

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

ANDRÉ PRATA VILLAS-BOAS MACIEL

EFEITO DO MATERIAL GENÉTICO NA SECAGEM NATURAL DA MADEIRA DE
CLONES DE *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO
2016

ANDRÉ PRATA VILLAS-BOAS MACIEL

EFEITO DO MATERIAL GENÉTICO NA SECAGEM NATURAL DA MADEIRA DE
CLONES DE *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*

Monografia apresentada ao
Departamento de Ciências
Florestais e da Madeira da
Universidade Federal do Espírito
Santo, como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro
Industrial Madeireiro.

Orientador: Prof. Dr. Djeison
Cesar Batista

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2016

ANDRÉ PRATA VILLAS-BOAS MACIEL

EFEITO DO MATERIAL GENÉTICO NA SECAGEM NATURAL DA MADEIRA DE
CLONES DE *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da
Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Industrial Madeireira.

Aprovada em 27 de junho de 2016.

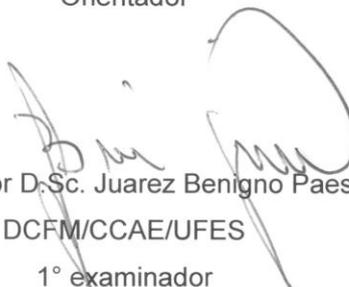
COMISSÃO EXAMINADORA



Professor D.Sc. Djeison Cesar Batista

DCFM/CCAUE/UFES

Orientador



Professor D.Sc. Juarez Benigno Paes

DCFM/CCAUE/UFES

1º examinador



Engenheiro Industrial Madeireiro M.Sc. João Gabriel Missia da Silva

Doutorando no Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais/UFES

AGRADECIMENTOS

Ao professor, orientador e, sobretudo, amigo Dr. Djeison Cesar Batista, pelos valiosos ensinamentos, orientações e conselhos no decorrer do curso e da realização deste trabalho.

Ao amigo M.Sc. Frederico Nistal França, pela doação do material e pelas informações, conselhos e sugestões passados ao longo do curso e da realização deste trabalho.

Aos professores: Dr. Fabrício Gomes Gonçalves, Dr. Wendel Sandro de Paula Andrade, Dr. Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho, Dr. José Tarcísio Oliveira, Dr. Juarez Benigno Paes, M.Sc. João Gabriel Missia Silva, Dr. Humberto Fantuzzi Neto, Dr. Clovis Eduardo Nunes Hegedus, Dra. Graziela Baptista Vidaurre e Dra. Marina Donária Chaves Arantes pelo conhecimento transmitido nas disciplinas.

Aos colegas de graduação pela amizade e convivência.

Às pessoas mais importantes da minha vida, meus familiares, por todo o apoio proporcionado ao longo dessa caminhada. Sem vocês, nada disso seria possível.

Muito Obrigado!

RESUMO

A seleção de clones com melhores potenciais genéticos é um dos objetivos dos programas de melhoramento de eucalipto. O objetivo geral do trabalho foi avaliar a secagem natural da madeira de cerne periférico de sete clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. Foram utilizadas 42 árvores, com 13 anos de idade, provenientes de um plantio localizado no Sul do estado da Bahia. Para cada clone foram produzidas quatro amostras de controle, que foram utilizadas no acompanhamento da secagem natural, realizada em Jerônimo Monteiro – ES, no período de 18 de abril a 12 de agosto de 2013. Para cada amostra de controle foi calculada a umidade inicial, o tempo médio para atingir o ponto de saturação das fibras (PSF), a taxa de secagem, a umidade final, a densidade aparente, e também foram realizadas fotomicrografias da seção transversal. Verificou-se a presença de vasos obstruídos por tiloses em todos os clones. Houve diferença significativa entre os clones para a densidade aparente (variação entre 0,501 e 0,657 g cm⁻³) e para a taxa de secagem (variação entre 0,430 e 0,810 % dia⁻¹). O efeito da densidade aparente foi significativo na taxa de secagem dos clones, em que essas variáveis possuem relação inversa, na qual 70,5% da taxa de secagem pode ser explicada pela densidade aparente. Apesar de proveniente de um mesmo híbrido, uma carga de tábuas de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* pode apresentar heterogeneidade quanto à taxa de secagem devido a fatores inerentes a madeira, sobretudo a densidade aparente.

Palavras-chave: Madeira. Densidade aparente. Taxa de secagem. Eucalipto.

SUMÁRIO

FOLHA DE APROVAÇÃO.....	ii
AGRADECIMENTOS.....	iii
RESUMO.....	iv
SUMÁRIO.....	v
LISTA DE FIGURAS	vi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 O problema e sua importância	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo geral.....	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 O híbrido <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i>	3
2.2 Secagem natural da madeira	3
2.3 Propriedades da madeira que interferem na secagem	5
3. MATERIAL E MÉTODOS	8
3.1 Descrição do material	8
3.2 A secagem natural da madeira.....	8
3.3 Taxa de secagem da madeira	10
3.4 Fotomicrografias e Densidade Aparente da madeira	10
3.5 Análise Estatística.....	11
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
4.1 Fotomicrografias do lenho.....	13
4.2 Secagem natural da madeira	14
4.3 Densidade aparente e taxa de secagem.....	18
5. CONCLUSÃO.....	22
6. REFERÊNCIAS	23

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de preparação das amostras de controle e de umidade inicial ...	8
Figura 2 - Representação da pilha de secagem natural	9
Figura 3 – Posicionamento de algumas amostras de controle na pilha.	10
Figura 4 - Esquema de amostragem dos corpos de prova para fotomicrografias (1 e 3) e densidade aparente (2).	11
Figura 5 - Fotomicrografias das seções transversais por clone	13
Figura 6 - Curvas de secagem por clone	17
Figura 7 - Gráfico de caixas da densidade aparente da madeira por clone	19
Figura 8 - Gráfico do modelo de regressão linear entre a densidade aparente e a taxa de secagem	20

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos tempos cresceu de forma significativa o interesse pela utilização da madeira de espécies plantadas de *Eucalyptus* como fonte de matéria-prima para a indústria madeireira. Contudo, mesmo com a disponibilidade, a madeira das principais espécies apresenta dificuldades tecnológicas ao seu processamento, tais como níveis elevados de tensões de crescimento e de anisotropia de contração.

Outro fator dificultante para a indústria de processamento primário é a indisponibilidade de matéria-prima adequada, com predominância de toras de pequenos diâmetros, compostas basicamente de lenho juvenil.

Como existe variabilidade genética entre e dentro das espécies, e bons níveis de controle, os programas de melhoramento genético têm atuado de forma a tornar a madeira de Eucalipto mais adequada para a indústria madeireira. Essa prática é uma realidade nas indústrias de celulose, que possuem condições para esse tipo de investimento, mas não tem sido observada na indústria de processamento primário da madeira.

O processo de secagem (natural ou artificial) de *Eucalyptus* é um ponto de grande importância na utilização industrial da madeira na forma de produtos sólidos por aumentar a estabilidade dimensional e a resistência das peças ao ataque de organismos xilófagos, além de permitir melhores resultados nas etapas de acabamento das peças.

