente que uma empresa deste porte oferece e pelas amizades criadas no período de treinamento.

Ao curso de Pós-graduação em Ciência Florestal da UNESP

A todos os amigos que me apoiaram ou colaboraram para a realização deste trabalho.

Meus sinceros agradecimentos!

“Serviço é disciplina espiritual.”

Sathyanarayana Raju

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	V
LISTA DE TABELAS	IX
LISTA DE SIGLAS	X
RESUMO	1
SUMMARY	2
1. INTRODUÇÃO	3
2. OBJETIVOS	5
2.1 Objetivos Específicos	5
3 REVISÃO DE LITERATURA	6
3.1 O Eucalipto	6
3.2 Densidade da Madeira	7
3.2.1 Densidade da Substância Madeira	7
3.2.2 Densidade Básica da Madeira	9
3.2.3 Densidade Básica Através do Método da Balança Hidrostática	9
3.2.4 Densidade Básica Através do Método do Máximo Teor de Umidade - MTU	11
3.2.5 Densidade Atual ou Corrente da Madeira	13
3.2.6 Densidade Aparente dos Cavacos	13
3.2.7 Estimativa da Densidade da Madeira com o Equipamento Pilodyn	14
4 MATERIAL E MÉTODOS	17
4.1 Material	17
4.2 Métodos	17
4.2.1 Amostragem das Árvores	18
4.2.2 Caracterização Dendrométrica das Árvores	22
4.2.2.1 Volume Comercial de Cada Árvore	22
4.2.2.2 Massa Comercial de Cada Árvore	22
4.2.2.3 Percentagem de Casca em Volume de Cada Árvore	22
4.2.2.4 Percentagem de Casca em Massa de Cada Árvore	22
4.2.3 Determinação da Densidade Básica	23
4.2.3.1 Densidade da Madeira com o Equipamento Pilodyn	23

	Página
4.2.3.2 Densidade Básica em Cavacos	24
4.2.3.3 Densidade Básica em Discos.....	25
4.2.4 Avaliação Estatística dos Dados de Densidade Obtidos.....	26
4.2.5 Centrifugação dos Cavacos para Remoção da Água Antes da Determinação da densidade básica.....	26
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1 Caracterização Dendrométrica das Árvores	28
5.2 Densidade Básica da Madeira	29
6 CONCLUSÕES.....	48
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
9 APENDICES	53
9.1 APENDICE 1: SCAN-CM 43:95.....	53
9.2 APENDICE 2: NBR 11941.....	57

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Disposição do xilômetro em relação à balança.....	9
Figura 2. Derrubada, identificação e medição da altura total e comercial das 10 árvores por clone nos talhões.	17
Figura 3. Medição dos diâmetros e retirada de discos nas alturas de 0%, DAP, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial de cada árvore.	18
Figura 4. Discos amostrados e mensurados em cada árvore e prontos para acondicionamento.....	18
Figura 5. Identificação e descascamento dos toretes da madeira para posterior transformação em cavacos.....	19
Figura 6. Picador de madeira modelo PPK220/500 da marca Planalto, série 0457/02, com potência de 60 a 175 cv e capacidade de 34 mst/h.....	20
Figura 7. Cavacos obtidos de uma das 10 árvores dos dois clones estudados	20
Figura 8. Acondicionamento dos cavacos dos dois clones de <i>E. grandis</i>	21
Figura 9. Cavacos (aspecto) dos dois clones de eucalipto	21
Figura 10. Uso do equipamento Pilodyn nas alturas de retirada dos discos	23
Figura 11. Densidade básica média da árvore (discos) pelo método da balança hidrostática (BHc) dos dois clones	28

Página

Figura 12. Densidade básica média dos cavacos dos dois clones nos quatro métodos	29
Figura 13. Densidade básica média da árvore (discos) através de quatro métodos para o clone de <i>E. grandis</i>	30
Figura 14 Densidade básica média da árvore (discos) através de quatro métodos para o clone de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	31
Figura 15. Densidade básica de cavacos através de quatro métodos para o clone de <i>E. grandis</i>	33
Figura 16. Densidade Básica de cavacos das árvores de <i>E. grandis</i> X <i>E. urophylla</i> (clone P4295) estimada por quatro métodos de determinação	34
Figura 17. Comparação entre densidade básica média da árvore (discos) pelo método da balança hidrostática (BHb) e densidade básica de cavacos (MTU) do clone de <i>E. grandis</i>	35
Figura 18. Comparação entre Densidade Básica média da árvore (discos) pelo método da balança hidrostática (BHb) e densidade básica de cavacos (MTU) do clone de <i>E. grandis</i> X <i>E. urophylla</i>	35
Figura 19. Densidade básica da madeira de discos em diferentes alturas das árvores de <i>E. grandis</i> estimada por quatro métodos de determinação (A 0%, B 25%, C 50%, D 75% e E 100% da altura comercial)	36
Figura 20. Densidade Básica da Madeira de discos em diferentes alturas das árvores de <i>E. grandis</i> X <i>E. urophylla</i> estimada por quatro métodos.....	37

Página

Figura 21. Densidade Básica da Madeira obtida pelo método MTU em árvores de <i>E. grandis</i>	40
Figura 22. Densidade Básica da Madeira de <i>E. grandis</i> (clone G21) estimada por quatro métodos de determinação a 75% da altura comercial	40
Figura 23. Regressão linear entre a penetração do Pilodyn e a densidade básica do disco pelo método da balança hidrostática (BHc). $r = -0,57$; $R = 33\%$ para o clone G21.....	41
Figura 24. Regressão linear entre a penetração do Pilodyn e a densidade básica do disco pelo método da balança hidrostática (Bhb). $r = -0,599$; $R = 36\%$ para o clone G21.....	42
Figura 25. Densidade Regressão linear entre a penetração do Pilodyn e a densidade básica do disco pelo método máximo teor de umidade (MTU) . $r = -0,699$; $R = 49\%$ para o clone G21	42
Figura 26. Regressão linear entre a penetração do Pilodyn e a densidade básica do disco pelo método do máximo teor de umidade modificado (MTUm). $r = -0,688$; $R = 47\%$ para o clone G21	43
Figura 27. Regressão linear entre a penetração do Pilodyn e a densidade básica do disco pelo método da balança hidrostática (Bhc). $r = -0,57$; $R = 14\%$ para o clone P4295	43

Página

Figura 28. Regressão linear entre a penetração do Pilodyn e a densidade básica do disco pelo método da balança hidrostática (BHb). $r = -0,371$; $R = 14\%$ para o clone P4295.....44

Figura 29. Regressão linear entre a penetração do Pilodyn e a densidade básica do disco pelo método do máximo teor de umidade (MTU). $r = -0,279$; $R = 8\%$ para o clone P4295.....44

Figura 30. Regressão linear entre a penetração do Pilodyn e a densidade básica do disco pelo método do máximo teor de umidade utilizado modificado (MTUm). $r = -0,324$; $R = 10\%$ para o clone P429545

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Características dos materiais genéticos.....	16
Tabela 2. Resultados dendrométricos dos materiais genéticos estudados	27
Tabela 3. Densidade básica média da árvore (discos) através de quatro métodos para o clone de <i>E. grandis</i> (ANOVA)	29
Tabela 4. Densidade básica média da árvore (discos) através de quatro métodos para o clone de <i>E. grandis</i> (Tukey)	30
Tabela 5. Densidade básica média da árvore (discos) através de quatro métodos para o clone de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> (ANOVA).....	31
Tabela 6. Densidade básica média da árvore (discos) através de quatro métodos para o clone de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> (Tukey).....	31
Tabela 7. Densidade básica de cavacos através de quatro métodos para o clone de <i>E. grandis</i> (ANOVA).....	32
Tabela 8. Densidade básica de cavacos através de quatro métodos para o clone de <i>E. grandis</i> (Tukey).....	32
Tabela 9. Comparação entre métodos para cavacos de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> (ANOVA).....	33
Tabela 10. Comparação entre métodos para cavacos de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> (Tukey)	33
Tabela 11. Densidade da substância madeira dos clones estudados	38
Tabela 12. Densidade Aparente dos cavacos para os clones estudados (ANOVA)	39
Tabela 13. Densidade Aparente dos clones estudados	39

LISTA DE SIGLAS

D = disco

C = cavaco

BHc = método da balança hidrostática para avaliação de densidade básica da madeira com xilômetro por cima

BHb = método da balança hidrostática para avaliação de densidade básica da madeira com xilômetro por baixo

MTU = método do máximo teor de umidade para avaliação de densidade básica da madeira

MTUm = método do máximo teor de umidade modificado para avaliação de densidade básica da madeira

DAP = diâmetro a altura do peito (equivalente a altura de 1,3 metros do solo)

RESUMO

A densidade básica é a propriedade física da madeira mais utilizada pelas indústrias florestais, pela facilidade de determinação e pela relação com os processos e produtos madeireiros. O objetivo deste trabalho foi estudar os métodos usualmente utilizados para determinação da densidade básica de cavacos e discos de madeira. Para tanto foram escolhidos dois clones de eucalipto, um de *Eucalyptus grandis* com menor densidade básica e outro de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com maior densidade. Ambos com a idade de seis anos. Foram objetos de comparação quatro métodos de determinação da densidade básica, tanto para as secções transversais (discos) retiradas em diversas alturas das árvores (0, 25, 50,75 e 100% da altura comercial) como para cavacos das mesmas árvores. Os métodos utilizados foram o do máximo teor de umidade (MTU), o máximo teor de umidade modificado (MTUm), o método da balança hidrostática com o xilômetro por baixo da balança (BHb) e com o xilômetro por cima da balança (BHc). Os métodos não diferiram entre si quando comparados nas diversas alturas e consequentemente na árvore como um todo, mas ao compararem-se os métodos nos cavacos o máximo teor de umidade modificado diferiu estatisticamente dos demais com maiores valores de densidade para os dois clones. O equipamento Pilodyn também estudado neste trabalho mostrou imprecisão na predição da densidade básica.

Palavras-chave: densidade básica, cavacos, métodos de determinação da densidade básica, Pilodyn, *Eucalyptus*

COMPARATIVE STUDY OF THE PROCEDURES FOR THE DETERMINATION OF THE BASIC DENSITY OF WOOD CHIPS AND DISCS

Botucatu, 2013, 53p.

Dissertation (Master Science in Forest Science) – Agronomical Science College, Universidade Estadual Paulista

Author: RAFAEL RIBEIRO PADULA

Advisor: CLÁUDIO ANGELI SANSÍGOLO

SUMMARY

Basic density, due to its easy determination and correlation with wooden process and products, is the physical propriety of wood most utilized by the forest industry. It was this paper's main goal to comparatively study the most usually employed procedures to determinate wood chips and discs basic density. For that two eucalyptus clones were chosen, one an *Eucalyptus grandis* with lower basic density and the other an *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophyllac* with higher density. Four different methods for the determination of basic density were compared, both for the cross-sections (discs) taken from different heights of the trees (0, 25, 50, 75 and 100% of the commercial height) as for the wood chips from the same trees. The utilized methods were the maximum moisture content (MTU), the modified maximum moisture content (MTUm), the hydrostatic scale with the xylometer bellow the scale (BHb) and with the xylometer atop the scale (BHc). They showed no differences between them when compared in different heights and consequently the tree as a whole, but once the methods were applied on the wood chips the modified maximum moisture content statistically differed from the rest displaying higher density values for both clones. The Pilodyn equipment, also studied in this paper, displayed a lack of precision when determining the basic density.

Keywords: Basic density, wood chips, basic density determination methods, Pilodyn, *Eucalyptus*.

1. INTRODUÇÃO

A densidade básica é reconhecida na literatura como característica hereditária e uma das principais propriedades físicas da madeira que se correlacionam com suas propriedades industriais. É análise de fácil determinação, baixo custo e tem relação com o rendimento volumétrico da polpação Kraft (m^3 de madeira/t de celulose), rendimento florestal (ha de floresta/t de celulose), processos de picagem e deslignificação e com as propriedades físicas e mecânicas da celulose.

Entre os diferentes tipos de densidade da madeira, a densidade básica é a que permite estabelecer mais claramente os critérios de comparação, por determinar a massa de madeira anidra ou seca em estufa contida em unidade de volume verde ou saturada, condições muito estáveis na madeira.

A amostragem da madeira para determinação da densidade básica pode ser efetuada por métodos não destrutivos ou destrutivos. O método de amostragem da madeira não destrutivo mais utilizado é a retirada de bagueta ao nível do diâmetro à altura do peito (DAP) com sonda Pressler, para avaliar a densidade e outras propriedades da madeira. Este procedimento foi muito utilizado em programas de melhoramento para densidade básica da madeira. O método de amostragem destrutivo é feito com a retirada de uma secção transversal do tronco (disco) no DAP ou vários discos de uma mesma árvore em alturas diferentes para determinação da densidade e outras propriedades da madeira.

-

Atualmente para avaliação da densidade da madeira por métodos não destrutivos estão disponíveis diversas tecnologias, como raios-X, infra-vermelho, propriedades vibracionais e transmissão de ondas sonoras, as quais vêm sendo empregadas neste tipo de avaliação (ROSS, et al.1999). No entanto a sua utilização ainda é insipiente, está em fase experimental, é de alto custo e carente de técnicas facilitadoras dos processos.

As determinações são complexas, pois estes métodos não destrutivos fazem a leitura em um determinado nível da árvore e podem não representar a árvore. Além disto, a medida feita por estes equipamentos pode ser coerente ou não com o método tradicional de determinação da densidade básica da madeira. O método de amostragem destrutivo tradicional que representa a árvore toda é a retirada de discos em diversas alturas, e determinação da densidade básica em balança hidrostática.

Como exemplo de questionamento que podem ser citados, tem-se que, a retirada de uma bagueta no DAP e um disco no DAP resulta em valores semelhantes quando da determinação da densidade básica da madeira, exceto se houver variação considerável da densidade básica no sentido medula-casca, pois a bagueta tem a mesma proporção de madeira e o disco diferente proporção neste sentido. Mas, é preciso atentar ao fato de que a determinação da densidade básica no nível do DAP, seja bagueta ou disco, pode não representar a árvore.

Outra questão importante e que este trabalho tentará responder refere-se à equanimidade dos métodos, afinal tem-se disponível vários métodos para determinação da densidade básica, mas não necessariamente seus resultados serão estatisticamente iguais. A resposta desta questão é de vital importância para empresas do ramo florestal, sobretudo as grandes empresas como é o caso da Lwarcel celulose e papel Ltda., visto que estas realizam testes de densidade em campo ou em unidades próximas ao campo, utilizando-se de métodos não destrutivos, como o Pilodyn ou métodos destrutivos através da retirada de discos e posteriormente realizam testes de densidade na unidade principal já com madeira processada em forma de cavaco, por exemplo. A diferença de densidade obtida em campo em relação a obtida na unidade principal, com possível repercussão econômica e de qualidade de produtos, foi o que motivou a execução desta tese.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral foi o estudo dos métodos que vem sendo usualmente utilizados para determinação da densidade básica de cavacos e discos de madeira em um clone de *Eucalyptus grandis* e em um clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*.

2.1. Objetivos específicos

A – Constatar a densidade da madeira de *Eucalyptus grandis* (menor densidade básica) e *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (maior densidade básica).

B – Constatar diferenças de densidade na centrifugação dos cavacos para remoção da água antes da determinação da densidade básica

C – Comparar os métodos de determinação da densidade básica dos discos e cavacos: máximo teor de umidade (MTU), máximo teor de umidade com secagem mais apurada chamado máximo teor de umidade modificado (MTUm), método da balança hidrostática com o xilômetro por baixo da balança (BHb), com o xilômetro por cima da balança (BHc) e o equipamento Pilodyn.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. O Eucalipto

O gênero *Eucalyptus*, por sua grande capacidade de adaptação e diversidade de uso, tornou-se rapidamente foco de grandes indústrias e estudos científicos. De origem australiana, esta espécie florestal pertencente à família Myrtaceae é empregada nos dias atuais na movelaria, carvoaria, laminação, produção de papel, celulose e etc. Segundo Dossa et al., (2002), sua introdução no Brasil ocorreu em 1904 com o objetivo de suprir as necessidades de lenha, postes e dormentes das estradas de ferro, na região Sudeste. De acordo com os autores, na década de 50 passou a ser usado como matéria prima no abastecimento das fábricas de papel e celulose, teve um crescimento expressivo durante o período dos incentivos fiscais, nas décadas de 60 e 70, mas com o término destes houve um crescimento marginal negativo no plantio, com exceção das indústrias de papel e celulose e de siderúrgicas a carvão vegetal, pois estas eram independentes dos investimentos. Entre as espécies mais cultivadas no Brasil encontra-se o *E. grandis*, que segundo Sansígolo (2000), é uma das espécies que mais se destaca para a produção de polpa devido ao seu alto nível de produtividade em regiões subtropicais, suas características silviculturais compatíveis com o plantio comercial e seus excelentes resultados na deslignificação, branqueamento e fabricação de papel.

