



**PAULO FERNANDO JORDÃO PIGOZZO**

**APLICAÇÃO DE MICROESFERAS DE VIDRO  
PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA  
SUPERFÍCIE SERRADA DA MADEIRA DE  
*Eucalyptus grandis***

**LAVRAS - MG**

**2015**

**PAULO FERNANDO JORDÃO PIGOZZO**

**APLICAÇÃO DE MICROESFERAS DE VIDRO PARA AVALIAÇÃO DA  
QUALIDADE DA SUPERFÍCIE SERRADA DA MADEIRA DE**

*Eucalyptus grandis*

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Processamento e Utilização da Madeira, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. José Tarcísio Lima

**LAVRAS - MG**

**2015**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Pigozzo, Paulo Fernando Jordão.

Aplicação de microesferas de vidro para avaliação da qualidade da superfície serrada da madeira de *Eucalyptus grandis* / Paulo Fernando Jordão Pigozzo. – Lavras : UFLA, 2015.

73 p. : il.

Dissertação(mestrado acadêmico)–Universidade Federal de Lavras, 2015.

Orientador: José Tarcísio Lima.

Bibliografia.

1. Serrarias. 2. Rendimento. 3. Qualidade superficial. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

**PAULO FERNANDO JORDÃO PIGOZZO**

**APLICAÇÃO DE MICROESFERAS DE VIDRO PARA AVALIAÇÃO DA  
QUALIDADE DA SUPERFÍCIE SERRADA DA MADEIRA DE  
*Eucalyptus grandis***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Processamento e Utilização da Madeira, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 09 de junho de 2015.

Dr. Paulo Ricardo Gherardi Hein

Universidade Federal de Lavras

Dr. Antonio Américo Cardoso Júnior

Universidade Federal do Sergipe

Dr. José Tarcísio Lima  
Orientador

**LAVRAS - MG**

**2015**

A Deus, aos meus amados pais: Julio e Ana  
pelo grande apoio e dedicação a mim  
doados e ao meu irmão: Tiago pela  
amizade,

**DEDICO!**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e à CAPES pelos incentivos e apoio.

Ao professor José Tarcísio Lima, pelos seus ensinamentos, amizade e orientação.

A minha namorada Ana Carolina pelo amor, compreensão e paciência que foram imprescindíveis para a realização deste trabalho.

À empresa Optimber pelo fornecimento do *software* Maxitora®.

Em especial aos meus avós, pelas orações e o imenso carinho.

Pelo carinho e amizade de toda minha família: pais, irmão, tios, primos, cunhada.

A todos os amigos que aqui encontrei durante essa trajetória em Lavras.

Aos amigos de Curitiba, que sempre incentivaram a minha formação.

Aos amigos e colegas de Maringá, que nem o tempo e a distancia separaram.

Às pessoas que ajudaram no projeto: Selma, Ana Clara e Carlos.

## RESUMO

Em serrarias é crescente o uso de maquinário e *softwares* visando o aumento do rendimento do desdobro. Essas medidas visam também aprimorar a qualidade da madeira serrada, uma vez que empenamentos, variação de medida (desbitolamento) e defeitos nas superfícies das peças serradas aumentam as perdas nas operações de acabamento. Pouco é abordado na literatura sobre a qualidade da superfície da madeira serrada, devido à escassez de métodos para a sua avaliação. Assim, o principal objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade da superfície serrada da madeira de *Eucalyptus grandis* através da aplicação do método da medição da altura da mancha das microesferas de vidro, após a classificação das toras, análise de defeitos das peças serradas e cálculo de rendimento. Para isso dividiu-se as toras em quatro classes de diâmetro e avaliou-se as suas conicidades, achatamentos e rachaduras de topo. O método de desdobro foi planejado com o auxílio do *software* Maxitora® - Optimber, comparando-se o rendimento planejado com o rendimento real. Para as avaliações de qualidade da madeira serrada foram medidos os empenamentos, desbitolamento e avaliadas as suas superfícies, mediante a aplicação de microesferas de vidro, com base no método E960-96 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM, 2001). Concluiu-se que: *i*) o formato das toras foi considerado como admissível, de acordo com os métodos usuais de classificação, entretanto as rachaduras de topo foram maiores do que os valores encontrados na literatura; *ii*) os empenamentos das peças serradas foram considerados de alta intensidade enquanto o desbitolamento das peças, com frequência de 17% das peças, foi classificado como admissível; o rendimento real, obtido no desdobro foi igual a 49,8%, o que, em média, foi 16,3% inferior ao planejado; *iii*) o método de avaliação da qualidade da superfície da madeira serrada pela altura da mancha de microesferas de vidro mostrou viabilidade, tendo revelado que as superfícies das peças serradas das partes mais externas das toras foram mais irregulares do que as partes removidas das posições intermediárias e internas das toras, independentemente das classes de diâmetro. Os valores da altura da mancha das microesferas de vidro foram iguais a 0,1896 mm; 0,1529 mm e 0,1466 mm para essas três posições respectivamente.