Os maiores problemas ocorridos nesta fase decorrem da variação anisotrópica das dimensões das peças, gerando defeitos como torções, rachaduras, empenamentos e colapso.

1.1 O problema e sua importância

A identificação de clones que tenham madeira com propriedades mais adequadas para a sua industrialização tem sido uma busca constante nas empresas que processam madeira de eucalipto. Dessa forma, foi delimitado o seguinte problema de pesquisa: qual clone, dentre os sete materiais genéticos selecionados de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, apresentará melhores resultados com relação à secagem natural da madeira?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a secagem natural da madeira do cerne periférico de sete clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar o efeito do material genético na densidade aparente da madeira.
- Verificar o efeito da densidade aparente da madeira na taxa de secagem.
- Avaliar o efeito do material genético na taxa de secagem.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*

Ao longo das últimas décadas foram verificados aumentos na produtividade das florestas de eucalipto graças ao desenvolvimento de materiais genéticos de maior potencial produtivo, principalmente pelos resultados positivos obtidos na hibridação e clonagem. Isto tem tornado o Brasil competitivo quanto à produção de matéria-prima de baixo custo para as indústrias de base florestal (ASSIS, 2014).

O objetivo da hibridação entre as espécies *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* é o aproveitamento do incremento volumétrico anual da primeira espécie e o aumento na densidade da madeira, agregado pela última (CARVALHO, 2001). Assim, aliam-se duas características desejáveis para a indústria que produz madeira serrada.

A clonagem de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* apresentou resultados positivos, em que a média da densidade da madeira foi 23% maior, o volume de casca foi 3% menor e as médias de produtividade em volume e massa foram maiores quando comparados ao *Eucalyptus grandis* produzido tanto por via seminal quanto clonal (COSTA, 2006).

2.2 Secagem natural da madeira

A secagem é uma fase de grande importância nos processos de transformação da madeira em produtos sólidos, pois proporciona, entre outras vantagens, melhoria das características de trabalhabilidade e redução tanto da movimentação dimensional como da possibilidade de ataque por fungos e insetos (ANDRADE; JANKOWSKY; DUCATI, 2001).

A secagem natural consiste em empilhar convenientemente a madeira em ambiente ventilado e preferencialmente coberto, a fim de evitar a incidência dos raios solares e da chuva, fazendo-se o controle do teor de umidade em intervalos regulares até que este atinja o valor desejado, que estará em função do uso final a que a madeira se destina ou até onde permitirem as condições climáticas da região (MARTINS, 1988).

As práticas racionais do processo de secagem natural da madeira resultam em menores ciclos de secagem, peças com umidade mais uniforme e madeira de melhor qualidade, com um mínimo de defeitos. O tempo entre o início da secagem da madeira com elevada umidade inicial até a obtenção da umidade desejada depende de fatores que envolvem as características da própria madeira, da pilha, do pátio e das condições climáticas. A taxa de secagem no início do processo é elevada e decresce à medida que a umidade diminui (JANKOWSKY, 1990).

Para o *Eucalyptus grandis* a secagem combinada (pré-secagem natural até o ponto de saturação das fibras – PSF, associada à secagem convencional até a umidade desejada), quando comparada com a secagem convencional, reduz o tempo de secagem e a incidência de defeitos, o que leva a um custo total de secagem reduzido (ROSSO, 2006). Assim, pode-se afirmar que a realização da pré-secagem para essa espécie gera ganhos econômicos expressivos para a indústria, uma vez que grande parte do custo envolvido para a obtenção de madeira serrada utilizada para a geração de produtos de maior valor agregado advém da secagem.

Na secagem natural de tábuas da maioria das espécies de *Eucalyptus* ocorre perda de metade do teor de umidade entre 15 e 30 dias; o restante é eliminado em um tempo de três a cinco vezes maior, permanecendo as tábuas sob as mesmas condições de exposição. Isto se deve ao estado da umidade da madeira, visto que a água capilar, que corresponde a condição acima do PSF, é evaporada facilmente. No entanto, o mesmo não ocorre com a água higroscópica, adsorvida na parede celular, sendo portanto, mais fortemente retida que a água livre (GOMIDE, 1974 citado por SILVA, 1997).

Peças de *Eucalyptus grandis* com espessura variável entre 70 e 80 mm e umidade inicial próxima a 65%, submetidas à secagem natural, atingiram a umidade final de 18,53% em aproximadamente 112 dias. Esses valores corresponderam a uma taxa de secagem média de 0,39 p.p./dia. A madeira foi seca em uma pilha horizontal com cobertura de telhas de fibrocimento, em Espera Feliz, Minas Gerais (PIZZOL, 2010).

Tábuas de 30 mm de espessura de *Eucalyptus urophylla* com umidade inicial pouco maior que 60% foram secas naturalmente atingindo o PSF em aproximadamente 18 dias. A umidade final de cerca de 12% foi atingida em 28 dias de secagem. A madeira foi seca em um galpão, em Seropédica, Rio de Janeiro (CARVALHO, 2006).

A secagem natural da madeira de *Eucalyptus grandis* com 25 mm de espessura foi conduzida em Santa Maria, Rio Grande do Sul, nas estações do verão e do inverno. No verão, para uma umidade inicial de 80%, a madeira levou cerca de 14 dias para atingir o PSF. Já no inverno, para umidade inicial de 77%, o período de secagem foi maior, levando cerca de 37 dias para atingir o PSF. Conclui-se que a secagem natural, quando executada de modo planejado, pode fornecer resultados satisfatórios quanto ao tempo de secagem, teor de umidade final e qualidade do material (ROSSO, 2006).

Ciniglio (1998) estudou a secagem combinada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* com 25 mm de espessura e obteve, respectivamente, os seguintes resultados para ciclo total de secagem, secagem natural e secagem artificial: 27 e 22 dias, 19 e 15 dias e 8 e 7 dias. Estes foram considerados os tempos ideais visando um produto com mínima incidência de defeitos, sendo economicamente viável.

2.3 Propriedades da madeira que interferem na secagem

Dentre os fatores inerentes à própria espécie de madeira que influenciam na secagem, encontram-se a estrutura anatômica, a densidade e a anisotropia de contração. A mudança de volume verificada na madeira em consequência dos fenômenos de sorção de água é considerada umas das propriedades físicas mais importantes, afetando e limitando a utilização industrial (KLITZKE, 2007).

Santos, Jankowsky e Andrade (2003) ressaltam que para as espécies do gênero *Eucalyptus* a movimentação da água capilar é restringida pelas características anatômicas da espécie, com predomínio de pontuações de pequenos diâmetros e com vasos usualmente obstruídos por tiloses. Essas características definem a madeira de *Eucalyptus grandis* como de baixa permeabilidade, que é a principal responsável pela dificuldade da secagem e alta incidência de defeitos, principalmente o colapso.