Outra espécie que se destacou no país em razão da ampla possibilidade de utilização de sua madeira com densidade básica em torno de 0,5g/cm³, foi o *Eucalyptus urophylla*. Sua capacidade de adaptação a climas e solos diversos e sua resistência a doenças,

além de sua alta densidade, tornaram-na foco de programas de melhoramento genético, principalmente de hibridação (SILVA e XAVIER 2006; EVANGELISTA 2007).

Buscando o crescimento do *E. grandis* e a resistência e densidade do *E. urophylla*, não demorou muito para surgir o híbrido derivado do cruzamento entre as espécies que, segundo Milagres (2009), se mostrou altamente adaptado à indústria de celulose e papel apresentando rendimentos elevados e alta qualidade de polpa produzida.

3.2. Densidade da madeira

A densidade é um importante fator na determinação das propriedades físicas e mecânicas que caracterizam diferentes espécies de madeiras, diferentes árvores de uma dada espécie e diferentes regiões de uma mesma árvore. Ela é uma característica complexa resultante da combinação de diversos fatores (FOELKEL, BRASIL e BARRICHELO, 1971). Segundo os autores existem inúmeros trabalhos que mostram sua relação com as dimensões das fibras, espessura da parede, volume dos vasos e parênquimas, proporção entre madeira primavera e outonal, e arranjo dos elementos anatômicos.

Dentre os parâmetros ligados a qualidade da madeira, a densidade básica se destaca por apresentar relações com o rendimento gravimétrico e volumétrico, com a qualidade do produto final, com os constituintes anatômicos da madeira e ainda por ser facilmente mensurada. Entretanto, a natureza das variações existentes na madeira, devido a fatores como a idade, as condições climáticas e edáficas dentre outras não são identificadas utilizando-se apenas a densidade básica (TRUGILHO et. al., 1990).

3.2.1. Densidade da substância madeira

A densidade da substância madeira varia muito pouco para qualquer espécie de madeira. Usualmente os valores encontrados para qualquer madeira estão na faixa de 1,500-1,550 g/cm³. Em cálculos que utilizam a densidade da substância madeira se adota o valor médio de 1,53 g/cm³ (GULLICHSEN e FOGELHOLM, 1999).

A Equação 1 mostra a definição da densidade da substância madeira.

$$dsm = \frac{PSsm}{Vsm} \quad (1)$$

Onde: d_{sm} = densidade da substância madeira, PS_{sm} = peso seco da substância madeira e V_{sm} = volume da substância madeira

O volume da substância madeira é aquele somente das paredes dos elementos anatômicos, ou seja, como se não tivesse espaços vazios dentro das células. É o menor volume que se consegue medir na madeira e por isso resulta num elevado valor da densidade da substância madeira.

A densidade da substância madeira pode ser determinada em água através do método picnométrico, conforme sugerido por Foelkel e Barrichelo (1977) e Stamm (1964). Segundo estes autores a determinação desta densidade através de picnômetro pode ser descrita através das seguintes etapas:

1. Preparar serragem fração 40/60 mesh para a determinação.
2. Tarar o picnômetro limpo e seco. Usar balança analítica com 0,1 mg de precisão.
3. Preencher até a metade do picnômetro com a serragem.
4. Secar em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ o conjunto picnômetro + serragem até peso constante.
5. Pesar o conjunto e, por diferença, obter o peso seco de serragem adicionado (PS).
6. Introduzir água destilada no picnômetro contendo serragem até próximo ao menisco do mesmo.
7. Fazer vácuo intermitente no picnômetro até obter completa saturação da serragem.
8. Para garantir mais a completa saturação, pode-se colocar o picnômetro em banho maria em ebulição durante 1 hora.
9. Tampar o picnômetro após completar o nível com água destilada.
10. Pesar o conjunto picnômetro + serragem + água destilada em balança analítica com 0,1 mg de precisão ($P_{pic+ser+ag}$).
11. Esvaziar o picnômetro, lavar para remoção da serragem e enxugá-lo.
12. Encher completamente o picnômetro limpo e seco, com água destilada.
13. Pesar o conjunto picnômetro + água destilada em balança analítica com 0,1 mg de precisão (P_{pic+ag}).
14. Calcular a densidade da substância madeira através da Equação 2.

$$d_{sm} = \frac{PS}{(P_{pic+ag}) - (P_{pic+ser+ag}) + PS} \quad (2)$$

Onde: d_{sm} = densidade da substância madeira, PS = peso seco da serragem, $(P_{pic}+ag)$ = peso do conjunto picnômetro + água, $(P_{pic}+ser+ag)$ = peso do conjunto picnômetro + serragem + água.

Balões volumétricos de 25 mL podem ser utilizados em substituição aos picnômetros.

3.2.2. Densidade básica da madeira

3.2.3. Densidade básica através do método da balança hidrostática

De acordo com a norma NBR 11941 (2003) em anexo, o método da balança hidrostática é indicado para amostras grandes de madeira (discos e cunhas de madeira). O volume da madeira é determinado por empuxo. Este volume pode ser determinado colocando o xilômetro acima ou abaixo da balança, conforme Figura 1.

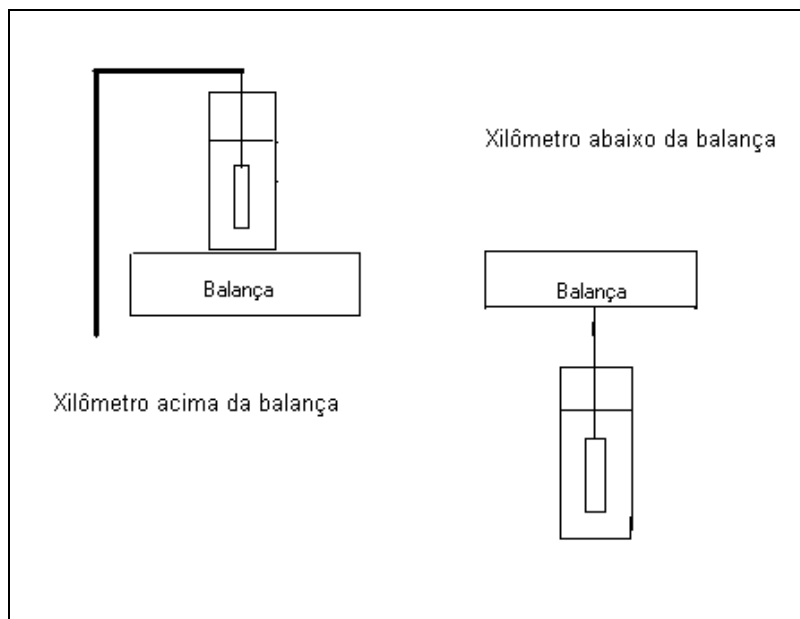


Figura 1. Disposição do xilômetro em relação à balança

Quando o xilômetro é colocado acima da balança, o empuxo da madeira saturada determina diretamente o seu volume. Pelo princípio de Arquimedes, o empuxo é igual ao peso do líquido deslocado, conforme Equação 3.

$$E = m_D \cdot g \quad (3)$$

Onde: E = empuxo; m_D = massa do líquido deslocado e g = gravidade

A densidade do líquido deslocado é definida de acordo com a Equação

4.

$$\rho_L = \frac{m_D}{V_D} \quad (4)$$

Onde: ρ_L = densidade do líquido e V_D = volume do líquido deslocado.

A substituição da Equação 4 em 3 resulta na Equação 5.

$$E = \rho_L \cdot V_D \cdot g \quad (5)$$

A equação 5 mostra que o empuxo será tanto maior quanto maior for o volume de líquido deslocado e quanto maior a densidade deste líquido.

O peso da madeira saturada imersa no líquido em função de sua densidade e de seu volume pode ser expresso da mesma maneira, conforme Equações 6, 7 e 8.

$$P_M = m_M \cdot g \quad (6)$$

$$\rho_M = \frac{m_M}{V_M} \quad (7)$$

$$P_M = \rho_M \cdot V_M \cdot g \quad (8)$$

Onde: P_M = peso da madeira imersa no líquido; m_M = massa da madeira; g = gravidade; V_M = volume da madeira e ρ_M = densidade da madeira.

Quando a madeira estiver totalmente imersa no líquido, ela estará deslocando um volume de líquido V_D igual ao seu próprio volume V_M , conforme equações 9 e 10.

$$E = P_M \quad (9)$$

$$\rho_L \cdot V_d \cdot g = \rho_M \cdot V_M \cdot g \quad (10)$$

A comparação destas duas equações mostra que elas diferem apenas quanto aos valores de ρ_L (densidade do líquido) e ρ_M (densidade da madeira).

Quando o xilômetro é colocado abaixo da balança, o peso imerso da madeira saturada determina o peso aparente da amostra de madeira. Nesta situação, tem as equações 11 e 12.

$$PI_M = PA_M = PU_M - E \quad (11)$$

$$E = PU_M - PI_M \quad (12)$$

Onde: PI_M = peso imerso da madeira, PA_M = peso aparente da madeira, PU_M = peso úmido da madeira e E = empuxo.

Então, para a determinação do volume da amostra de madeira por empuxo, quando o xilômetro é colocado abaixo da balança, há necessidade de fazer duas pesagens: o peso aparente ou imerso e o peso úmido da amostra. Esta forma de determinação é a mais utilizada quando da determinação em cunhas e discos de madeira, e mostrada na equação 13.

$$Db = \frac{PS}{PU - PI} \quad (13)$$

Onde: Db = densidade básica da madeira, g/cm³, PS = peso seco da amostra de madeira, PU = peso úmido da amostra de madeira e PI = peso imerso da amostra de madeira

3.2.4 Densidade básica através do método do máximo teor de umidade – MTU

A norma NBR 11941 (2003) indica o método do máximo teor de umidade para amostras pequenas de madeira como cavacos e baguetas, determinado de acordo com a equação 14

$$Db = \frac{1}{\frac{PU}{PS} - 0,346} \quad (14)$$

Onde: Db = densidade básica da madeira, g/cm³, PU = peso úmido da amostra de madeira, PS = peso seco da amostra de madeira e 0,346 = constante

A dedução da fórmula do método do máximo teor de umidade pode ser observada nas equações 15 a 21.

A umidade base seca da madeira (Ubs) através das determinações dos pesos úmido (PU) e seco (PS) é calculado de acordo com a equação 15.

$$Ubs = \frac{PU - PS}{PS} \quad (15)$$

A diferença PU – PS é o peso de água presente na madeira e por extensão igual ao volume de água.

O volume de água que cabe numa amostra de madeira saturada (Vágua) pode ser calculado pela diferença entre o volume total (Vtotal) e volume da substância madeira (Vsm), conforme Equação 16.

$$V_{\text{água}} = V_{\text{total}} - V_{\text{sm}} \quad (16)$$

Substituindo este volume de água ($V_{\text{água}}$) na Equação 15 de umidade base seca (U_{bs}) tem-se a Equação 17.

$$U_{\text{bs}} = \frac{V_{\text{total}} - V_{\text{sm}}}{PS} \quad (17)$$

Observa-se na Equação 17 que o quociente V_{total} / PS é o inverso da densidade básica da madeira (db) e o quociente V_{sm} / PS é o inverso da densidade da substância madeira (d_{sm}), conforme equação 18.

$$U_{\text{bs}} = \frac{1}{db} - \frac{1}{d_{\text{sm}}} \quad (18)$$

Isolando a densidade básica (db) da Equação 18 resulta na Equação 19.

$$db = \frac{1}{U_{\text{bs}} + \frac{1}{d_{\text{sm}}}} \quad (19)$$

Esta Equação 19 é conhecida como sendo de Smith (1954) e mostra a relação entre densidade básica da madeira e umidade base seca (U_{bs}). Conforme pode ser observado, em madeira verde ou saturada quanto maior a densidade básica da madeira menor teor de umidade base seca e vice-versa.

A substituição da U_{bs} no denominador da Equação 19 pela Equação 15 e densidade da substância madeira (d_{sm}) pelo valor de $1,53 \text{ g/cm}^3$ resulta na Equação 20.

$$db = \frac{1}{\frac{PU - PS}{PS} + \frac{1}{1,53}} \quad (20)$$

A resolução da Equação 20 resulta na Equação 21.

$$db = \frac{1}{\frac{PU}{PS} - 0,346} \quad (21)$$

Esta Equação 21 é conhecida como sendo de Foelkel et al. (1971) e usada para determinação da densidade básica de madeiras de pequena dimensão (cavacos e baguetas).

3.2.5. Centrifugação de cavacos de madeira

Na determinação da densidade básica da madeira o excesso de água nos cavacos é um problema que deve ser levado em consideração, visto que este pode subestimar o valor densidade básica obtida. Para eliminar o problema, antes da pesagem na balança, pode-se recorrer a centrifugação dos cavacos.

Segundo a norma SCAN-CM 43:95 em anexo, a centrifugação dos cavacos é um meio válido e eficiente de se remover o excesso de água dos mesmos, mas, é preciso tomar o cuidado de se retirar apenas a água de superfície sem eliminar a água presente existente nos espaços vazios dentro dos cavacos. Para isso, a norma recomenda a utilização de um tempo máximo de dois minutos, que se ultrapassado pode causar a substituição da água livre ou capilar dos cavacos por ar, resultando em um valor subestimado da densidade básica.

3.2.6. Densidade atual ou corrente da madeira

A densidade atual ou corrente é função do teor de umidade e expressa pela Equação 22.

$$d_a = \frac{P_u}{V_u} \quad (21)$$

Onde: d_a = densidade atual da madeira, P_u = peso com determinado teor de umidade e V_u = volume com determinado teor de umidade.

3.2.7. Densidade aparente dos cavacos

A densidade aparente é um parâmetro importante utilizado no manuseamento dos cavacos e para converter volume de cavacos alimentado ao digestor em massa. A densidade aparente depende da densidade básica, do tamanho e distribuição dos cavacos e da compactação. Normalmente a densidade aparente dos cavacos está na faixa de 0,150 - 0,200 g/cm³ (GUILHENEN e FOGELHOLM, 1999). A definição de densidade aparente dos cavacos é mostrada na Equação 23.

$$d_{ac} = \frac{P_{Sc}}{V_{ac}} \quad (23)$$

Onde: dac = densidade aparente dos cavacos, PSc = peso seco dos cavacos e Vac = volume aparente dos cavacos.

O volume aparente dos cavacos engloba o volume da substância madeira mais o volume de vazios dentro dos cavacos e o volume de vazios entre os cavacos. É o maior volume que se mede em cavacos de madeira e por isso resulta num baixo valor da densidade aparente.

3.2.8. Estimativa da densidade da madeira com o equipamento Pilodyn

A avaliação não destrutiva de madeiras assume um importante papel, pois permite obter e analisar o maior número de informações sobre o material, objetivando não apenas maior precisão dos resultados, como também estabelecer critérios práticos de classificação e caracterização do material (CARRASCO e AZEVEDO JÚNIOR, 2003).

De acordo com a ABENDE (2006), ensaios não destrutivos são aqueles realizados em materiais para a verificação de existência ou não de descontinuidades ou defeitos, através de princípios físicos definidos, sem alterar suas características físicas, químicas, mecânicas, ou dimensionais permitindo uso posterior do material.

A hipótese fundamental para a avaliação não destrutiva da madeira foi proposta por Jayne, que afirmava ser possível controlar o armazenamento de energia e as propriedades de dissipação da madeira, medidos de maneira não destrutiva, através dos mesmos mecanismos que determinam o comportamento elástico deste material (Jayne 1959 apud MINÁ et al., 2004).