Palavras-chave: Serrarias. Rendimento. Qualidade superficial. Microesferas de vidro.

## ABSTRACT

The use of machinery and software is growing in sawmills in order to increase the sawing yield. These measures also seek to improve the quality of sawn timber, given that warping, size variation and defects in the surfaces of the sawn pieces increase losses during finishing operations. Little is discussed in the literature concerning the surface quality of lumber. This occurs due to the shortage of evaluation methods. Therefore, the main objective of this study was to evaluate the quality of the sawn surface of *Eucalyptus grandis* lumber, after log sorting, defect analysis of the sawn pieces and yield calculation. For this, logs were sorted into four diameter classes. We evaluated their tapers, flattening and end checks. The sawing method was planned by Maxitoras® software - Optimber, and was compared with the actual yield. The quality of the sawn timber was assessed by measuring warping and size variation, as well as evaluating their surfaces by applying glass microspheres, based on the E-965 (ASTM, 1996) method. We concluded that: i) the shape of the logs was considered acceptable, according to the usual classification methods, however, the end check values were higher than the values found in literature; ii) the warping of sawn pieces was considered of high intensity, while the size variation of the lumber, with frequency in 17% of the pieces, was classified as acceptable; iii) the actual yield obtained from sawing was equal to 49.8%, which on average was 16.3% lower than planned; iv) the method for evaluating surface quality of the lumber, by using the height of the stain glass microspheres, showed viability and that the surfaces of the sawn pieces of the outer parts of the log were rougher than the parts removed from the intermediate and internal positions of the logs, regardless of the diameter classes. The values of the height of the glass microsphere stains were equal to 0.1896 mm, 0.1529 mm and 0.1466 mm for these three positions, respectively.

Keywords: Sawmill. Yield. Surface quality. Glass microspheres.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Demonstração do procedimento de execução do ensaio da altura das microesferas de vidro .....	19
Figura 2	Tela de Cadastro de Produto do <i>Software</i> Maxitoras® - Optimber (2013) .....	23
Figura 3	Tela de otimização de desdobro do <i>Software</i> Maxitoras® - Optimber (2013) .....	23
Figura 4	Localização da Mesorregião Campo das Vertentes em Minas Gerais. ....	31
Figura 5	Fluxograma da cronologia dos métodos.....	32
Figura 6	Posição das faces analisadas na madeira.....	33
Figura 7	Foto microscópica das microesferas de vidro.....	34
Figura 8	Etapas do método de determinação da altura das microesferas de vidro aplicada na madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> . A Figura A são os materiais utilizados, a Figura B e C mostram o processo de formação da mancha de microesferas de vidro com espalhador e, na Figura D, é o demonstrativo de suas mensurações. ....	35
Figura 9	Esquema geral do processo de desdobro. Iniciou-se o desdobro com a extremidade cilíndrica da tora em contato com o carro porta toras, o processo seguiu até a retirada de todas as peças da primeira metade da tora, alternou-se a tora deixando a extremidade lisa em contato com o carro porta toras, o desdobro é finalizado quando sobra apenas a peça central.....	39
Figura 10	Indicações das especificações técnicas das lâminas de serra fita.....	40