Rocha, Florsheim e Couto (2004) concluiu que há diferenças significativas na madeira da espécie *Eucalyptus grandis* de sete anos de idade quanto ao diâmetro e a frequência dos vasos no sentido medula-casca. Foi observado que o diâmetro dos vasos aumentou de 78,93 para 117,57 μm e a frequência diminuiu de 18,70 para 11,07 vasos/ mm^2 no sentido medula-casca.

Alzate (2004) observou que a madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* possui cerne distinto do alburno e cor rosa claro, brilho moderado, odor e gosto imperceptíveis, textura macia e grã direita; vasos visíveis a olho nu ou lente (10x); difusos; arranjo diagonal; solitários predominantes (98%), com frequência de 8-13 vasos/mm².

Para conduzirem-se corretamente os processos de secagem e de utilização final para a maioria das madeiras de *Eucalyptus spp*, visando minimizar a ocorrência de defeitos para obter um bom desempenho, é imprescindível que se conheça os mecanismos físicos que regem os fenômenos de contração da madeira submetida a tais processos (SILVA; OLIVEIRA, 2003).

Segundo Santos, Jankowsky e Andrade (2003), para várias espécies do gênero *Eucalyptus*, dentre elas o *Eucalyptus grandis*, a capacidade de secagem da câmara convencional não pode ser utilizada plenamente por causa da possibilidade de desenvolvimento de colapso e rachaduras na madeira. Os autores recomendam para essas espécies o uso de um baixo potencial de secagem e de temperaturas iniciais que não excedam a 45°C.

De um modo geral, em madeiras de baixa densidade a secagem irá ocorrer mais rapidamente que nas de alta densidade. Isto porque ao diminuir a densidade, reduz-se o volume de paredes celulares por onde a água se move lentamente, e aumenta-se o volume de espaços vazios por onde o vapor de água move-se rapidamente (SEVERO, 1998).

A densidade da madeira é considerada uma variável importante e influente no processamento dessa matéria-prima. As indústrias que processam madeiras de alta densidade requerem maior energia em seu processamento, ou seja, no transporte, na secagem e no processo de transformação para o fim planejado (BRUDER, 2012). Assim, infere-se que a densidade do material a ser seco gera impacto significativo nos custos industriais envolvidos em tal processo.

O interesse em determinar a densidade de uma forma prática e precisa está necessitando cada vez mais de pesquisas de aprimoramento técnico. A densidade aparente determinada na umidade de equilíbrio, expressa de maneira real essa propriedade da madeira, principalmente por evidenciar a forma de utilização na construção civil e produção de móveis, por exemplo (REZENDE, 1997).

Conforme Zanuncio (2013), madeiras com baixa densidade apresentam mais espaços vazios a serem preenchidos por água, como cavidades celulares e espaços

intercelulares, incluindo vasos e canais resiníferos, o que resulta em alta umidade da mesma. A correlação entre a densidade da madeira e a perda de umidade das toras da base durante 94 dias foi negativa, com coeficiente de correlação de -0,761.

A densidade da madeira é uma propriedade influenciada por vários fatores, principalmente a posição de amostragem na árvore. Informações de densidade aparente (12% de umidade) da literatura indicam resultados para o *Eucalyptus grandis* variando de 0,500 g cm⁻³ (SETTE JUNIOR. et al., 2014) a 0,575 g cm⁻³ (LOBÃO et al., 2004), e de 0,565 g.cm⁻³ para o *Eucalyptus urophylla* aos sete anos de idade (TREVISAN et al., 2007).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição do material

Foram utilizadas 42 árvores de sete diferentes clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, com 13 anos de idade, provenientes de um plantio localizado em Alcobaça, sul do estado da Bahia (17°33' S e 39°22' W). O solo predominante do local é o Podzóico Amarelo Distrófico; Conforme Köppen, o clima é tropical chuvoso e quente, com temperaturas superiores a 18°C, no mês mais frio, e precipitação anual média em torno de 1378 mm.

A madeira utilizada foi proveniente de toras de dois metros de comprimento obtidas entre cinco e sete metros de altura do fuste, as quais foram desdobradas em tábuas tangenciais com espessura nominal de 30 mm e largura variável.

Para o estudo foram selecionadas 84 tábuas correspondentes ao cerne periférico, região onde a madeira apresenta as melhores propriedades físicas e mecânicas, atingindo melhores valores no mercado.

3.2 Secagem natural da madeira

Das 84 tábuas, foram amostradas quatro por clone, com o cuidado de se amostrar tábuas provenientes de diferentes árvores, para melhor representatividade. Dessas tábuas foram preparadas amostras de controle de secagem, conforme o método proposto por Simpson (1991), apresentado na Figura 1.

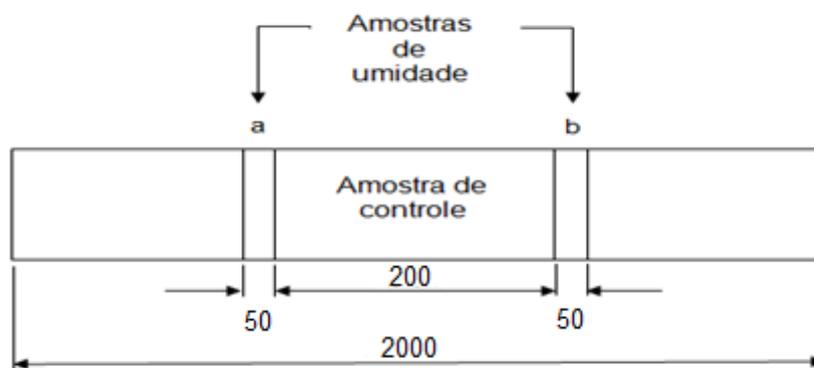


Figura 1 – Esquema de preparação das amostras de controle e de umidade inicial (cotas em mm)

A média da umidade (método gravimétrico) das amostras “A” e “B” (Figura 1) foi utilizada para se estimar a umidade inicial da amostra de controle de secagem. Com base nesse resultado, calculou-se a massa seca estimada da amostra de controle (Equação 1), que foi utilizada para se calcular a umidade durante a secagem natural.

$$MSE = \frac{(100 \times Mi)}{(100 + Ui)} \quad (1)$$

Em que – MSE: massa seca estimada da amostra de controle (g); Mi: massa úmida inicial da amostra de controle (g); Ui: média da umidade das amostras “A” e “B” (%).

Para a secagem natural, as tábuas foram empilhadas formando uma pilha horizontal tradicional, conforme a Figura 2.