Nos dias de hoje, diversas tecnologias, como raios-X, análise química, propriedades vibracionais e transmissão de ondas sonoras, vêm sendo empregadas na avaliação não destrutiva da madeira (ROSS, et al.1999).

Cada um destes diversos métodos e técnicas é adequado à avaliação de determinadas propriedades e características do material e apresentam vantagens em relação aos métodos convencionais para caracterização da madeira. De acordo com Oliveira e Sales (2002), as principais vantagens seriam: a possibilidade de avaliar a integridade estrutural de

uma peça sem a extração de corpos-de-prova; maior rapidez para analisar uma grande população e versatilidade para se adequar a uma rotina padronizada numa linha de produção.

Dentre estes vários aparelhos encontra-se o Pilodyn que segundo Feio (2007) é um equipamento para ensaio de elementos de madeira desenvolvido na Suíça, com a função original de avaliar a degradação superficial em postes de apoio a telecomunicações. Sua utilização prática permitiu a expansão de sua aplicação, tendo-se concluído que a utilização periódica do equipamento consegue detectar o aparecimento de doenças nas árvores, ajuda na definição de parâmetros de qualidade relativos à densidade da madeira e auxilia na integração de diversos tipos de madeira segundo classes e categorias. Atualmente o equipamento é utilizado em ensaios não destrutivos para estimar a densidade da madeira através da relação entre esta e a diferente energia absorvida pelo elemento inspecionado. O autor ainda cita que existem vários modelos de Pilodyn, cujo diferencial se encontra no potencial elástico da mola, por exemplo, os modelos 12J e 18J possuem molas de rigidez bastante elevada, e o modelo 4JR permite um disparo repetido do pino.

De acordo com Martins (2009), o Pilodyn é fácil de utilizar, basta que se tenha o cuidado de colocar o equipamento sempre perpendicularmente à superfície da madeira a analisar, e que os dois pinos de metal que possui à frente encostem devidamente na superfície. Devido à resistência do material que constitui o Pilodyn, o equipamento raramente se danifica, mesmo quando aplicado em madeiras de maior densidade que podem oferecer alguma dificuldade na remoção do equipamento.

Segundo o autor o funcionamento do Pilodyn caracteriza-se pela penetração na superfície da madeira de um pino de aço, de 2,5 mm de diâmetro (para o Pilodyn 6J), disparado por uma mola com uma determinada rigidez, onde a profundidade de penetração na madeira é lida no aparelho, numa escala de 0 a 40 mm. Relacionando a penetração do pino metálico com a redução da resistência superficial à penetração pode-se avaliar a degradação superficial da madeira, já que em uma peça de madeira que se encontre degradada a penetração será maior do que a mesma peça em uma madeira sã.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Material

A Tabela 1 contém as características dos materiais genéticos estudados, que consistiram de um clone de *Eucalyptus grandis*, (menor densidade básica) e um clone do híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla*, (maior densidade básica), informação fornecida pela empresa Lwarcel Celulose e Papel, em Lençóis Paulista-SP. As árvores foram retiradas na Fazenda Nova América pertencente à empresa (Talhões 001.2 e 006.2).

Tabela 1. Características dos materiais genéticos

Parâmetro	Material Genético	
	Clone de menor densidade básica	Clone de maior densidade básica
Espécie	<i>E. grandis</i>	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>
Idade	6,0 anos	6,0 anos
Material	G21	P4295
Talhão	001.2	006.2

4.2. Métodos

4.2.1. Amostragem das árvores

Foram amostradas 10 árvores representativas do DAP médio do talhão para cada clone. As árvores foram marcadas e abatidas com auxílio de motosserra(Figura 2).



Figura 2. Derrubada, identificação e medição da altura total e comercial das 10 árvores por clone nos talhões.

Após a medição da altura total e comercial de cada árvore foram retirados discos com 3 cm de espessura na base (0%), no DAP e a 25, 50, 75 e 100% da altura comercial (Figuras 3 e 4), totalizando 6 discos por árvore.



Figura 3. Medição dos diâmetros e retirada de discos nas alturas de 0%, DAP, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial de cada árvore.



Figura 4. Discos amostrados e mensurados em cada árvore e prontos para acondicionamento.

Estes discos foram enviados para o laboratório da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA) da UNESP onde foram mensurados seus diâmetros com casca e

sem casca para a obtenção de dados dendrométricos e posteriormente mergulhados em água de forma a submergir totalmente com a finalidade de atingir a saturação do material para as determinações da densidade básica.

Os toretes de madeira entre os discos foram descascados e classificados (Figura 5).



Figura 5. Identificação e descascamento dos toretes da madeira para posterior transformação em cavacos.

A picagem dos toretes foi realizada em picador e classificados, para obtenção da amostra de cavacos. O picador utilizado foi o modelo PPK220/500 da marca Planalto, série 0457/02, com potência de 60 a 175 cv e capacidade de 34 mst/h, como ilustrado nas figuras 6 e 7.



Figura 6. Picador de madeira modelo PPK220/500 da marca Planalto, série 0457/02, com potência de 60 a 175 cv e capacidade de 34 mst/h.



Figura 7. Cavacos obtidos de uma das 10 árvores dos dois clones estudados.

Os cavacos foram acondicionados em sacos plásticos para transporte e posteriormente acondicionados em sacos maiores e armazenados no laboratório de secagem de madeira da FCA – UNESP.



Figura. 8. Acondicionamento dos cavacos dos dois clones de *E. grandis*.



Figura 9. Cavacos (aspecto) dos dois clones de eucalipto.

4.2.2. Caracterização dendrométrica das árvores

4.2.2.1. Volume comercial de cada árvore

O volume comercial de cada árvore com casca e sem casca foi determinado pela Equação 24.

$$V_c = \frac{\pi}{8} \times L \times [D^2 B + D^2 100 + 2(D^2 25 + \dots + D^2 75)] \quad (24)$$

Onde: V_c = volume comercial da árvore (m^3), L = comprimento de cada seguimento da árvore (m), D = diâmetro dos discos sem casca a diferentes alturas da árvore (m).

4.2.2.2. Massa comercial de cada árvore

A massa comercial sem casca da árvore foi determinada através da Equação 25.

$$M_c = D_a \times V_c \quad (25)$$

Onde: M_c = massa comercial sem casca da árvore (kg), D_a = densidade básica média da árvore (kg/m^3), V_c = volume comercial sem casca da árvore (m^3).

4.2.2.3. Percentagem de casca em volume de cada árvore

A percentagem de casca em volume foi determinada através da Equação 26.

$$\%C_v = \frac{V_{c/c} - V_{s/c}}{V_{c/c}} \times 100 \quad (26)$$

Onde: $\% C_v$ = percentagem de casca em volume (%), $V_{c/c}$ = volume da árvore com casca (m^3), $V_{s/c}$ = volume da árvore sem casca (m^3).

4.2.2.4. Percentagem de casca em massa de cada árvore

A percentagem de casca em massa foi determinada pela Equação 27.

$$\%Cm = \frac{(Vc/c - Vs/c) \times Dbc}{ma + mc} \times 100 \quad (27)$$

Onde: Cm = percentagem de casca em massa (%), Vc/c = volume da árvore com casca (m³), Vs/c = volume da árvore sem casca (m³), ma = massa da árvore (kg), mc = massa da casca (kg), Dbc = densidade básica da casca (kg/ m³).

4.2.3. Determinação da densidade básica

4.2.3. 1. Densidade da madeira com o equipamento Pilodyn

A determinação da densidade da madeira usando o equipamento Pilodyn foi efetuada em cada disco retirado das árvores (6 determinações/árvore, totalizando 120 determinações).



Figura 10. Uso do equipamento Pilodyn nas alturas de retirada dos discos.

4.2.3.2. Densidade básica em cavacos

A determinação da densidade básica na amostra de cavacos foi efetuada pelo método do máximo teor de umidade (FOELKEL, BRASIL e BARRICHELO, 1971) (MTU) (Equação 28) e pelo método do máximo teor de umidade modificado (MTUm), que utiliza a mesma equação do MTU, porém com uma secagem mais apurada nos cavacos, totalizando 60 determinações (2 materiais genéticos vs 10 árvores vs 3 amostra de cavacos/árvore).

$$Db = \frac{1}{\frac{PU}{PS} - 0,346} \quad (28)$$

Onde: Db = densidade básica dos cavacos (g/cm^3), PS = peso seco da amostra de madeira (g), PU = peso úmido da amostra de madeira (g) e 0,346 = constante.

Para a determinação da densidade básica na amostra de cavacos, também, utilizou-se o método da balança hidrostática (FOELKEL, BRASIL e BRRICHELO, 1971). Esta determinação foi efetuada instalando o xilômetro abaixo da balança (Equação 29) e acima da balança (Equação 30). Quando o xilômetro é colocado acima da balança, o peso imerso é diretamente o volume da amostra de cavacos, ou seja, não depende da determinação do peso úmido dos cavacos.

Xilômetro abaixo da balança

$$Db = \frac{PS}{PU - PI} \quad (29)$$

Xilômetro acima da balança

$$Db = \frac{PS}{PI} \quad (30)$$

Onde: Db = densidade básica dos cavacos (g/cm^3), PS = peso seco da amostra de madeira, (g), PU = peso úmido da amostra de madeira (g) e PI = peso imerso da amostra de madeira (g).

4.2.3.3. Densidade básica em discos

A determinação da densidade básica em cada disco retirado das árvores (5 determinações/árvore) foi efetuada pelo método da balança hidrostática (FOELKEL, BRASIL e BRRICHELO, 1971), instalando o xilômetro por baixo (BHb) e por cima (BHc) da balança (Equações 29 e 30), bem como os métodos de máximo teor de umidade usual e modificado, como efetuado para os cavacos.

A densidade básica média de cada árvore foi calculada pela densidade básica dos discos e respectivo diâmetro sem casca (Equação 31).

$$D_a = \frac{1}{2} \frac{(D^2 B + D^2 25)(dB + d25) + \dots + (D^2 75 + D^2 100)(d75 + d100)}{D^2 B + D^2 100 + 2(D^2 25 + \dots + D^2 75)} \quad (31)$$

Onde: D_a = densidade básica média da árvore (g/cm^3), D = diâmetro dos discos sem casca a diferentes alturas da árvore (cm), d = densidade básica das cunhas a diferentes alturas da árvore (g/cm^3).

4.2.4. Densidade da substância madeira e densidade aparente dos cavacos

A densidade da substância madeira foi efetuada através do método picnométrico de acordo com a metodologia descrita por Foelkel e Barrichelo (1977) e Stamm (1964). A determinação da densidade aparente dos cavacos foi determinada através da relação entre peso seco dos cavacos e volume aparente dos cavacos (Equação 23). O volume aparente dos cavacos engloba o volume da substância madeira mais o volume de vazios dentro dos cavacos e o volume de vazios entre os cavacos. Este volume foi determinado em um recipiente cilíndrico de 8 litros.

4.2.5. Centrifugação dos cavacos para remoção da água antes da determinação da densidade básica

Nesta parte do estudo foi utilizada uma centrífuga de roupas marca Britânia com as seguintes características: capacidade 7 litros, rotação de 1800 rpm. Os cavacos foram acondicionadas em recipiente de tecido e centrifugados nos tempos 0, 2, 4, 6 e 8 minutos.

4.2.6. Avaliação estatística dos dados de densidade obtidos

Os tratamentos foram comparados utilizando ANOVA seguido de teste de comparação múltipla de Tukey. As análises foram feitas no programa SAS for windows, v.9.2 e foi adotado o nível de significância de 5% ou o p-valor correspondente.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização dendrométrica das árvores

A Tabela 2 mostra os resultados dendrométricos das árvores de mesma idade dos dois materiais genéticos estudados.

Tabela 2. Resultados dendrométricos dos materiais genéticos estudados

Madeiras	<i>E. grandis</i> (clone G21)	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> (clone P4295)
DAP, cm	17,750 a	17,430 a
Altura total, m	26,360 a	27,950 b
Altura comercial, m	20,600 a	21,429 a
Volume com casca, m ³	0,317 a	0,327 a
Volume sem casca, m ³	0,279 a	0,287 a
% de casca em volume, %	11,860 a	12,010 a

médias seguidas de mesma letra na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%

Percebe-se ao observar a Tabela 2 que não houve diferença estatisticamente significativa entre os clones, com exceção da variável altura total.

5.2. Densidade básica da madeira

Neste trabalho as diferenças esperadas na densidade básica, quando comparadas espécies diferentes, no caso *Eucalyptus grandis* e um clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, foram confirmadas, comprovando densidades específicas de acordo com o clone utilizado, o que demonstra a influência dos materiais genéticos envolvidos no quesito menor e maior densidade básica.

A Figura 11 mostra a densidade básica média das árvores (discos) pelo método da balança hidrostática (BHc) dos dois clones. Observam-se valores de densidade básica menores para os indivíduos de *E. grandis* (clone G21) e valores mais elevados para os indivíduos de *E. grandis* x *E. urophylla* (clone P4295).

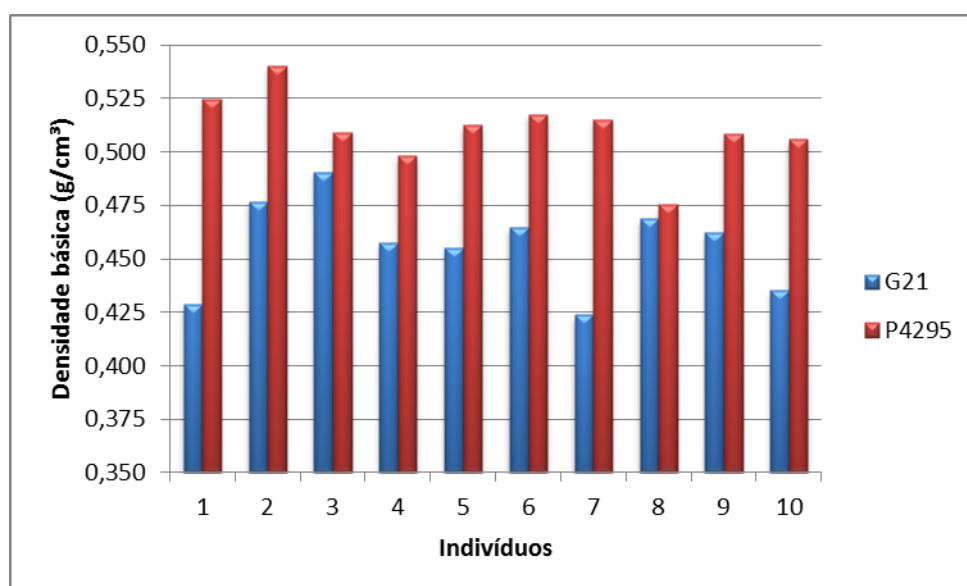


Figura 11. Densidade básica média (g/cm³) da árvore (discos) pelo método da balança hidrostática (BHc) dos dois clones

A Figura 12 mostra a densidade básica dos cavacos nos dois clones estimados pelos quatro métodos de determinação. Nota-se um comportamento semelhante ao observado para densidade básica dos discos nos quatro métodos utilizados.

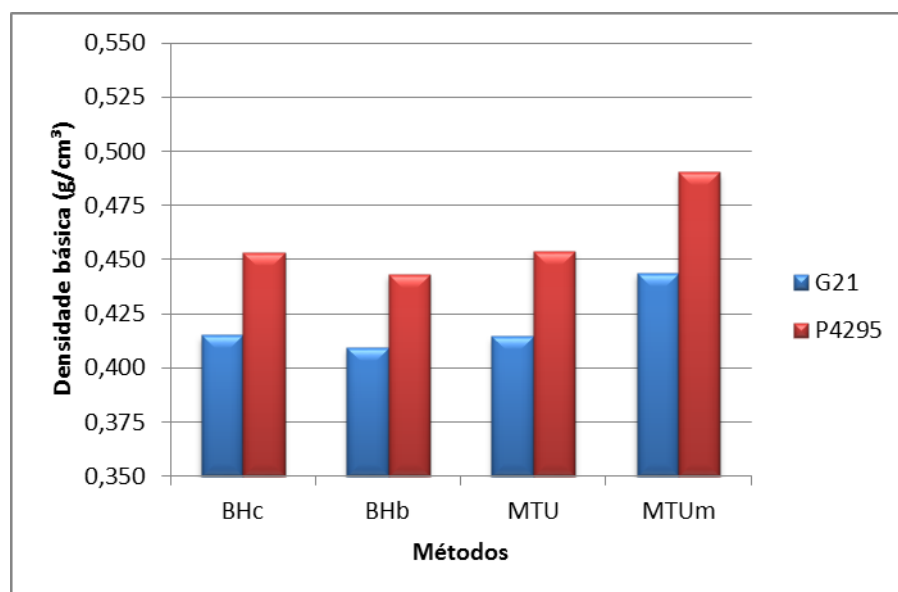


Figura 12. Densidade básica média (g/cm³) dos cavacos dos dois clones nos quatro métodos.