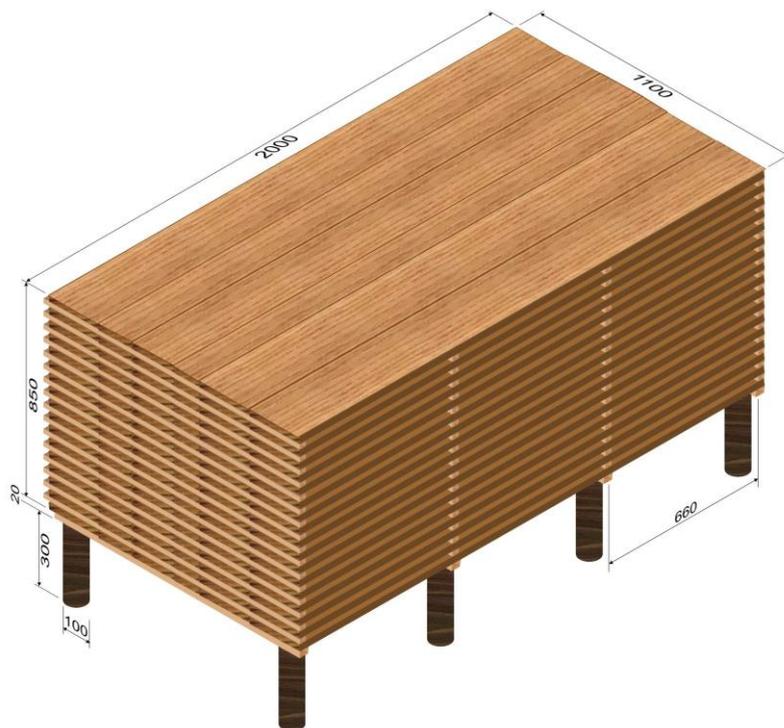


Figura 2 – Representação da pilha de secagem natural (cotas em mm)

A pilha foi montada sobre uma base composta por escoras de eucalipto tratadas e sobre cada par de escoras foi pregado um pontalete de 20 x 50 x 1.100 mm (espessura x largura x comprimento), que conferiu sustentação para a base da pilha.

Foram utilizados quatro tabiques por camada de tábuas, com dimensões nominais de 20 x 35 x 1.100 mm (espessura x largura x comprimento), perfeitamente alinhados com os pontaletes da base. A distribuição das amostras de controle por clone na pilha foi realizada de forma aleatória, sempre nas laterais da pilha (Figura 3). Ao final, a pilha foi coberta com telhas de fibrocimento para proteção das intempéries.

A pilha foi montada no Departamento de Ciências Florestais e da Madeira do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, localizado em Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, no dia 18 de abril de 2013. As pesagens das amostras de controle foram realizadas no primeiro mês a cada dois dias e a partir do segundo mês a quatro dias, até o dia 12 de agosto de 2013, o que representou um ciclo de secagem de 116 dias.



Figura 3 – Posicionamento de algumas amostras de controle na pilha

3.3 Taxa de secagem da madeira

A taxa de secagem das amostras de controle de umidade foi calculada conforme a Equação 2.

$$TS = \frac{(U_i - U_f)}{\text{Tempo}} \quad (2)$$

Em que – TS: taxa de secagem (pontos percentuais de umidade dia⁻¹); U_i: umidade inicial da amostra de controle (%); umidade final da amostra de controle (%); Tempo: tempo total de secagem (dias).

3.4 Fotomicrografias e densidade aparente da madeira

Ao final da secagem, as amostras de controle foram recolhidas, aplainadas em ambas as faces até 25 mm de espessura, e das mesmas foram preparados corpos de prova para as fotomicrografias e densidade aparente, conforme a Figura 3.

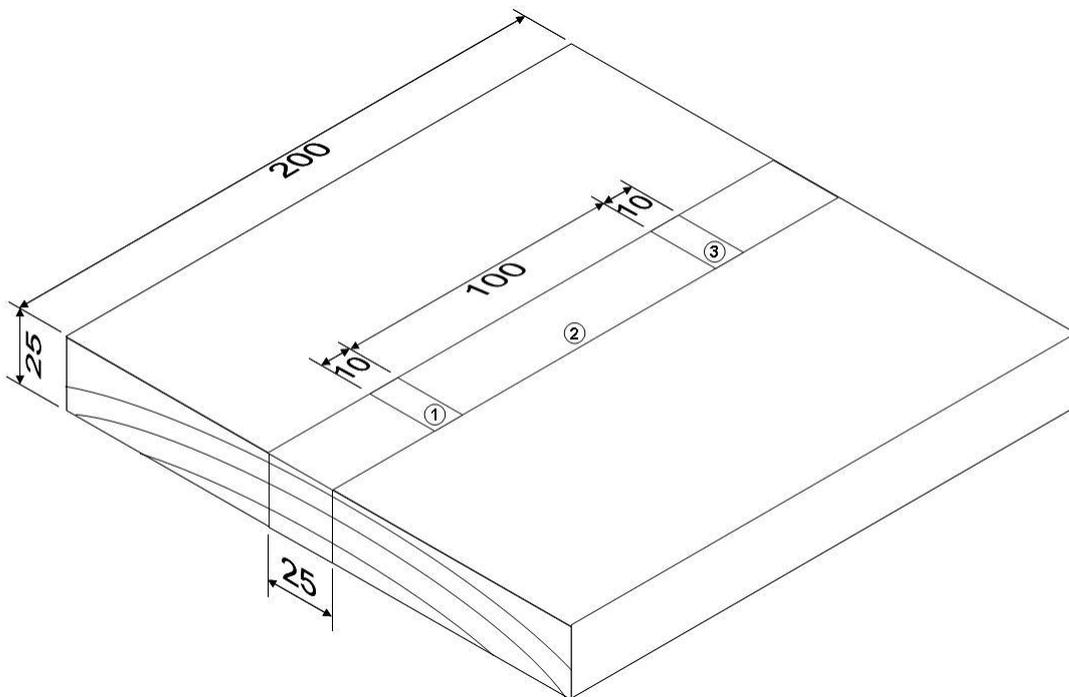


Figura 4 – Esquema de amostragem dos corpos de prova para fotomicrografias (1 e 3) e densidade aparente (2) (cotas em mm).

As fotomicrografias foram tomadas de ambas as seções transversais de cada corpo de prova, utilizando-se um estereomicroscópio Zeiss Discovery V12, em uma área de 4 mm², com aumento de 50 x. Anteriormente, os corpos de prova tiveram as seções preparadas com estilete, de forma a tornar as imagens mais nítidas.

A densidade aparente foi determinada pelo método estereométrico, após climatização dos corpos de prova em câmara climática a 20 °C e 65% de umidade relativa, o que representa uma umidade de equilíbrio de aproximadamente 12%.

Para tanto, foram utilizados um paquímetro digital (0,01 mm) e uma balança semianalítica digital (0,01 g). A densidade aparente foi calculada conforme a Equação 3.

$$D_{12\%} = \frac{M_{12\%}}{V_{12\%}} \quad (3)$$

Em que – $D_{12\%}$: densidade aparente a 12% de umidade (g cm^{-3}); $M_{12\%}$: massa a 12% de umidade de equilíbrio (g); $V_{12\%}$: volume a 12% de umidade de equilíbrio (cm^3).

3.5 Análise estatística

A análise estatística foi realizada em delineamento inteiramente casualizado, e o nível adotado foi de até 5% de significância para todos os testes. O efeito dos clones na taxa de secagem, densidade aparente, umidade inicial e umidade final, foi verificado pela aplicação da análise de variância e, para a sua validação, aplicou-se o teste de Bartlett, que avaliou a homogeneidade das variâncias entre os tratamentos.

Nos casos em que se verificou a homogeneidade das variâncias, aplicou-se o teste F, e confirmada a rejeição da hipótese nula ($P < 0,05$), foi aplicado o teste de Tukey para comparação das médias. Nos casos em que pelo menos uma das variâncias não foi estatisticamente igual, aplicou-se o teste H de Kruskal-Wallis e a análise do gráfico de caixas para a diferenciação das medianas.

Adicionalmente, aplicou-se a análise de regressão linear, em que se utilizou o coeficiente de determinação (R^2) e a análise gráfica para verificar a relação entre as variáveis densidade aparente e taxa de secagem. Foi utilizada a ANOVA para verificar a significância dos coeficientes da equação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Fotomicrografias do lenho

Na Figura 4 encontram-se fotomicrografias representativas das seções transversais das amostras de controle por clone.

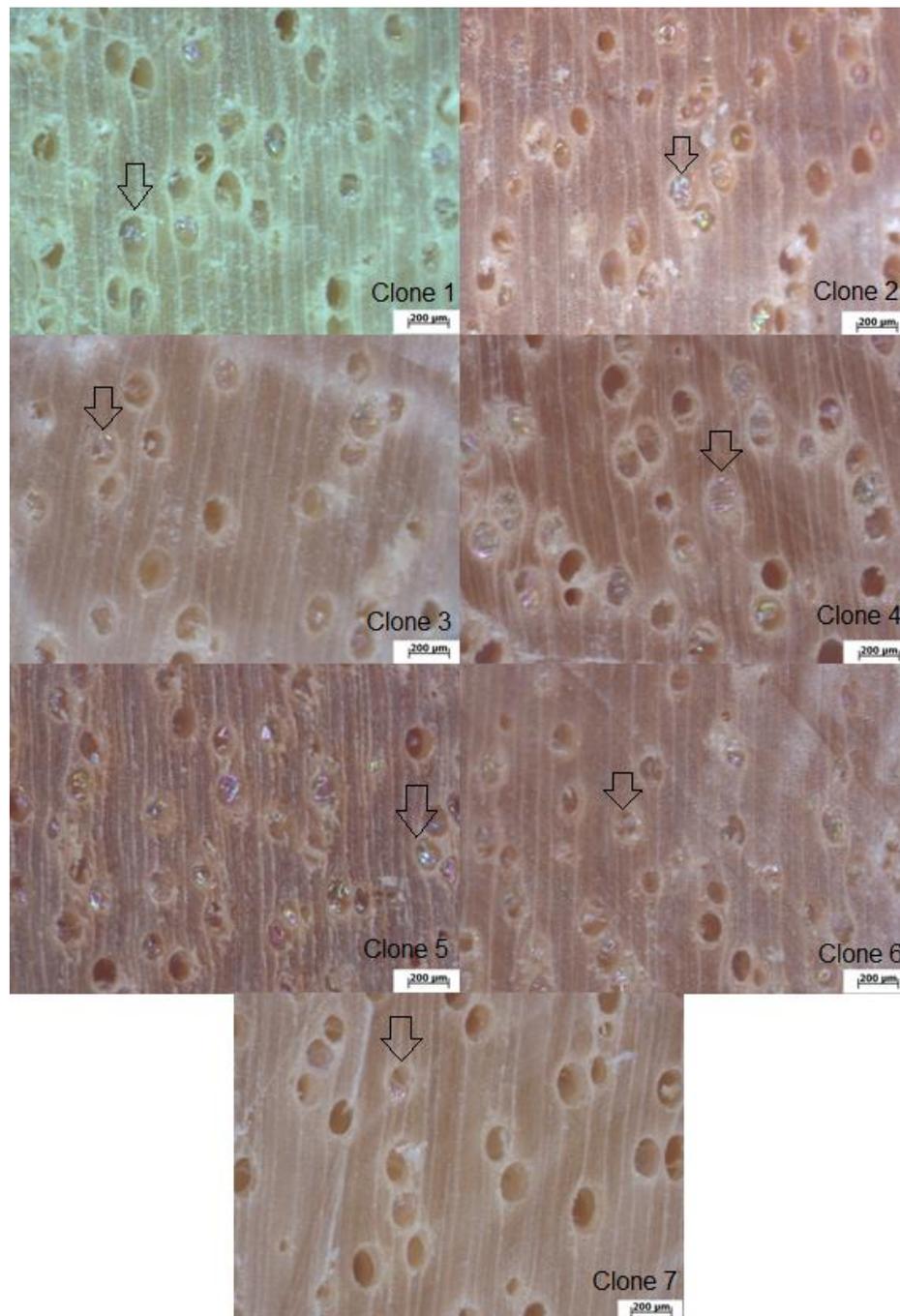


Figura 5 – Fotomicrografias das seções transversais por clone

Conforme indicado pelas setas na Figura 4, há presença de tiloses em todos os clones analisados, comum para a madeira do gênero *Eucalyptus* (SANTOS; JANKOWSKY; ANDRADE, 2003). O diâmetro e a quantidade de vasos obstruídos influencia negativamente no processo de secagem por diminuir a permeabilidade das peças. Contudo, quantificar tal fenômeno exige um estudo específico nessa área com uma metodologia apropriada.

Futuramente poderá ser conduzida uma pesquisa verificando a relação do diâmetro e frequência dos vasos na secagem, conforme Ferreira (2012) realizou para a espécie *Eucalyptus urophylla*.

4.2 Secagem natural da madeira

Por meio das amostras de controle, foram calculadas as médias de umidade inicial, umidade final e tempo médio para atingir o PSF por clone (Tabela 1).

Tabela 1 – Médias dos parâmetros da secagem ao ar livre, por clone

Clone	Umidade		Tempo médio para atingir o PSF (dias)
	Inicial (%)	Final (%)	
1	64,10 D	14,21 (14,99) ¹	22,3 (21,52)
2	94,08 B	14,49 (5,54)	33,5 (19,11)
3	71,71 CD	12,83 (23,16)	23,5 (19,81)
4	78,78 C	15,46 (4,80)	29,3 (24,40)
5	71,93 CD	14,68 (11,87)	26,0 (16,32)
6	106,56 A	12,57 (12,55)	36,0 (16,67)
7	98,78 AB	13,01 (2,61)	27,8 (12,26)
Teste de Bartlett	1,31 ^{ns}	2,01*	-
F calculado da	15,99**	-	-
ANOVA			
Teste H de Kruskal-	-	9,69 ^{ns}	12,35 ^{ns}
Wallis			

¹Coefficiente de variação (%). Médias seguidas por uma mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si conforme o teste de Tukey (P > 0,05).

Para a umidade inicial, houve diferença significativa entre os clones, em que as menores médias foram dos clones 1, 3 e 5, com o menor valor absoluto para o clone 1 (64,10%). As maiores médias foram dos clones 6 e 7, com maior média absoluta para o clone 6 (106,66%). A heterogeneidade da umidade inicial entre as peças é indesejável para o processo de secagem combinada, que utiliza a secagem natural como pré-secagem.