Tanto para os cavacos como para os discos a densidade básica se comportou da maneira esperada com relação aos clones, com valores menores para os indivíduos de *E. grandis* (clone G21) e valores mais elevados para os indivíduos de *E. grandis* x *E. urophylla* (clone P4295). As Figuras 11 e 12 mostram a tendência e ratificam a premissa da amostragem.

As Tabelas 3 e 4 referem-se à densidade básica média da árvore (discos) através de quatro métodos para o clone de *E. grandis*. Observa-se que não houve diferença estatisticamente significativa entre os métodos de determinação de densidade básica aplicados para as árvores do clone G21 (*E. grandis*).

Tabela 3. Densidade básica média da árvore (discos) através de quatro métodos para o clone de *E. grandis* (ANOVA).

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Tratamentos	3	0,0009	0,0003	0,60 ns
Resíduo	36	0,01817	0,00005	
Total	39	0,01907		

ns não significativo ($p \geq .05$)

Tabela 4. Densidade básica média da árvore (discos) através de quatro métodos para o clone de *E. grandis* (Tukey).

Método	Obs	Média	CV %
MTU	10	0,456 a	4,88
MTUm	10	0,456 a	
BHc	10	0,465 a	
BHb	10	0,465 a	

médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%

A Figura 13 demonstra os resultados obtidos na análise estatística indicando a não diferença entre os métodos.

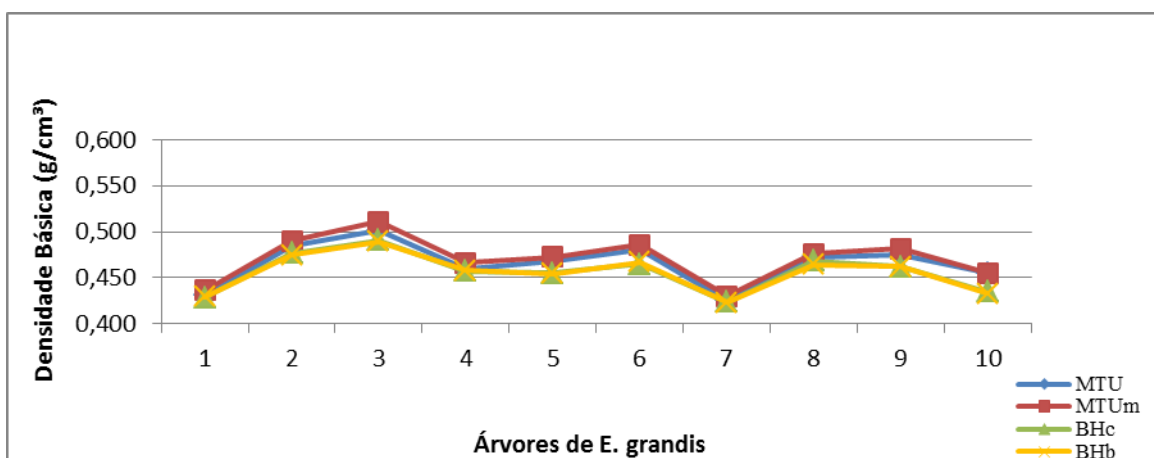


Figura 13. Densidade básica média (g/cm^3) da árvore (discos) através de quatro métodos para o clone de *E. grandis*

A Tabela 5 e 6 são referentes a densidade básica média da árvore (discos) através de quatro métodos para o clone de *E. grandis* x *E. urophylla*. Nota-se que também não obtiveram resultados estatisticamente diferentes entre os quatro métodos de determinação quando submetidos à análise estatística.

Tabela 5. Densidade básica média da árvore (discos) através de quatro métodos para o clone de *E. grandis* x *E. urophylla* (ANOVA).

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Tratamentos	3	0,00131	0,00044	1,49 ns
Resíduo	36	0,01051	0,00029	
Total	39	0,01182		

ns não significativo ($p \geq .05$)

Tabela 6. Densidade básica média da árvore (discos) através de quatro métodos para o clone de *E. grandis* x *E. urophylla* (Tukey).

Método	Obs	Média	CV %
MTU	10	0,511 a	3,31
MTUm	10	0,511a	
BHc	10	0,519 a	
BHb	10	0,524 a	

médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%

A Figura 14 ilustra a não diferença entre os quatro métodos de determinação de densidade nas árvores de *E. grandis* x *E. urophylla* (clone P4295) amostradas.

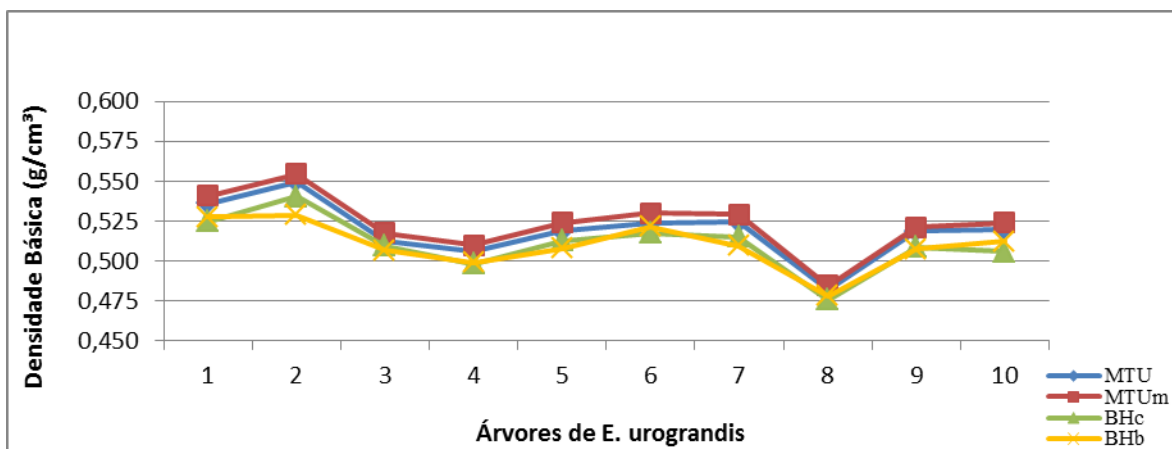


Figura 14. Densidade básica (g/cm^3) média da árvore (discos) através de quatro métodos para o clone de *E. grandis* x *E. urophylla*

As Tabela 7 e 8 referem-se à densidade básica de cavacos através de quatro métodos para o clone de *E. grandis*. O resultado da análise estatística nos cavacos de

sugere que apenas o método do máximo teor de umidade modificado (MTUm) difere estatisticamente dos outros três métodos.

Tabela 7. Densidade básica de cavacos através de quatro métodos para o clone de *E. grandis* (ANOVA).

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Tratamentos	3	0,0073	0,0242	24,08 *
Resíduo	36	0,0036	0,0001	
Total	39	0,0109		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < .05$)

Tabela 8. Densidade básica de cavacos através de quatro métodos para o clone de *E. grandis* (Tukey).

Método	Obs	Média	CV %
MTU	10	0,415 a	2.38
MTUm	10	0,444 b	
BHc	10	0,415 a	
BHb	10	0,410 a	

médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%

Através da Figura 15 percebe-se claramente os valores superiores de densidade obtidos nos cavacos de *E. grandis* com o método máximo teor de umidade modificado (MTUm) em relação aos demais métodos estudados.

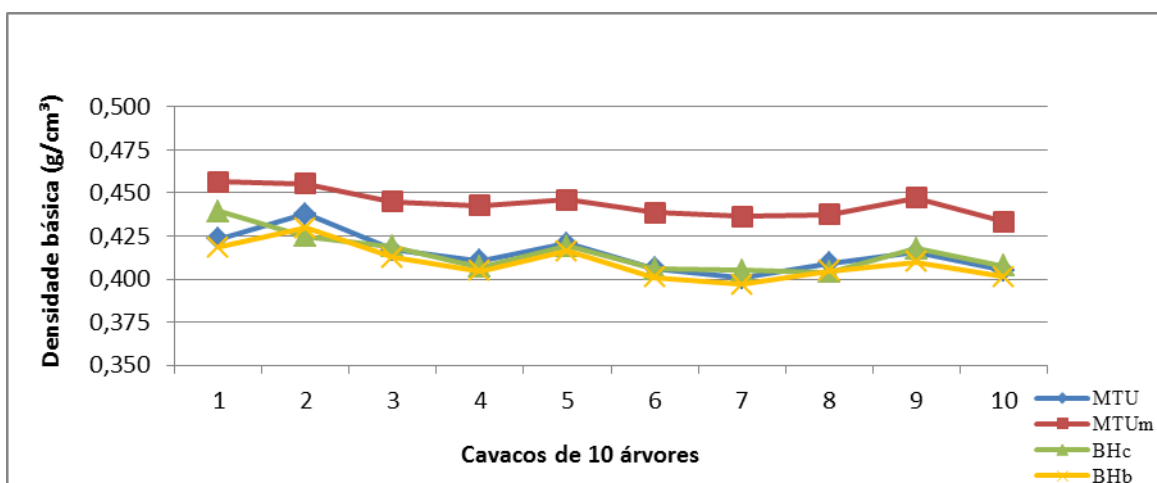


Figura 15. Densidade básica (g/cm³) de cavacos através de quatro métodos para o clone de *E. grandis*

As Tabelas 9 e 10 trazem a comparação entre métodos e demonstra a análise estatística dos cavacos de *E. grandis* x *E. urophylla*. Os métodos do máximo teor de umidade (MTU) e o método da balança hidrostática com o xilômetro por cima (BHc) não diferiram significativamente entre si

Tabela 9. Comparação entre métodos para cavacos de *E. grandis* x *E. urophylla* (ANOVA)

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Tratamentos	3	0,01283	0,00428	87,70 *
Resíduo	36	0,00176	0,00005	
Total	39	0,01459		

* significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .05$)

Tabela 10. Comparação entre métodos para cavacos de *E. grandis* x *E. urophylla* (Tukey)

Método	Obs	Média	CV %
MTU	10	0,454 a	1,52
MTUm	10	0,490 b	
BHc	10	0,453 a	
BHb	10	0,443 c	

médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%

A Figura 16 ilustra as densidades obtidas nos quatro métodos de determinação em cavacos de *E. grandis* x *E. urophylla* .

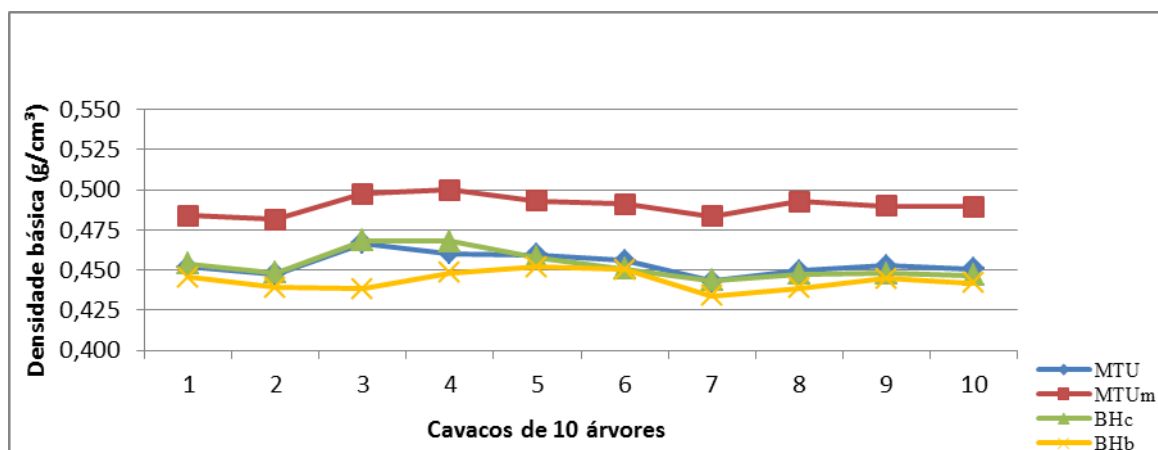


Figura 16. Densidade básica (g/cm³) de cavacos das árvores de *E. grandis* x *E. urophylla* (clone P4295) estimada por quatro métodos de determinação

Para as árvores de *E. grandis* e *E. grandis* x *E. urophylla* não houve diferenças significativas entre os métodos estudados, já para os cavacos em ambos os casos, o método do máximo teor de umidade modificado (MTUm) diferiu dos demais.

As Figuras 17 e 18 referem-se às comparações entre densidade básica média da árvore (discos) pelo método da balança hidrostática (BHb) e densidade básica de cavacos (MTU) dos clones de *E. grandis* e *E. grandis* x *E. urophylla*, respectivamente.

Independente do método aplicado, tanto para o clone G21 (Figura 17), como para o clone P4295 (Figura 18) os valores de densidade obtidos nos discos foram maiores, mas com uma flutuabilidade maior que os cavacos que de forma antagônica ao disco obtiveram uma maior uniformidade e valores menores.

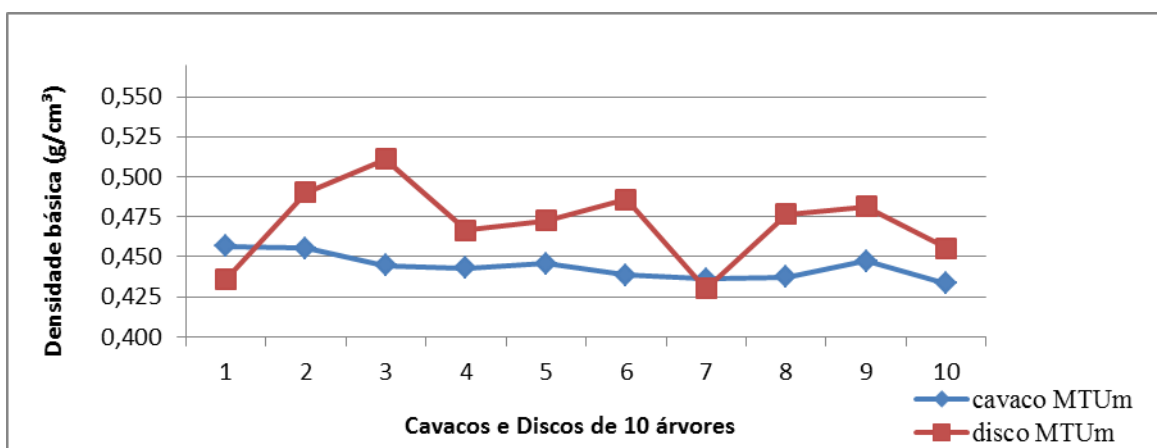


Figura 17. Comparação entre densidade básica (g/cm^3) média da árvore (discos) pelo método da balança hidrostática (BHb) e densidade básica de cavacos (MTU) do clone de *E. grandis*.