Como a taxa de secagem é maior para a água capilar, isto implica que as peças também atingirão o PSF em momentos distintos, o que é prejudicial para a composição da carga para a secagem convencional. Isso pode acarretar em problemas na composição da carga com a madeira dos sete clones, sendo necessária a realização de classificação prévia com clones de comportamento de secagem semelhante.

Para a umidade final, conforme o teste H de Kruskal-Wallis, não houve diferença significativa entre as medianas dos clones.

A maior média absoluta de umidade final foi de 15,46%, para o clone 4, ao passo que a menor foi de 12,57%, para o clone 6. Para a análise da qualidade da secagem, é desejável que a umidade final da madeira seja homogênea, o que facilita o seu posterior processamento.

Como a maior diferença média de umidade final entre os clones foi de 2,89%, pode-se considerar um bom resultado para a secagem natural. Isso indica que, para espécies pouco permeáveis, a heterogeneidade da umidade final acima do PSF não é necessariamente um problema, porque é possível obter umidade final homogênea, mesmo na secagem natural.

Como o tempo para atingir o PSF trata-se de uma contagem (dados discretos) aplicou-se apenas o teste H de Kruskal-Wallis. De acordo com o teste H, não houve diferença significativa entre as medianas dos clones para essa variável analisada.

Apesar de não ter havido diferença significativa, levando-se em conta o custo diário em se manter a matéria-prima estocada em um pátio de secagem natural, isto pode ser significativo para uma empresa.

Por exemplo, o clone 1 teve a menor média absoluta, com 22,3 dias para atingir o PSF, ao passo que o 6 atingiu a maior média absoluta, com 36 dias. Em termos de processo industrial, essa diferença de cerca de 14 dias representa custos que não podem ser desprezados nas tomadas de decisão quanto ao processo de secagem combinada.

Conforme mencionado anteriormente, houve correspondência entre os resultados de umidade inicial e tempo médio para atingir o PSF para os clones 1, 3, 5 e 7, em que maiores umidades iniciais resultaram em menores tempos.

Comparando-se com a literatura, mesmo a menor média absoluta (22,3 dias, clone 1) foi superior aos resultados encontrados por Carvalho (2006) para o *Eucalyptus grandis* (18 dias) com a mesma espessura; e por Ciniglio (1998) tanto para o *Eucalyptus grandis* (15 dias) quanto para o *Eucalyptus urophylla* (19 dias), ambos com espessura inferior (25 mm). Essa diferença pode ter sido influenciada pela diferença de espessura das peças e do teor de umidade inicial, além de fatores relacionados às condições climáticas do local no qual a secagem foi realizada.

Comparados aos valores obtidos por Rosso (2006) para a secagem natural da madeira de *Eucalyptus grandis*, o tempo médio para as peças atingirem o PSF de todos os clones se encontram entre os valores obtidos pelo autor para as estações de inverno (37 dias) e verão (15 dias).

Como a secagem natural do presente trabalho foi realizada durante um período compreendido entre parte do outono e parte do inverno, isso indica que as condições climáticas em Jerônimo Monteiro - ES no período da secagem natural foram intermediárias às avaliadas por Rosso (2006) em Santa Maria - RS. Dessa forma, ciclos mais curtos podem ser obtidos nas estações da primavera e verão, quando as condições climáticas são mais favoráveis para a secagem natural.

Na Figura 5 são representadas as curvas de secagem por clone para o período analisado. Cada curva representa a média de quatro amostras de controle por clone.

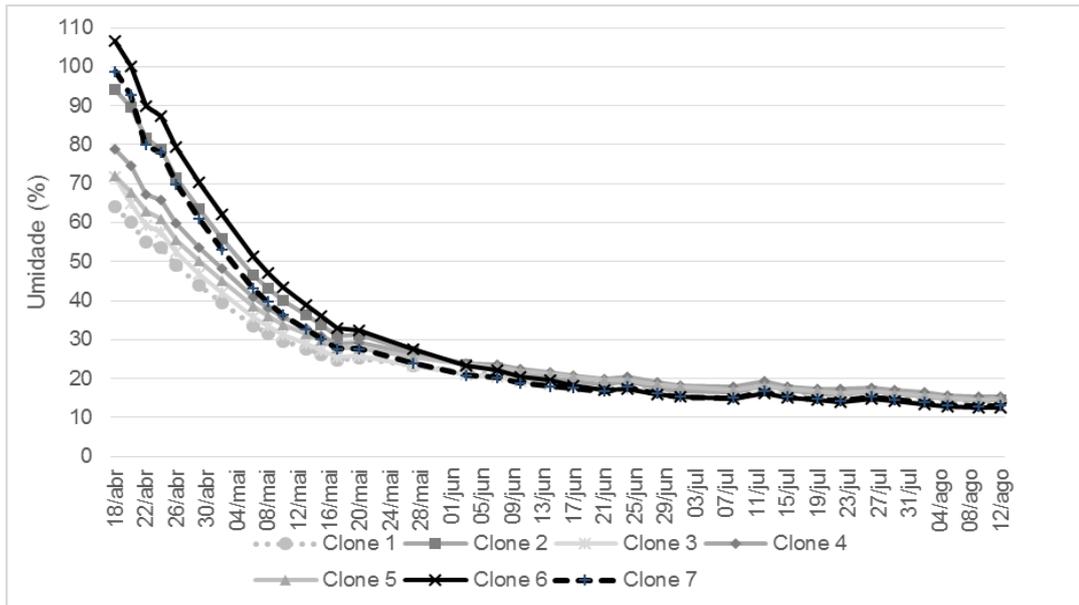


Figura 6 – Curvas de secagem por clone

Enquanto as peças estavam com umidade acima do PSF, que encontra-se em torno de 30%, a curva apresenta a linearidade característica da secagem da água capilar, na qual a taxa de secagem é praticamente constante. Em torno do PSF notou-se a transição da secagem da água capilar para a higroscópica, na qual a taxa de secagem começa a decrescer. Para umidades abaixo do PSF, predomina a secagem da água higroscópica e a curva tem uma menor inclinação, representada por uma taxa de secagem decrescente.

O comportamento da curva de secagem da madeira dos sete clones se assemelhou a dos trabalhos realizados por Ciniglio (1998) para o *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, e por Pizzol (2010) para o *Eucalyptus grandis*.

Visualmente, a transição da fase da secagem da água capilar para a higroscópica ocorre suavemente, como o descrito por Santos, Jankowsky e Andrade (2003) para o *Eucalyptus grandis*. Quando a madeira dos clones atingiu o PSF, entre os dias 8 e 24 de maio, notou-se a transição das fases de secagem, na qual a diferença de umidade observada nos períodos posteriores diminuiu drasticamente entre uma medição e outra, por causa da redução da taxa de secagem.

A madeira dos clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* pode ser considerada pouco permeável, conforme as características da curva de secagem mencionadas anteriormente e também por causa da presença de vasos obstruídos por tiloses, conforme apresentado na Figura 4. Esse resultado está em conformidade

com o descrito por Santos, Jankowsky e Andrade (2003) para a madeira de *Eucalyptus grandis*.

4.3 Densidade aparente e taxa de secagem

Na Tabela 2 encontram-se os resultados dos ensaios de densidade aparente (12% de umidade) e taxa de secagem por clone.

Tabela 2 – Médias de densidade aparente e taxa de secagem por clone

Clone	Densidade aparente a 12% de umidade (g.cm ⁻³)	Taxa de secagem (pontos percentuais.dia ⁻¹)
1	0,657 (6,26) ¹	0,430 D (7,75)
2	0,507 (5,50)	0,686 B (6,84)
3	0,655 (1,45)	0,508 CD (10,37)
4	0,592 (12,96)	0,546 C (11,86)
5	0,578 (13,53)	0,494 CD (15,89)
6	0,501 (4,33)	0,810 A (8,00)
7	0,522 (7,97)	0,739 AB (14,49)
Teste de Bartlett	2,00*	1,26 ^{ns}
Teste H de Kruskal-Wallis	18,03**	-
F calculado da ANOVA	-	17,82**

¹Coefficiente de variação (%). Médias seguidas por uma mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey (P > 0,05).

Para a densidade aparente foi realizado o teste H de Kruskal-Wallis. Conforme o teste H, houve diferença significativa entre as medianas dos clones.

Na Figura 5 encontra-se o gráfico de caixas que foi utilizado para a análise gráfica do agrupamento dos clones por densidade aparente. As caixas dos clones que estiverem compreendidas em um mesmo par de linhas paralelas possuem medianas que não diferem significativamente entre si.

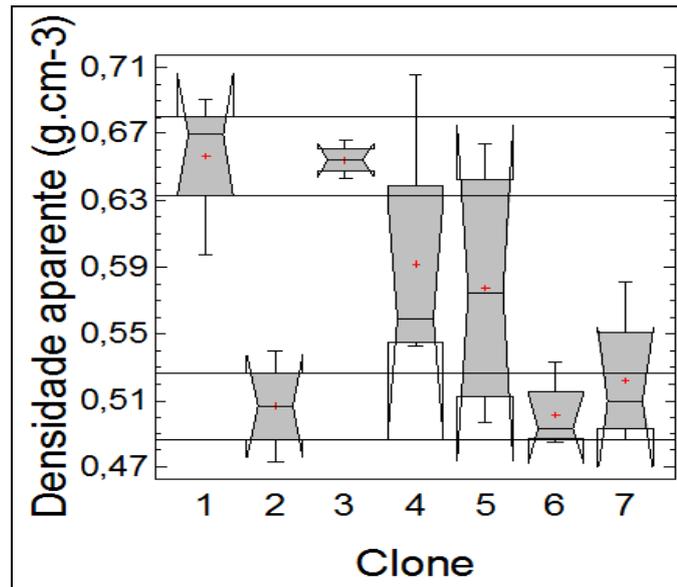


Figura 7 – Gráfico de caixas da densidade aparente da madeira por clone

Foram identificados quatro grupos de densidade aparente entre os clones: i) clones 1 e 3, com maiores densidades; ii) clones 4 e 5; iii) clone 7 e; iv) clones 2 e 6, com as menores densidades.

Para a prática industrial, a heterogeneidade da densidade entre as peças é indesejável para a composição da carga de secagem, pois é um dos fatores inerentes à madeira que mais influencia na taxa de secagem. Assim, peças com densidades diferentes também terão taxas de secagem diferentes durante o processo, podendo gerar complicações quanto à qualidade da secagem.

Apenas os clones 2, 6 e 7, que foram os menos densos, apresentaram médias semelhantes ao relatado na literatura para as espécies *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* (LOBÃO et al., 2004; SETTE JUNIOR et al., 2014; TREVISAN et al., 2007). Os demais clones apresentaram resultados superiores.

Isso pode estar relacionado ao efeito da hibridação, aos diferentes materiais genéticos (clones), além dos diversos fatores que influenciam na densidade, tais como idade das árvores, local de plantio e posição de amostragem da madeira.

Não houve diferença significativa entre as variâncias da taxa de secagem dos clones, o que permitiu a realização da ANOVA, que mostrou que houve diferença significativa entre as médias.

As maiores médias de taxa de secagem foram obtidas pelos clones 6 e 7, com respectivamente 0,810 e 0,739 % dia⁻¹, ao passo que a menor média foi do

clone 1 ($0,430 \text{ \% dia}^{-1}$). Essa diferença foi influenciada pela umidade inicial, em que maiores umidades iniciais implicam em maiores taxas de secagem da água capilar.

Contudo, a diferença na taxa de secagem não influenciou significativamente na umidade final dos clones, conforme comentado anteriormente, haja vista que não houve diferença significativa entre os mesmos para essa variável. Provavelmente houve diferença na taxa de secagem da água capilar, influenciada pelas diferentes umidades iniciais e densidades aparentes, o que pode ser tema de investigação futura.

Os resultados de taxa de secagem encontram-se entre o valor obtido com *Eucalyptus grandis* por Pizzol (2010), de $0,39 \text{ \% dia}^{-1}$, e o *Eucalyptus urophylla* por Carvalho (2006), de aproximadamente $1,00 \text{ \% dia}^{-1}$.

Na Figura 6 encontra-se um gráfico de dispersão das variáveis densidade aparente e taxa de secagem.

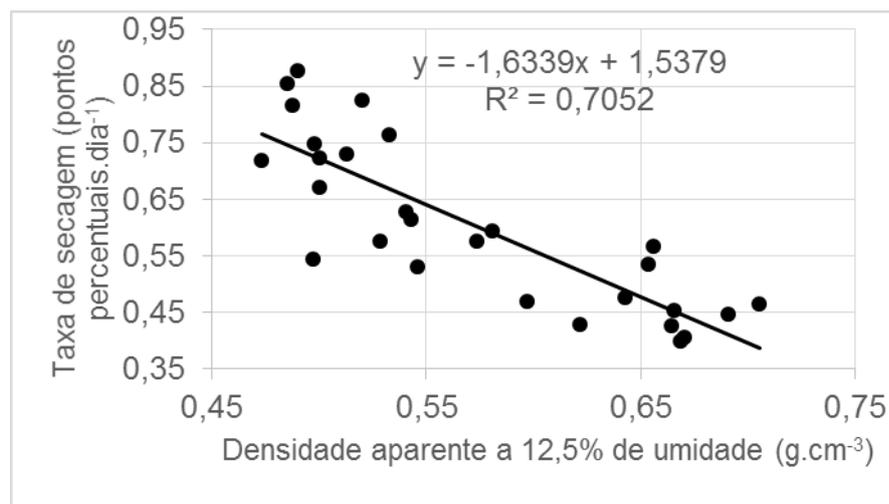


Figura 8 – Relação entre a densidade aparente e a taxa de secagem

O resultado do teste F da ANOVA para a regressão ($62,06^{**}$) indicou que os parâmetros estimados para a análise de regressão foram significativos, validando o modelo proposto ($y = -1,6339x + 1,5379$).