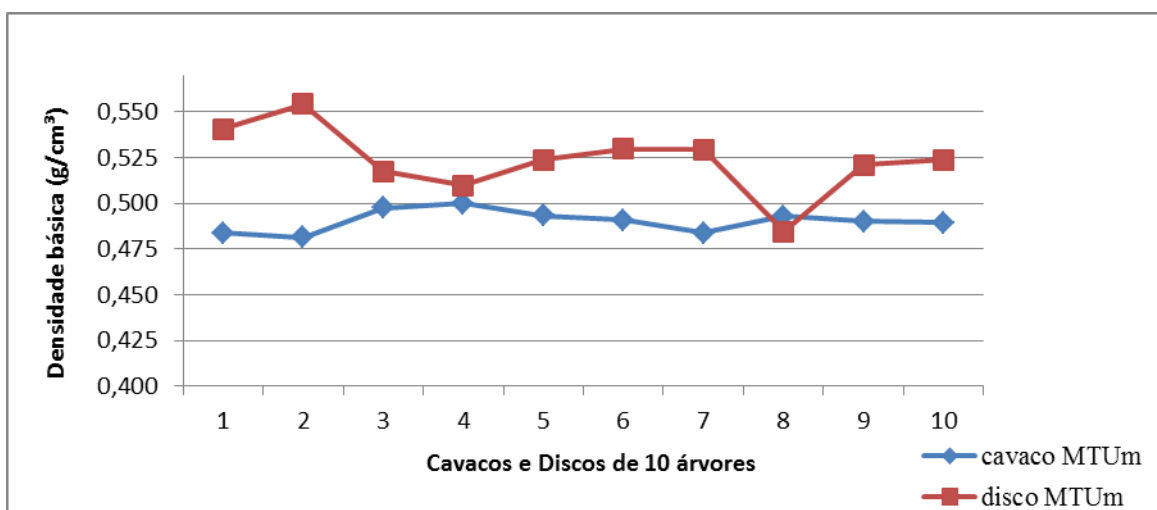
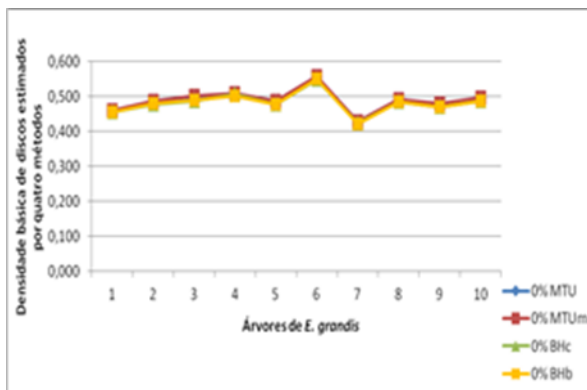


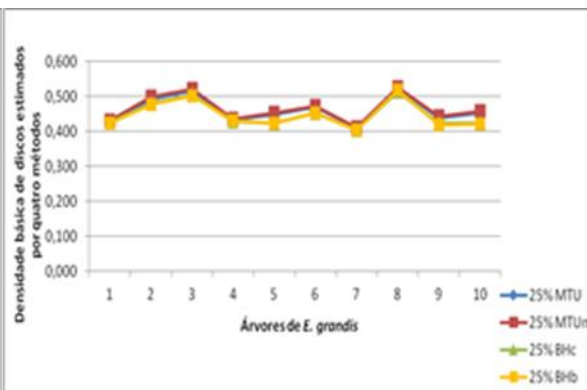
Figura 18. Comparação entre densidade básica (g/cm^3) média da árvore (discos) pelo método da balança hidrostática (BHb) e densidade básica de cavacos (MTU) do clone de *E. grandis* x *E. urophylla*.

Para a altura de retirada dos discos, os clones não apresentaram diferença estatística significativa entre os métodos. As Figuras 19 e 20 ilustram o comportamento das densidades obtidas pelos quatro métodos de determinação dos dois clones nas alturas, 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial das árvores.

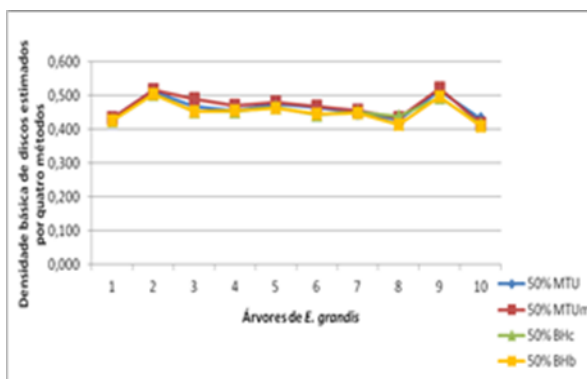
A)



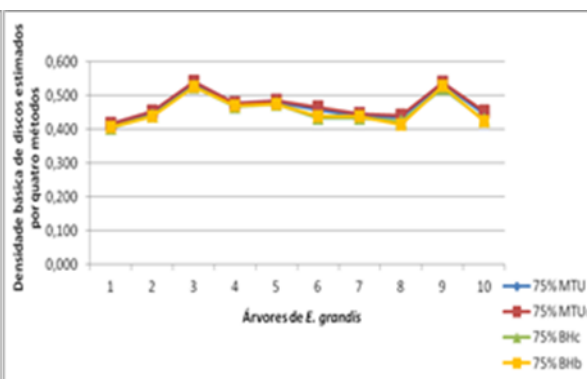
B)



C)



D)



E)

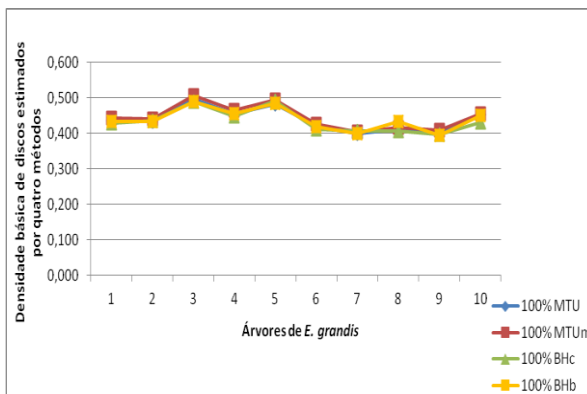
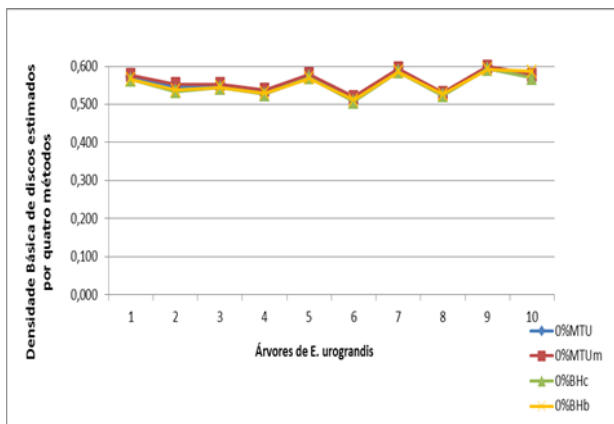
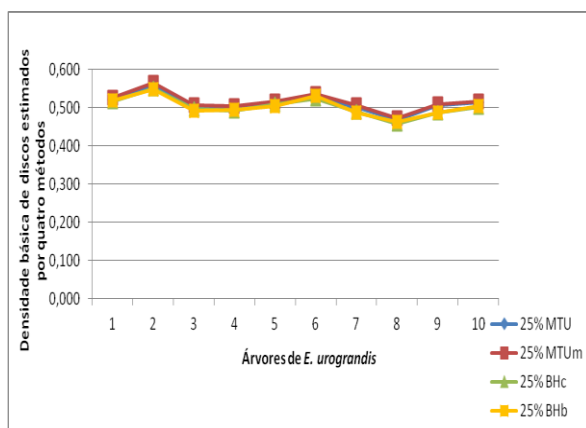


Figura 19. Densidade básica da madeira (g/cm^3) de discos em diferentes alturas das árvores de *E. grandis* estimada por quatro métodos de determinação (A 0%, B 25%, C 50%, D 75% e E 100% da altura comercial)

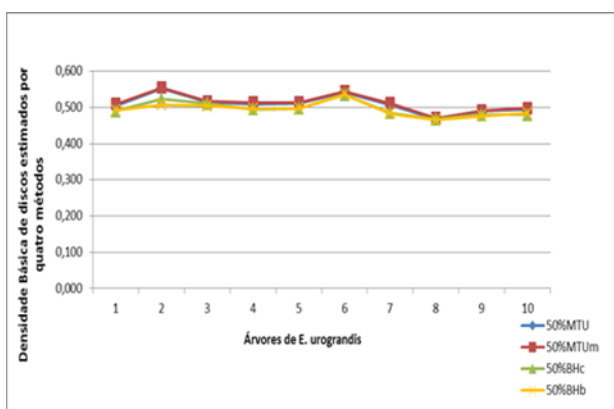
A)



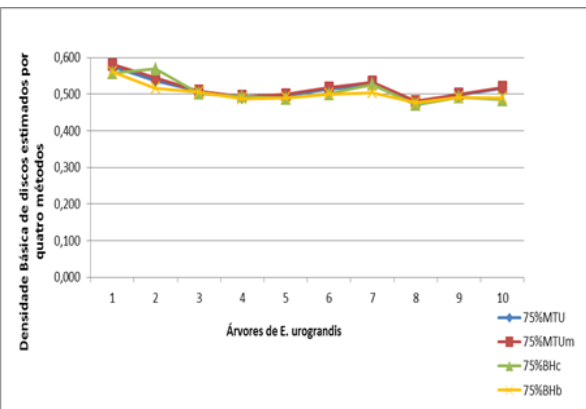
B)



C)



D)



E)

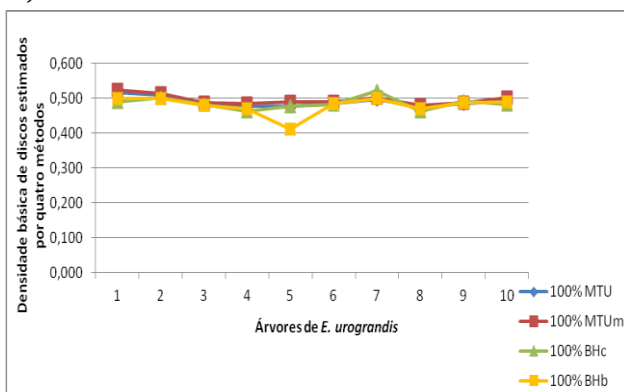


Figura 20. Densidade básica (g/cm^3) da madeira de discos em diferentes alturas das árvores de *E. grandis* x *E. urophylla* estimada por quatro métodos de determinação (A 0%, B 25%, C 50%, D 75% e E 100% da altura comercial)

Na análise dos quatro métodos destrutivos propostos procurou-se comparar se os resultados obtidos eram semelhantes ou discrepantes entre si. Pode-se constatar que a densidade média da árvore (discos) não sofreu interferência significativa para todos os métodos testados (MTU, MTUm, BHc, BHb). Não houve diferenças significativas, também, em relação à densidade básica em discos obtidos nas diferentes alturas das árvores (de 0, 25, 50, 75, e 100%). No entanto, na avaliação da densidade dos cavacos, pode-se notar que o método MTUm gerou diferença estatisticamente significativa quando comparado com os outros três métodos, sendo os seus resultados sempre superiores aos obtidos pelos demais métodos. Um possível erro de procedimento deste método pode estar associado à determinação do peso úmido dos cavacos. Quando se remove água superficial dos cavacos espalhando-os em folhas de celulose e deixando alguns minutos, provavelmente está retirando água superficial e de dentro dos cavacos, resultando em menor valor para o peso úmido dos cavacos. Consequentemente, a densidade básica será subestimada.

A densidade da substância madeira, também analisada neste trabalho, comportou-se de forma esperada segundo a literatura (GULLICHSEN e FOGELHOLM, 1999), com uma média de 1,530 g/cm³ para o *E. grandis* e 1,530 g/cm³ para o *E. grandis* x *E. urophylla*.

Tabela 11. Densidade da substância madeira dos clones estudados

Amostra	<i>E. grandis</i>	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>
1	1,519	1,510
2	1,549	1,547
3	1,547	1,542
4	1,516	1,511
5	1,523	1,500
6	1,553	1,533
7	1,503	1,501
8	1,551	1,548
9	1,532	1,554
10	1,507	1,556
Média, g/cm³	1,530	1,530

A densidade aparente dos cavacos diferiu estatisticamente entre as espécies, com valores maiores para o clone de *E. grandis* x *E. urophylla* como pode-se observar nas tabelas 12 e 13.

Tabela 12. Densidade Aparente dos cavacos para os clones estudados (ANOVA)

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Tratamentos	1	0,00048	0,00048	14,42*
Resíduo	18	0,0006	0,00003	
Total	19	0,00108		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < .05$)

Tabela 13. Densidade Aparente dos clones estudados

Amostra	<i>E. grandis</i>	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>
1	0,175	0,186
2	0,159	0,178
3	0,174	0,186
4	0,185	0,191
5	0,168	0,185
6	0,175	0,185
7	0,175	0,180
8	0,172	0,178
9	0,178	0,178
10	0,176	0,189
Média, g/cm³	0,174	0,184
CV,%		3,23

O menor valor de densidade aparente do *E. grandis* em relação ao *E. grandis* x *E. urophylla* deve-se provavelmente ao fato de que quanto maior o volume dos raios e menor a espessura da parede das fibras aumenta a ocorrência de menores valores de densidade aparente (LONGUI et. al, 2010).

Neste trabalho estudou-se também a utilização da centrifugação como ferramenta de eliminação da água superficial dos cavacos antes da determinação da densidade básica dos cavacos pelo método do máximo teor de umidade – MTU (figuras 21 e 22).

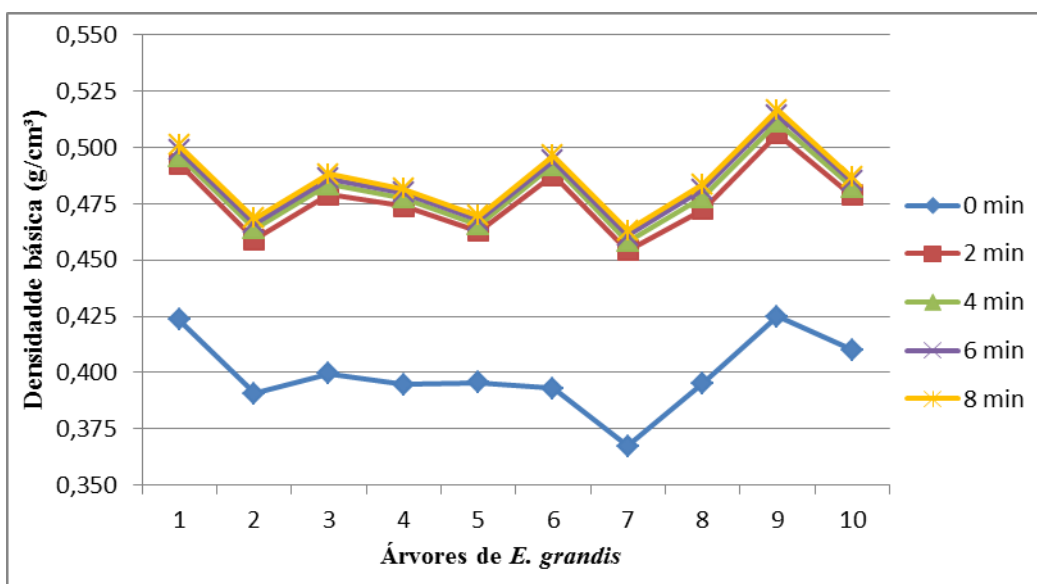


Figura 21 Densidade básica (g/cm³) da madeira obtida pelo método MTU em cavacos de *E. grandis* em diferentes tempos de centrifugação.

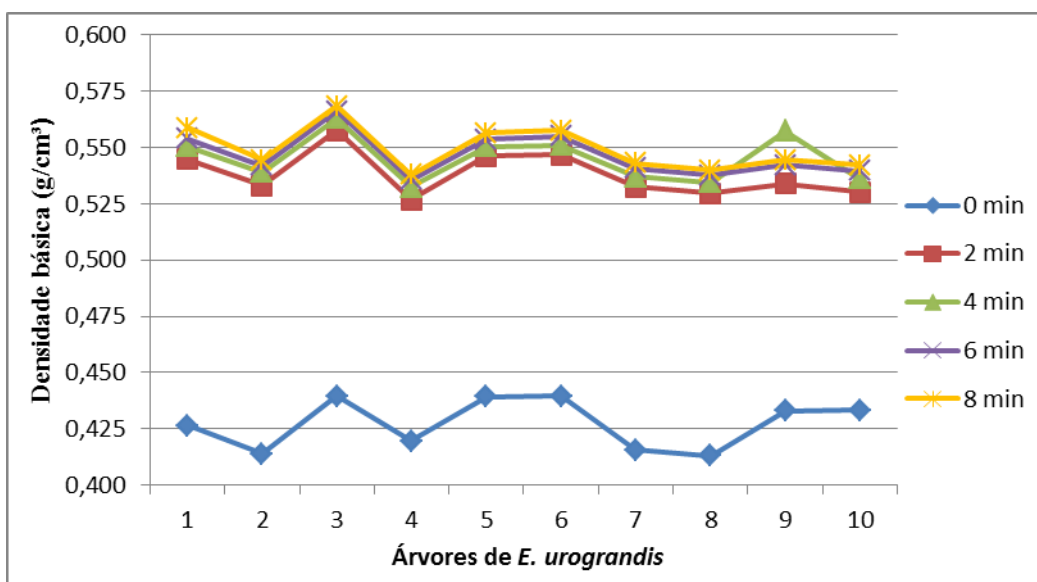


Figura 22 Densidade básica (g/cm³) da madeira obtida pelo método MTU em cavacos de *E. grandis* x *E. urophylla* em diferentes tempos de centrifugação.