A relação entre as duas variáveis indica que a taxa de secagem foi inversamente com a densidade. Essa relação também foi observada no experimento realizado por Klitzke e Batista (2010).

Nota-se que os pontos apresentaram certa tendência pela forma como estão distribuídos no plano. Dessa forma, foi possível traçar uma reta por meio da equação gerada para tal modelo.

O valor de R^2 obtido indicou que 70,5% da variação da taxa de secagem é explicada pela densidade aparente, estando assim, em concordância com a literatura consultada, que afirma que a densidade é uma das propriedades inerentes à madeira que mais influenciam na taxa de secagem. Outros fatores que devem ser levados em consideração seriam o diâmetro e a frequência de vasos, além da presença de tiloses.

Assim, a fim de obter uma secagem mais uniforme, deve-se agrupar os clones que possuem características semelhantes quanto à umidade inicial e densidade aparente, para que o processo de secagem combinada apresente resultados mais satisfatórios.

5. CONCLUSÕES

A umidade inicial da madeira dos clones foi diferente, contudo isso não influenciou significativamente na umidade final para o período analisado.

Apesar de não ter sido identificada diferença significativa entre os clones para o tempo médio para atingir o PSF, houve uma diferença absoluta máxima de cerca de 14 dias entre clones, o que deve ser considerado pela indústria na prática da secagem combinada.

O efeito do material genético foi significativo na densidade aparente (12% de umidade) dos clones, em que foi possível separá-los em quatro grupos.

O efeito da densidade aparente foi significativo na taxa de secagem dos clones, em que essas variáveis possuem relação inversa, na qual 70,5% da taxa de secagem pode ser explicada pela densidade aparente.

Mesmo proveniente de um mesmo híbrido, uma carga de tábuas de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* pode apresentar heterogeneidade quanto à taxa de secagem por causa de fatores inerentes a madeira, principalmente a densidade aparente.

Para uma secagem natural mais homogênea, recomenda-se a composição das pilhas com peças de densidade e, por consequência, umidade inicial semelhantes.

Para investigações futuras, sugere-se a análise separada das taxas de secagem capilar e higroscópica, bem como a verificação dos fatores que influenciam em ambas.

6. REFERÊNCIAS

ALZATE, S. B. A. **Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E.grandis* x *E.urophylla***. 2004. 133f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade Federal de São Paulo, Piracicaba, 2004.

ANDRADE, A.; JANKOWSKY, I. P.; DUCATTI, M. A. Grupamento de madeiras para secagem convencional. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 59, p. 89-99, jun. 2001.

ASSIS, T.F. **Melhoramento genético de *Eucalyptus*: desafios e perspectivas**. In: Encontro Brasileiro de Silvicultura, 3, 2014, Campinas. Curitiba: Embrapa Florestas, 2014.

BRUDER, E. M. **Métodos de determinação da densidade básica e aparente da madeira de *Eucalyptus* sp.** Tese (Mestrado em Ciências Florestais) – Faculdade de Ciência Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

CARVALHO, A. M.; NAHUZ, M. A. R. Valorização da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 59, p. 61-76, jun. 2001.

CARVALHO, D. S. **Avaliação da secagem ao ar livre e usinagem da madeira de *Eucalyptus urophylla* para produção de móveis**. 2006. 49 f. Monografia (Curso de Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

CINIGLIO, G. **Avaliação da secagem de madeira serrada de *E. grandis* e *E. urophylla***. 1998. 73p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Madeiras) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

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

FERREIRA, C. A. **Caracterização anatômica, secagem e carbonização da madeira de clones de *Eucalyptus* e de espécies do Cerrado.** 2012. 89 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

JANKOWSKY, I. P. **Fundamentos de secagem de madeiras.** Piracicaba: ESALQ, 1990. 13 p.

KLITZKE R. J., BATISTA D. C. Ensaio de taxa de secagem e escore de defeitos para a predição da qualidade de secagem convencional da madeira de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba v. 38, n. 85, p. 97-105, 2010.

KLITZKE R. J. **Secagem da madeira.** In: OLIVEIRA J.T.S.; FIEDLER, N.C.; NOGUEIRA, M. Editores. Tecnologias aplicadas ao setor florestal brasileiro. Jerônimo Monteiro; 2007.

LOBÃO, M. S. et al. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.6, p.889-894, 2004.

MARTINS, V. A. **Secagem da madeira serrada.** Brasília: Gutenberg; 1988.

PIZZOL, V. D. **Secagem natural de *Eucalyptus grandis* sob dois ambientes de exposição.** 2010. 45 f. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) - Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro. 2010.

ROCHA, F. T.; FLORSHEIM, S. M. B.; COUTO, H. T. Z. Variação das dimensões dos elementos anatômicos da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos sete anos. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 43-55, 2004.

ROSSO, S. **Qualidade da madeira de três espécies de *Eucalyptus* resultante da combinação dos métodos de secagem ao ar livre e convencional**. 2006. 91 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

REZENDE, M. A. **Uma abordagem não convencional sobre as principais características físicas da madeira, com ênfase para retratibilidade, massa específica e técnica de atenuação da radiação gama**. 1997. 138f. Tese (Livre-Docência) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1997.

SANTOS, G.R.V.; JANKOWSKY, I.P.; ANDRADE, A. Curva característica de secagem para madeira de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 63, p. 214-220, jun. 2003.

SEVERO, E.T.D. **Estudo sobre o efeito da vaporização nas propriedades e comportamento de secagem da madeira de *Eucalyptus dunnii* Maid**. 200 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

SETTE JUNIOR, C. R.; DEUS JR, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M.; PÁDUA, F. A.; CALIL, F.N.; LACLAU, J. P. Alterações na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* causadas pela adubação mineral. **Cerne**, Lavras, v. 20, p. 251-258, 2014.

SILVA, J. R. M.; MENDES, L. M.; WENZEL, M. K.; TRUGILHO, P. F. Secagem ao ar livre da madeira de *Eucalyptus grandis* para a produção de móveis. **Cerne**, Lavras, v. 3, n.1, p. 170-186, 1997.

SILVA, J. C.; OLIVEIRA, J. T. S. Avaliação das propriedades higroscópicas da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm., em diferentes condições de umidade relativa do ar. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n.2, p. 233-239, 2003.

SIMPSON, W.T. **Dry kiln operator's manual**. Madison: USDA/FPS/FPL, 1991.

TREVISAN, T.; TIEPPO, F.M.M.; CARVALHO, A.G.; LELIS, R.C.C. Avaliação de propriedades físicas e mecânicas da madeira de cinco espécies florestais em função da deterioração em dois ambientes. **Revista Árvore**, Viçosa, v.31, n.1, 93-101, 2007.

ZANUNCIO, A. J. V. **Influência da secagem da madeira de *Eucalyptus* e *Corymbia* na produção e qualidade do carvão**. 2013. 69 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.