Analisando as figuras 21 e 22 nota-se um crescente valor de densidade básica na medida em que as amostras são expostas a maiores tempos de centrifugação. Mesmo com o tempo máximo de dois minutos recomendados pela norma (SCAN-CM 43:95, 1995)

obtiveram-se valores muito superiores em relação ao controle, com uma média de 0,400 g/cm³ (tempo: 0 minutos) e 0,480 g/cm³ (tempo: 2 minutos) para o *E. grandis* e 0,430 g/cm³ (tempo: 0 minutos) e 0,540 g/cm³ (tempo: 2 minutos) para o clone de *E. grandis* x *E. urophylla*.. Possivelmente a centrifugação dos cavacos removeu não apenas a água superficial como desejado, mas também a água do interior dos cavacos, superestimando a densidade básica.

As figuras que seguem referem-se ao estudo da eficiência do instrumento Pilodyn em predizer a densidade básica da madeira antes da utilização de métodos destrutivos.

Nas Figuras 23, 24, 25 e 26 percebe-se a relação entre a penetração do Pilodyn e a densidade básica obtida pelos quatro métodos de determinação para o clone *E. grandis*.

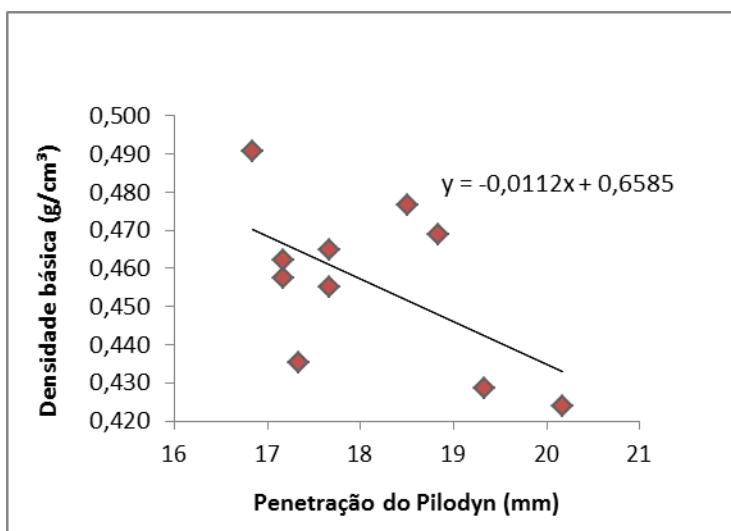


Figura 23. Regressão linear entre a penetração do Pilodyn e a densidade básica (g/cm³) do disco pelo método da balança hidrostática (BHc). $r = -0,57$; $R = 33\%$ para o clone G21.

O coeficiente de correlação $r = -0,573$ (Figura 29) é significativo, mas explica somente 33% da variação existente entre a penetração do Pilodyn e a variação da densidade básica, ou seja, 70% da variação da densidade básica não é explicada pela maior ou menor penetração do Pilodyn na madeira.

A Figura 24 referente ao teste de densidade da balança hidrostática com xilômetro por baixo apresenta um resultado semelhante à Figura 23, também obtida na balança hidrostática, mas com o xilômetro por cima.

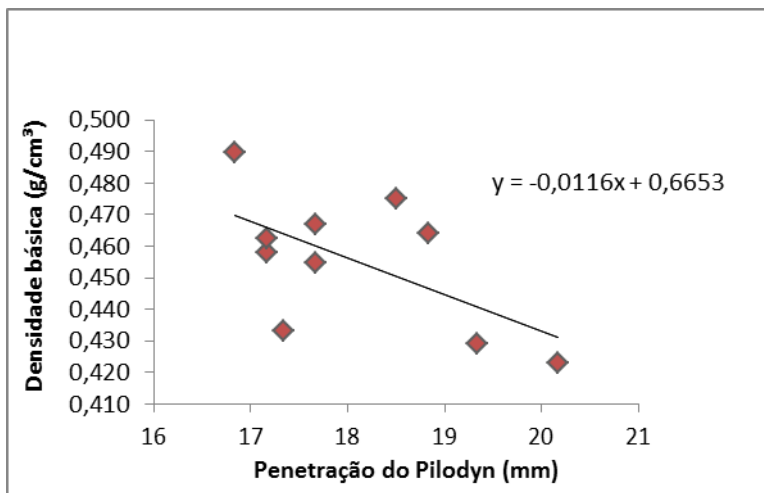


Figura 24. Regressão linear entre a penetração do Pilodyn e a densidade básica (g/cm³) do disco pelo método da balança hidrostática (Bhb). $r = -0,599$; $R = 36\%$ para o clone G21.

As Figuras 25 e 26, referentes ao teste de máximo teor de umidade, não usual para determinação da densidade em discos, mostram resultado melhor para a predição da densidade com a penetração do Pilodyn com coeficiente de determinação de 49 e 47% respectivamente.

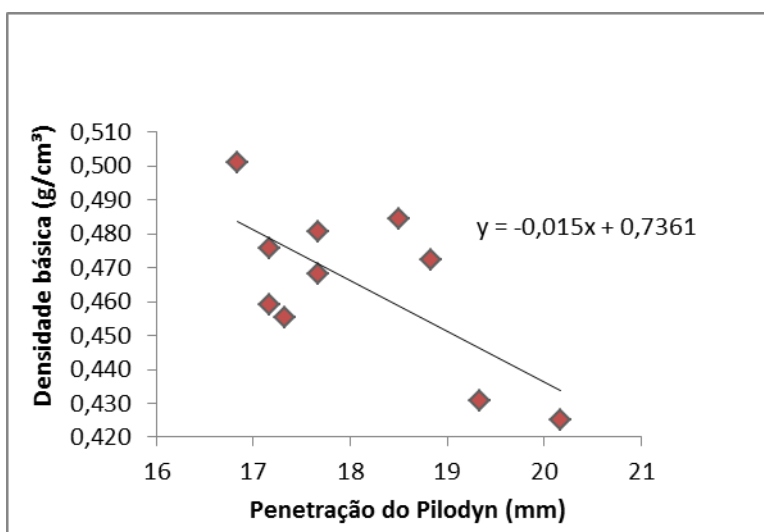


Figura 25. Regressão linear entre a penetração do Pilodyn e a densidade básica (g/cm^3) do disco pelo método máximo teor de umidade (MTU). $r = -0,699$; $R = 49\%$ para o clone G21.

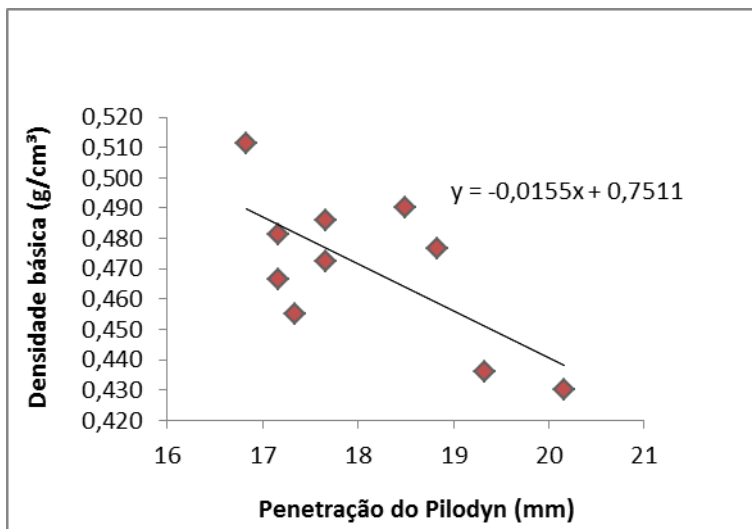


Figura 26. Regressão linear entre a penetração do Pilodyn e a densidade básica (g/cm^3) do disco pelo método do máximo teor de umidade modificado (MTUm).

$r = -0,688$; $R = 47\%$ para o clone G21.

As Figuras 27, 28, 29 e 30 referem-se aos dados do Pilodyn obtidos com o clone P4295. Nota-se na figura 27, um coeficiente de determinação baixo para a predição da densidade em função da penetração do instrumento.

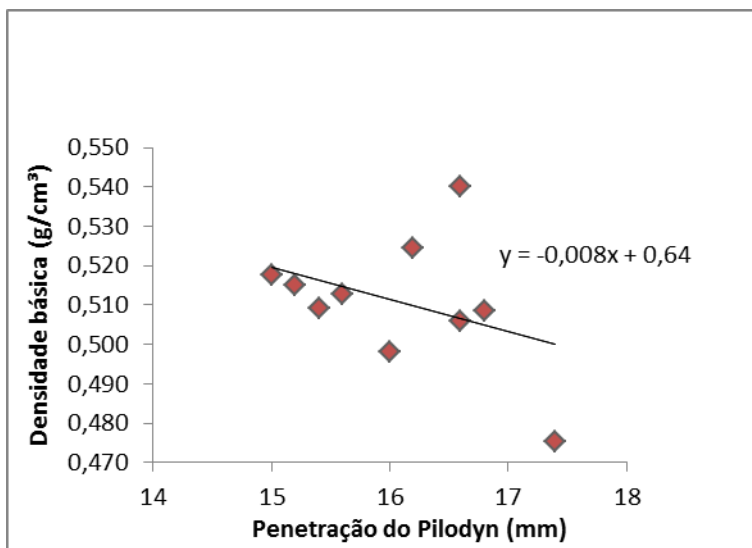


Figura 27. Regressão linear entre a penetração do Pilodyn e a densidade básica (g/cm^3) do disco pelo método da balança hidrostática (Bhc). $r = -0,57$; $R = 14\%$ para o clone P4295.

A exemplo da figura 27 é possível notar um coeficiente de determinação baixo para a predição da densidade em função da penetração do instrumento nas figuras 28, 29 e 30.

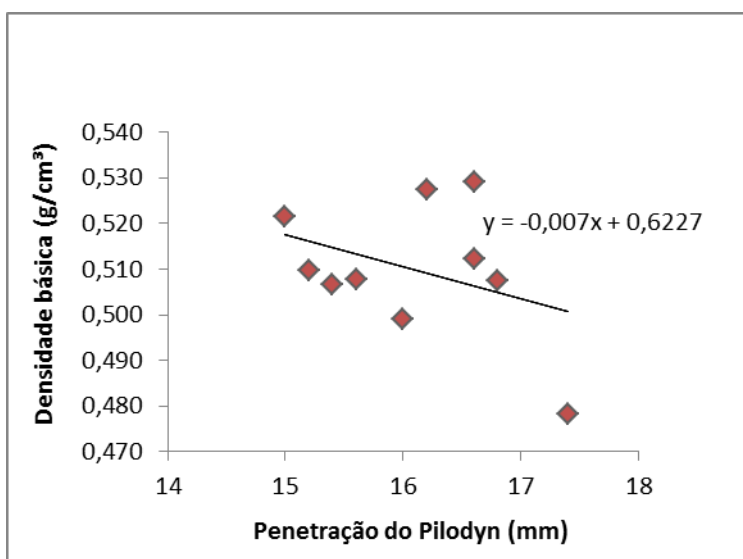


Figura 28. Regressão linear entre a penetração do Pilodyn e a densidade básica (g/cm^3) do disco pelo método da balança hidrostática (BHb). $r = -0,371$; $R = 14\%$ para o clone P4295.

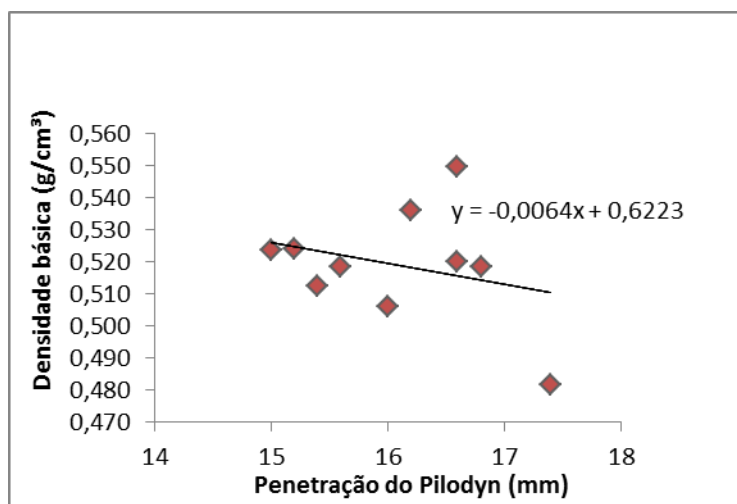


Figura 29. Regressão linear entre a penetração do Pilodyn e a densidade básica (g/cm^3) do disco pelo método do máximo teor de umidade (MTU). $r = -0,279$; $R = 8\%$ para o clone P4295.

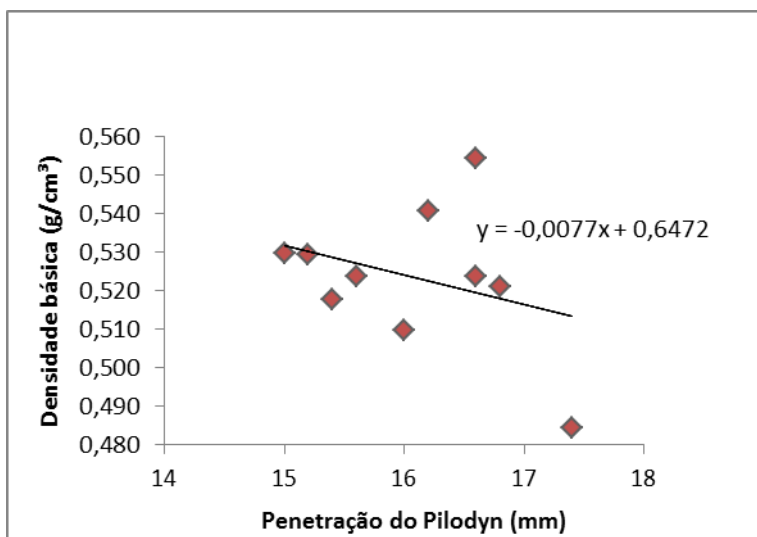


Figura 30. Regressão linear entre a penetração do Pilodyn e a densidade básica (g/cm³) do disco pelo método do máximo teor de umidade utilizado modificado (MTUm). $r = -0,324$; $R = 10\%$ para o clone P4295.

O Pilodyn, método não destrutivo estudado, demonstrou ajudar apenas na definição de variáveis de qualidade relativa à densidade da madeira (escolha do clone no campo), mas possui reduzida capacidade de estimar corretamente a variação da densidade (COWN, 1981; MOURA et al 1987; MUNERI e RAYOND, 2000).

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram as dificuldades existentes na padronização de métodos não invasivos e invasivos e do tipo de material utilizado (disco ou cavaco) para obtenção da densidade básica da madeira.

Os valores da densidade básica são fundamentais para as indústrias que utilizam a madeira como matéria prima, pois é uma das propriedades físicas da madeira que mais se correlacionam com as necessidades dos processos e produtos finais.

Até o momento a metodologia mais utilizada pela maioria das indústrias é aplicar inicialmente, um método não destrutivo como o Pilodyn, por exemplo, para estimar a densidade da madeira pela relação entre esta e a diferente energia absorvida pelo aparelho. Segue-se a determinação da densidade no campo ou em unidades próximas, de discos obtidos de indivíduos de um mesmo clone, em diferentes alturas, embora haja para a maioria das indústrias a padronização do DAP. A madeira será levada a fábrica e processada

quando novamente se determina a sua densidade. Este monitoramento da densidade em várias etapas do processo da madeira acaba por causar informações contraditórias entre as unidades de campo e fábrica das indústrias, pois são realizados através de métodos e principalmente de materiais (disco e cavaco) diferentes que segundo os resultados deste trabalho demonstraram as maiores diferenças nos resultados.

6. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que para a densidade da madeira ser um dado confiável a ser utilizado pela indústria madeireira, algumas conclusões podem ser feitas. Entre elas destaca-se que:

Tanto para os discos do *E. grandis* quanto para os discos do *E. grandis* x *E. urophylla* não há diferenças significativas entre os métodos para a determinação da densidade básica média da árvore;

Ao compararem-se os discos, as diferentes alturas (0%, 25%, 50%, 75% e 100%) igualmente não geraram diferenças significativas entre métodos quanto às densidades obtidas;

Na determinação da densidade dos cavacos houve influência significativa entre os métodos, sendo o MTUm sempre com valores mais altos.

A secagem excessiva do material, principalmente o cavaco, resulta em valores superestimados de densidade básica, comprovado neste trabalho pelo MTUm e pelo uso da centrifugação antes da aferência em balança.

O instrumento Pilodyn não possui precisão para estimar corretamente a variação da densidade.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABENDE 2006 – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS. Disponível em: <http://www.abende.org.br/ensaios_não_destrutivos.html> Acesso em: 20 jun. 2011.

CARRASCO, E. V. M.; AZEVEDO JÚNIOR, A. P. Avaliação não destrutiva de propriedades mecânicas de madeiras através de ultrassom – fundamentos físicos e resultados experimentais. **Engenharia Civil**, Guimarães, Portugal, v. 1, n. 16, p. 27-37, 2003.

COWN, D.J. Use of a Pilodyn wood tester for estimating wood density in standing trees influence of site and tree age. XVII IUFRO WORLD FORESTRY CONFERENCE, **Anais...** Kyoto, Japan, 1981.

DOSSA, D.; SILVA, H. D.; BELLOTE, A. F. J.; RODIGHERI, H. R.; Produção e rentabilidade do eucalipto em empresas florestais. Colombo: **Embrapa**, 2002. 4p.

EVANGELISTA, W. V. **Caracterização da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, oriunda de consórcio**

agrossilvipastoril. 2007. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

FEIO, A. O (2007)-Ensaio Não Destrutivos em Estruturas de Madeira-Métodos Globais, **Ensaio in Engenharia e Vida**, n.º 28, 30 and 31 Lisboa.

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

FOELKEL, C. E. B.; BARRICHELO, L. E. G. **Método picnométrico para determinação do peso e volume específico de substâncias lenhosas**. Disciplina Qualidade da Madeira, UFV, TEC 330, nº P.6, mar. 1977.

GULLICHSEN, J.; FOGELHOLM, C. J. **Chemical Pulping**. Atlanta, TAPPI Press, 1 ed., 1999.

LONGUI, E.L; et al. Variação radial das características anatômicas, densidade aparente, teores de extrativos, lignina e holocelulose na madeira de *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) Macbr. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 341-353, set. 2010.

MARTINS, S. F. M. F. **Estruturas de Madeira - Inspeção e Diagnóstico. Aplicação em Caso de Estudo**. 2009. 244 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil / Especialização de Materiais, Reabilitação e Sustentabilidade da Construção) - Universidade do Minho, Portugal, 2009.

MILAGRES, F. R. **Avaliação da madeira de híbridos de Eucalyptus globulus com E. grandis e E. urophylla, para produção de celulose, utilizando espectroscopia nir**. 2009. 142 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 2009. Viçosa, MG.

MINÁ, A. J. S. et al. Avaliação não-destrutiva de postes de madeira por meio de ultra-som. **Scientia Florestalis**, n. 65, p. 188-196, 2004.

MOURA, V.P.G.; BARNES, R.D.; BIRKS, J.S. A comparison of three methods of assessing wood density in provenances of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. And other Eucalyptus species in Brazil. **Australian Forest Research**, n. 17, p. 83-90, 1987.

MUNERI, A.; RAYMOND, C.A. Genetic parameters and genotype - by- environment interactions for basic density, pilodyn penetration and stem diameter in *Eucalyptus globulus*, **Forest Genetics**. n.7 Suppl. 4. p. 317-328, 2000.

OLIVEIRA, F. G. R.; SALES, A. Ultrasonic measurements in Brazilian hardwood. **Materials Research**, São Carlos, v. 5, n. 1, p. 51-55, 2002.

ROSS, R. J., et al. **Inspection of Timber Bridges Using Stress Wave Timing Nondestructive Evaluation Tools – A guide for use and interpretation**. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture , Forest Service, Forest Products Laboratory, (General Technical Report FPL-GTR 114),1999.

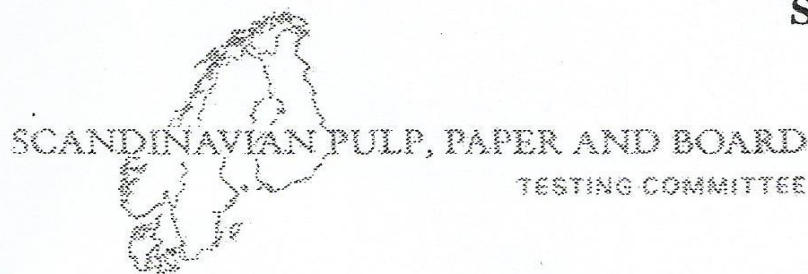
SANSÍGOLO, C.A. **Seleção de árvores matrizes para a produção de polpa Kraft-AQ**. 2000.157 f. Tese (Livre Docência em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2000.

SILVA, J. C.; XAVIER, B. A. **Eucalipto**: manual prático do fazendeiro florestal, produzindo madeira com qualidade. Viçosa, MG, 2006. 65 p.

SMITH, D. M. **Maximum moisture content method for determining specific gravity of small samples**. Madison, Forest Products Laboratory. 8 p.1954.

STAMM, A.J. **Wood and cellulose science**, New York: Ronald Press, 1964. 549 p

TRUGILHO, P.F.; SILVA, D.A.; FRAZÃO, F.J.L.; MATOS, J.L.M. Comparação de métodos de determinação da densidade básica em madeira. **ACTA Amazônica**, Manaus - Amazonas, V. 20, p. 307-319, mar./dez. 1990.



SCAN-CM 43:95

Revised 1995

SCANDINAVIAN PULP, PAPER AND BOARD
TESTING COMMITTEE



Wood chips for pulp production

Basic density

0 Introduction

This SCAN-test Method replaces SCAN-CM 43:89, from which it differs mainly with regard to editorial changes. In addition, precision data are available in this revised Method.

1 Scope

This Method describes the equipment and procedure for determining the basic density of wood chips for the production of chemical and mechanical pulps. An Annex also furnishes instructions for determining the basic density of wood disks cut from logs and representing their cross section.

2 References

- SCAN-CM 39 Wood chips for pulp production – Dry matter content
- SCAN-CM 40 Wood chips for pulp production – Size distribution
- SCAN-CM 41 Wood chips for pulp production – Sampling

3 Definitions

For the purpose of this Method the following definitions apply:

3.1 *Basic density* – The oven-dry mass of a wood sample divided by its green volume.

3.2 *Green volume* – The solid volume of a wood sample when it is in equilibrium with surrounding water.

3.3 *Bulk density* – The oven-dry mass of a sample of chips divided by the bulk volume of the sample, when packed without compression.

4 Principle

Bark-free wood chips are soaked in water. By centrifugation, excess water adhering to the chips is removed, but not water present in the voids inside the chips. The chips are soaked again in a vessel containing water and placed on a balance. The apparent mass of the immersed chips is taken as a measure of their green volume. The chips are dried and their oven-dry mass is

pdfMachine

A pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Produce quality PDF files in seconds and preserve the integrity of your original documents. Compatible across nearly all Windows platforms, simply open the document you want to convert, click "print", select the "Broadgun pdfMachine printer" and that's it! Get yours now!

5 Apparatus

5.1 *Container*, of aluminium foil, for weighing the chips.

5.2 *Chip classifier* as described in SCAN-CM 40.

5.3 *Soaking vessel* for complete soaking of the sample. The vessel is provided with a device for keeping the sample completely immersed.

5.4 *Drum centrifuge*, with a vertical axis and a variable speed control, capable of generating a centrifugal force of about 100 g at the periphery of the centrifuge drum ($g = 9.806 \text{ m/s}^2$, the acceleration of free fall).

Note – The required rotational frequency n of the centrifuge (expressed in revolutions per minute) may be calculated from the expression:

$$n = 29,905(F/r)^{1/2} \quad [1]$$

where

F is the centrifugal force at the periphery of the centrifuge drum, expressed as a multiple of the acceleration of free fall, (g);
 r is the radius of the drum, in metres.

5.5 *Cylinder* of inert material, to be placed in the centre of the centrifuge drum when loading it with chips. Its function is to concentrate the chips close to the periphery of the drum.

5.6 *Sample basket*, cylindrical, with cover, capacity at least 3 litres, of stainless steel wire cloth, mesh opening $2 \times 2 \text{ mm}$. A diameter of 170 mm and a height of 200 mm are recommended.

5.7 *Water container*, preferably of a transparent material, large enough to accommodate the sample basket. It must be possible to suspend the basket in the container so that it is completely immersed in water and does not come into contact with the walls of the container.

5.8 *Support* to be used when weighing the immersed basket.

5.9 *Drying oven*, capable of being controlled at $(105 \pm 2) ^\circ\text{C}$, and suitably ventilated.

5.10 *Balance*, with a capacity of about 15 kg and accurate and readable to 0,5 g.

6 Sampling and preparation of sample

The sampling procedure is not covered by this Method. A suitable procedure is described in SCAN-CM 41.

Prepare the sample as follows: Screen 8 to 10 litres of chips as described in SCAN-CM 40. Discard the

remaining fractions (2, 3 and 4), remove any bark particles and any bark attached to the chips. Thoroughly mix the bark-free fractions.

Note – If, for some reason, this procedure for preparing the sample has not been followed, this fact must be explicitly stated in the test report.

7 Procedure

Fill the water container (5.7) with water at room temperature, but not exceeding $25 ^\circ\text{C}$, and place it on the balance (5.10). Attach the empty sample basket (5.6) to the support (5.8). An example of the apparatus is presented in Figure 1. Adjust the sample basket so that it is entirely immersed, as indicated by a mark on the support. Record the balance reading, or, if the balance has a taring device, adjust this so that the balance reads zero.

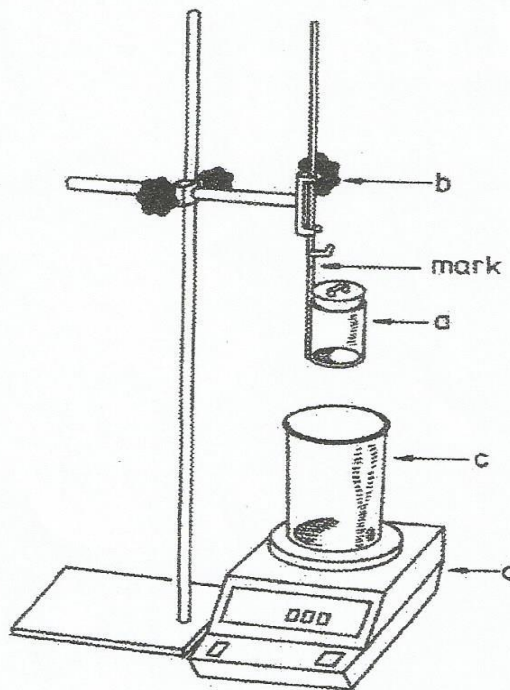


Figure 1. Example of equipment for determining the green volume of chips:

- (a) sample basket for the chips (5.6);
- (b) support (5.8);
- (c) water container (5.7);
- (d) balance (5.10).

From the mixture of bark-free fractions (fraction 2, 3 and 4), take at least triplicate samples and carry out the

pdfMachine

A pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Produce quality PDF files in seconds and preserve the integrity of your original documents. Compatible across nearly all Windows platforms, simply open the document you want to convert, click "print", select the "Broadgun pdfMachine printer" and that's it! Get yours now!

Soak 2 to 3 litres of the prepared sample completely in water at room temperature for at least 4 h but not more than 3 days. Remove the chips from the water and place them in the centrifuge. Feed the chips into the centrifuge drum, packing them as close as possible to the periphery by means of the cylinder (5.5). Remove the cylinder and run the centrifuge at the predetermined speed for 2 min. (See Annex B.)

Note – Avoid excessive centrifugation. This can cause air to replace the water in the voids inside the chips. The optimal rotational speed for a particular centrifuge may be determined by the procedure described in Annex B.

To determine the green volume, immediately transfer the chips to the sample basket (5.6) and immerse it completely in the water container (5.7). Rotate or rock the basket to ensure that all air adhering to the chips is removed.

Keep the sample basket immersed in the water while connecting it to the support (5.8). Adjust the support so that the water level is at the mark on the support and check that the basket does not touch the water container walls. Check that the temperature of the water does not exceed 25 °C. Record the balance reading.

Remove the basket from the water container and transfer the chips to one or more dishes of aluminium foil. Dry them in an oven at 105 °C as described in SCAN-CM 39 and determine their dry mass.

8 Calculation and report

Calculate the basic density separately for each of the triplicate samples from the expression

$$X = \frac{c \rho}{(b - a)} \quad [2]$$

where

- X is the basic density, in kilograms per cubic metre;
- a is the balance reading, in grams, obtained with the basket empty;
- b is the balance reading, in grams, obtained with the basket full;
- c is the mass of the dried chips, in grams;
- ρ is the density of the water = 1000 kilograms per cubic metre.

Calculate the mean of the three results and report it to the nearest whole number.

The test report shall include reference to this SCAN-test Method and the following particulars:

- (a) date and place of testing;
- (b) identification mark of the sample tested and an indication as to whether or not sampling has taken place in accordance with SCAN-CM 41;
- (c) the result;
- (d) any departure from the standard procedure and any other circumstances that may have affected the results.

9 Precision

Two laboratories determined the basic density of chip samples from spruce, pine and birch with the following results:

Sample	Basic density, kg/m ³		
	Lab 1	Lab 2	Between labs
Pine	361	363	
	362	359	
	364	366	
$\bar{x}$	362	363	363
CV*, %	0,4	1,0	0,7
Spruce	416	419	
	416	416	
	418	416	
$\bar{x}$	417	417	417
CV*, %	0,3	0,4	0,3
Birch	519	522	
	521	523	
	523	520	
$\bar{x}$	521	522	521
CV*, %	0,4	0,3	0,3

* CV is the coefficient of variation.

10 Literature

10.1 Grundelius, R.: Determining the basic density of wood chips. Tappi Journal 73: 4, 183 - 189 (1990)

Annex A – Basic density determined on wood disks

The procedure described in this Method may, with the following slight modification, be applied to disks of wood:

After soaking the disks, remove excess water by wiping them carefully with a sorbent cloth. Do not use the centrifuge.

In the green volume determination, no sample basket is required if the support in *Figure 1* is replaced by that shown in *Figure 2* which allows the disk to be mounted with its axis horizontal.

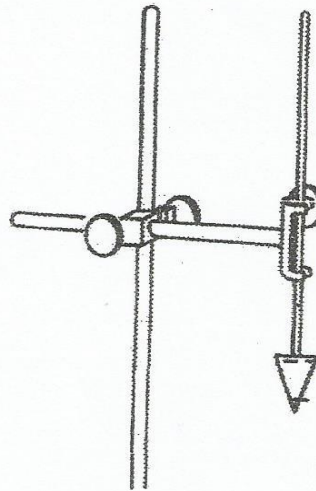


Figure 2. Example of a suitable support for the determination of the green volume of a wood disk.

Annex B – Check of procedure

Carry out the following procedure with at least two disks that are representative for the species of wood to be tested.

Soak the disks by submerging them completely in water at room temperature. Determine the green volume of each soaked disk as described in *Annex A*. Calculate the green volume of each disk.

Cut the disks manually into chips. Collect fines formed separately. Dry and weigh the fines.

For each disk, determine the basic density of the chips as described in Section 7.

Calculate the basic density of each disk. Use for the dry mass of the disk the total dry mass of the chips and the fines.

For each disk calculate the difference between the basic density determined on the chips and that determined on the disk. If the mean difference exceeds 4 kg/m³, adjust the centrifuge speed and repeat the procedure until this value is not exceeded.

SCAN-test Methods are issued and recommended by KCL, PFI and STFI-Packforsk for the pulp, paper and board industries in Finland, Norway and Sweden.

Distribution: Secretariat, Scandinavian Pulp, Paper and Board Testing Committee, Box 5604.

pdfMachine

A pdf writer that produces quality PDF files with ease!

Produce quality PDF files in seconds and preserve the integrity of your original documents. Compatible across nearly all Windows platforms, simply open the document you want to convert, click "print", select the "Broadgun pdfMachine printer" and that's it! Get yours now!



**ABNT - Associação
Brasileira de
Normas Técnicas**

Sede:
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13/28º andar
CEP 20003-900 - Caixa Postal 1680
Rio de Janeiro - RJ
Tel.: PABX (21) 3974-2300
Fax: (21) 2240-8249/2220-6436
Endereço eletrônico:
www.abnt.org.br

Copyright © 2003,
ABNT—Associação Brasileira de
Normas Técnicas
Printed in Brazil/
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados

MAR 2003

NBR 11941

Madeira - Determinação da densidade básica

Origem: Projeto NBR 11941:2002
ABNT/CB-29 - Comitê Brasileiro de Celulose e Papel
CE-29:004.01 - Comissão de Estudo de Madeira para Fabricação de Pasta
Celulósica
NBR 11941 - Wood - Determination of basic density
Descriptors: Wood. Density
Esta Norma substitui a NBR 11941:1979
Válida a partir de 30.04.2003

Palavras-chave: Madeira. Densidade

6 páginas

Sumário
Prefácio
Introdução
1 Objetivo
2 Referência normativa
3 Definições
4 Método para discos
5 Método para cavacos
6 Resultados
7 Relatório
ANEXO
A Bibliografia

Prefácio

A ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os Projetos de Norma Brasileira, elaborados no âmbito dos ABNT/CB e ABNT/ONS, circulam para Consulta Pública entre os associados da ABNT e demais interessados.

Esta Norma contém o anexo A, de caráter informativo.

Introdução

Devido ao fato de a madeira alterar seu volume pela absorção ou perda de água, é necessário expressar a densidade a um teor especificado de umidade e volume correspondente. As condições usuais são a massa mínima (seca em estufa ou livre de umidade) e o volume máximo (saturado em água ou verde).

1 Objetivo

Esta Norma especifica o método para determinação da densidade básica (massa seca em estufa a $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$ por unidade de volume máximo) da madeira, na forma de discos originados da seção transversal de troncos ou na forma de cavacos.

2 Referência normativa

A norma relacionada a seguir contém disposições que, ao serem citadas neste texto, constituem prescrições para esta Norma. A edição indicada estava em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisão, recomenda-se àqueles que realizam acordos com base nesta que verifiquem a conveniência de se usar a edição mais recente da norma citada a seguir. A ABNT possui a informação das normas em vigor em um dado momento.

NBR 14660:2001 - Madeira - Amostragem e preparação para análise

3 Definições

Para os efeitos desta Norma, aplicam-se as seguintes definições:

3.1 densidade básica da madeira: Relação da massa seca em estufa a $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$ pelo respectivo volume da madeira acima do ponto de saturação das fibras.

NOTA - O volume acima do ponto de saturação das fibras é comumente denominado volume verde ou volume saturado.

3.2 massa constante: Massa de uma amostra após secagem à temperatura especificada até que a diferença entre duas pesagens sucessivas não exceda 0,5 g.

4 Método para discos

4.1 Aparelhagem

4.1.1 Balança com capacidade mínima de 3 kg e sensibilidade de 0,1 g.

4.1.2 Dispositivo para imersão dos discos em água composto por suporte, garra e haste de metal (ver figura 1).

4.1.3 Recipiente de vidro ou plástico com dimensões suficientes para permitir a imersão dos discos.

4.1.4 Estufa com circulação forçada de ar, capaz de manter a temperatura em $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$.

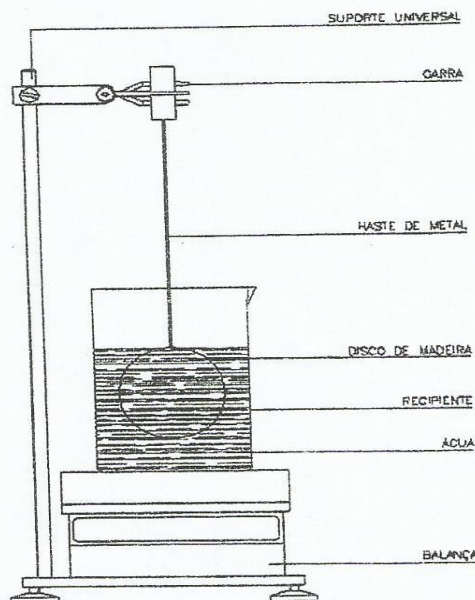


Figura 1 - Dispositivo para completa imersão dos discos de madeira

4.2 Amostragem

Se o ensaio for feito para avaliar o lote, a amostragem deve ser efetuada de acordo com a NBR 14660. Para outras avaliações, assegurar-se de que as porções são representativas da amostra recebida.

4.3 Preparação para ensaio

4.3.1 Efetuar a preparação de acordo com a NBR 14660.

4.3.2 Colocar os discos em recipiente fechado para prevenir a perda de umidade, logo após o corte.

4.4 Procedimento

4.4.1 Submergir o disco em água até atingir o ponto de saturação das fibras.

NOTA - A finalidade de impregnar a madeira é dupla: primeiro, para assegurar que o disco apresente saturação até seu volume acima do ponto de saturação e, segundo, para eliminar um erro que decorre de a madeira estar absorvendo água enquanto é pesada para determinar o seu volume. Se o teor de umidade estiver acima do ponto de saturação da fibra, um período de impregnação de 1 h é usualmente suficiente para que sejam alcançadas estas condições. Para discos abaixo do ponto de saturação das fibras, recomenda-se prolongar o tempo de impregnação.

4.4.2 Determinar o volume verde por meio da balança e acessórios descritos em 4.1. Inicialmente, anotar o valor da massa do recipiente de 4.1.3, cheio com água, em gramas.

4.4.3 Mergulhar o disco preso na haste até a submersão completa, evitando que ele toque na parede ou no fundo do recipiente. A parte superior do disco deve facear o nível da água.

4.4.4 Remover o disco da haste de pesagem e secá-lo em estufa a $(105 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ até massa constante. Registrar como massa seca em estufa (ou livre de umidade), em gramas.

5 Método para cavacos

5.1 Método do máximo teor de umidade

5.1.1 Aparelhagem

5.1.1.1 Balança com capacidade mínima de 1 kg e sensibilidade de 0,1 g.

5.1.1.2 Estufa com circulação forçada de ar, capaz de manter a temperatura em $(105 \pm 2)^{\circ}\text{C}$.

5.1.1.3 Recipiente para saturação dos cavacos em água e que permita aplicação de vácuo, como, por exemplo, dessecador ou frasco kitassato.

5.1.1.4 Bomba de vácuo ou trompa de água.

5.1.1.5 Dispositivos para pesagem, por exemplo, de alumínio, vidro ou porcelana.

5.1.2 Amostragem

Se o ensaio for feito para avaliar o lote, a amostragem deve ser efetuada de acordo com a NBR 14660. Para outras avaliações, assegurar-se de que as porções são representativas da amostra recebida.

5.1.3 Preparação para o ensaio

5.1.3.1 Para a determinação são necessários de 100 g a 250 g de cavacos previamente peneirados. Fazer determinações em duplicata.

5.1.3.2 Armazenar os cavacos em vasilhames razoavelmente estanques até sua utilização.

NOTA - Recomenda-se que os procedimentos para a determinação de propriedades da madeira sejam realizados tão rapidamente quanto possível após a amostragem, como forma de evitar mudanças nestas propriedades durante o tempo de armazenamento dos cavacos.

5.1.4 Procedimento

5.1.4.1 Imergir os cavacos em água, utilizando um recipiente como descrito em 5.1.3, provido de dispositivo para vácuo.

5.1.4.2 Manter as amostras imersas até a saturação completa. Para facilitar ou acelerar a penetração da água, utilizar vácuo intermitentemente.

NOTA - O tempo necessário varia com o tipo de madeira, seu tempo de secagem após picagem e com a frequência de utilização do vácuo e seu relaxamento.

5.1.4.3 Retirar as amostras do recipiente, após atingida a saturação completa. Remover a água superficial com papel absorvente e pesar as amostras rapidamente.

5.1.4.4 Secar as amostras em estufa a $(105 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ até massa constante.

5.1.4.5 Resfriar a amostra em dessecador e pesar.

5.2 Método da imersão

5.2.1 Aparelhagem

5.2.1.1 Balança com capacidade mínima de 3 kg e sensibilidade de 0,1 g.

5.2.1.2 Estufa com circulação forçada de ar, capaz de manter a temperatura em $(105 \pm 2)^{\circ}\text{C}$.

5.2.1.3 Cesto de arame ou tela de aço inox com capacidade para conter de 100 g a 250 g de cavacos, com tampa e alça para fixação no dispositivo de pesagem.

5.2.1.4 Dispositivo para imersão do cesto em água composto por suporte, garra e gancho de metal. Na figura 1 a haste que prende o disco é substituída por um gancho para suportar o cesto imerso em água.

5.2.1.5 Recipiente de vidro ou plástico com dimensões suficientes para permitir a imersão do cesto em água.

5.2.1.6 Recipiente para saturação dos cavacos em água e que permita aplicação de vácuo, como, por exemplo, dessecador ou frasco kitassato.

5.2.1.7 Bomba de vácuo ou trompa de água.

5.2.1.8 Dispositivo para pesagem, por exemplo, de alumínio, vidro ou porcelana.

5.2.2 Amostragem

Se o ensaio for feito para avaliar o lote, a amostragem deve ser efetuada de acordo com a NBR 14660. Para outras avaliações, assegurar-se de que as porções são representativas da amostra recebida.

5.2.3 Preparação para ensaio

Efetuar a preparação de acordo com a NBR 14660.

5.2.4 Procedimento

5.2.4.1 Imergir os cavacos em água, utilizando um recipiente descrito em 5.2.1.6, provido de dispositivo para vácuo.

5.2.4.2 Manter os cavacos imersos até que a madeira esteja acima do ponto de saturação das fibras. Para facilitar ou acelerar a penetração da água, utilizar vácuo intermitentemente.

NOTAS

1 O tempo necessário varia com o tipo de madeira, seu tempo de secagem e com a frequência do vácuo e seu relaxamento.

2 A finalidade de impregnar a madeira é dupla: primeiro, para assegurar que o disco apresente saturação até seu volume acima do ponto de saturação e, segundo, para eliminar um erro que decorre de a madeira estar absorvendo água enquanto é pesada para determinar o seu volume. Se o teor de umidade estiver acima do ponto de saturação da fibra, um período de impregnação de 1 h é usualmente suficiente para que sejam alcançadas estas condições. Para discos abaixo do ponto de saturação das fibras, recomenda-se prolongar o tempo de impregnação.

5.2.4.3 Colocar o recipiente descrito em 5.2.1.5 sobre a balança e adicionar um volume de água suficiente para receber o cesto.

5.2.4.4 Colocar o cesto, preso no suporte, no recipiente e anotar a massa deste conjunto, evitando que o cesto toque nas paredes ou no fundo do recipiente.

5.2.4.5 Retirar os cavacos do dispositivo de saturação, transferindo para papel absorvente, visando remover a água superficial.

5.2.4.6 Transferir os cavacos para o cesto. Remover possíveis bolhas de ar retidas pelo conjunto cesto e cavaco para evitar valores incorretos, obtidos na pesagem, e repetir a operação descrita em 5.2.4.4, anotando a massa do recipiente que contém o conjunto cesto e cavacos.

5.2.4.7 Transferir os cavacos para o recipiente de pesagem e secar em estufa a $(105 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ até massa constante.

5.2.4.8 Resfriar a amostra de cavacos em dessecador e pesar.

6 Resultados

6.1 Discos

Calcular a densidade básica da madeira por meio da equação:

$$d_b = \frac{m_3}{(m_2 - m_1)}$$

onde:

d_b é a densidade básica da madeira, em gramas por centímetro cúbico;

m_3 é a massa da amostra seca em estufa a $(105 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, em gramas;

m_2 é a massa do recipiente com água e disco imerso, em gramas;

m_1 é a massa do recipiente com água, em gramas.

NOTA - O volume do disco equivale ao volume da água deslocada que, por sua vez, é igual à diferença de massa $(m_2 - m_1)$, considerando-se a densidade da água como um grama por centímetro cúbico (g/cm^3).

6.2 Cavacos

6.2.1 Método do máximo teor de umidade

Calcular a densidade básica por meio da equação:

$$d_b = \frac{1}{\left(\frac{m_1}{m_2}\right) - 0,346}$$

onde:

d_b é a densidade básica da madeira, em gramas por centímetro cúbico;

m_1 é a massa úmida da amostra, em gramas;

m_2 é a massa seca em estufa a $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$, em gramas.

NOTAS

1 A justificativa do cálculo pode ser encontrada na literatura [1] do anexo A.

2 Para pequenas amostras há uma perfeita correlação deste método com o anterior, conforme relatado na literatura [2] do anexo A.

6.2.2 Método de imersão

Calcular a densidade básica da madeira por meio da equação:

$$d_b = \frac{m_3}{(m_2 - m_1)}$$

onde:

d_b é a densidade básica da madeira, em gramas por centímetro cúbico;

m_3 é a massa da amostra seca em estufa a $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$, em gramas;

m_2 é a massa da pesagem do conjunto imerso (cesto e cavacos), em gramas;

m_1 é a massa do cesto imerso, em gramas.

6.3 Expressar a densidade básica em gramas por centímetro cúbico, com até três casas decimais.

7 Relatório

O relatório deve incluir as seguintes informações:

- a) referência a esta Norma;
- b) data e local da amostragem;
- c) todas as informações necessárias para completa identificação da amostra, como, por exemplo, presença ou não de cascas nos discos etc.;
- d) resultados conforme seção 6;
- e) qualquer desvio não mencionado do método especificado, todas as circunstâncias ou influências que possam ter afetado os resultados e qualquer outro fator que possa ajudar na interpretação destes.

6.2 Cavacos

6.2.1 Método do máximo teor de umidade

Calcular a densidade básica por meio da equação:

$$d_b = \frac{1}{\left(\frac{m_1}{m_2}\right) - 0,346}$$

onde:

d_b é a densidade básica da madeira, em gramas por centímetro cúbico;

m_1 é a massa úmida da amostra, em gramas;

m_2 é a massa seca em estufa a $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$, em gramas.

NOTAS

1 A justificativa do cálculo pode ser encontrada na literatura [1] do anexo A.

2 Para pequenas amostras há uma perfeita correlação deste método com o anterior, conforme relatado na literatura [2] do anexo A.

6.2.2 Método de imersão

Calcular a densidade básica da madeira por meio da equação:

$$d_b = \frac{m_3}{(m_2 - m_1)}$$

onde:

d_b é a densidade básica da madeira, em gramas por centímetro cúbico;

m_3 é a massa da amostra seca em estufa a $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$, em gramas;

m_2 é a massa da pesagem do conjunto imerso (cesto e cavacos), em gramas;

m_1 é a massa do cesto imerso, em gramas.

6.3 Expressar a densidade básica em gramas por centímetro cúbico, com até três casas decimais.

7 Relatório

O relatório deve incluir as seguintes informações:

- a) referência a esta Norma;
- b) data e local da amostragem;
- c) todas as informações necessárias para completa identificação da amostra, como, por exemplo, presença ou não de cascas nos discos etc.;
- d) resultados conforme seção 6;
- e) qualquer desvio não mencionado do método especificado, todas as circunstâncias ou influências que possam ter afetado os resultados e qualquer outro fator que possa ajudar na interpretação destes.

Anexo A (informativo)
Bibliografia

- [1] Smith, D.M. Maximum moisture content method for determining specific gravity of small wood samples USDA Forest Service FPL, n.2014, p.1-8, dez. 1954.
- [2] Foelkel, C.E.B.; Brasil, M.A.M.; Barrichelo, L.E.G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas O Papel. 1972, No. 33, 57-61; 14 ref.
-