Figura 11	Modelos de desdobro pré-determinados pelo software .....	43
Figura 12	Esquema da medição do encurvamento .....	46
Figura 13	Esquema da medição do arqueamento .....	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Dimensões das principais peças de madeira serrada.....	16
Tabela 2	Classificação da macrotextura de pavimentações .....	20
Tabela 3	Resultados obtidos de rendimento convencional e rendimento programado .....	24
Tabela 4	Rendimento convencional em relação à classe diamétrica .....	28
Tabela 5	Classificação e frequência dos diâmetros das toras de <i>Eucalyptus grandis</i> .....	37
Tabela 6	Especificações técnicas e medidas padronizadas para as serras fitas utilizadas no desdobro de toras de <i>E. grandis</i> de todas as classes diamétricas .....	41
Tabela 7	Classificação das peças serradas .....	42
Tabela 8	Rendimento e tipo de peças pré-determinado pelo <i>software</i> Maxitora® - Optimber (2013).....	44
Tabela 9	Classe de qualidade dos empenamentos .....	47
Tabela 10	Tolerâncias admitidas para desbitolamento na espessura das peças serradas.....	48
Tabela 11	Tolerâncias admitidas para desbitolamento na largura das peças serradas.....	48
Tabela 12	Resumo da análise de variância da altura da mancha das microesferas de vidro de acordo com a posição das peças central, interna e externa nas toras para as quatro classes de diâmetros estudadas.....	51
Tabela 13	Análise de comparação dos valores médios pelo teste de Scott-Knott para as alturas das manchas de microesferas de vidro na superfície da madeira serrada de <i>E. grandis</i> .....	51

Tabela 14	Resumo da análise de variância da altura das manchas das microesferas de vidro de com a variação das classes de diâmetro para as posições central, interna e externa estudadas.....	53
Tabela 15	Resumo da análise de variância da altura das manchas das microesferas de vidro de acordo com a ordem de processamento das toras das quatro classes de diâmetros estudadas.....	55
Tabela 16	Análise de comparação dos valores médios pelo teste de Scott-Knott para as alturas da mancha das microesferas de vidro na superfície da madeira serrada de <i>E. grandis</i> .....	55
Tabela 17	Resumo da análise de variância para as variáveis de conicidade, achatamento e rachaduras de topo para as quatro classes de diâmetros estudadas.....	57
Tabela 18	Resumo da análise de variância para as variáveis de rendimento, encurvamento e arqueamento para as quatro classes de diâmetros estudadas.....	60
Tabela 19	Análise de comparação dos valores médios do rendimento real pelo teste de Scott-Knott para quatro classes de diâmetros estudadas, valores do rendimento planejado e a variação entres os dois rendimentos.....	61
Tabela 20	Análise de comparação dos valores médios dos empenamentos (mm/m) pelo teste de Scott-Knott seguido de suas frequências (%) entre parênteses e os valores de frequência do desbitolamento para as quatro classes de diâmetros estudadas.....	63

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	13
1.1	Objetivo geral .....	14
1.2	Objetivos específicos .....	14
2	REVISÃO DE LITERATURA .....	15
2.1	Serrarias de <i>Eucalyptus</i> no Brasil .....	15
2.2	Qualidade da madeira serrada .....	17
2.3	Informatização de serrarias .....	21
2.4	Fatores inerentes ao desdobro e à aplicação de <i>softwares</i> .....	25
2.4.1	Características do gênero .....	26
2.4.2	Diâmetro da tora .....	27
2.4.3	Fatores tecnológicos .....	28
3	MATERIAL E MÉTODOS .....	31
3.1	Qualidade da superfície da madeira serrada .....	32
3.2	Avaliação das toras .....	36
3.2.1	Separação das classes diamétricas das toras .....	36
3.2.2	Cálculo do volume das toras .....	37
3.2.3	Cálculo da conicidade da tora .....	37
3.2.4	Avaliação das rachaduras de topo das toras .....	38
3.3	Produção de madeira serrada .....	39
3.3.1	processo de desdobro .....	41
3.3.2	Cálculo do rendimento .....	44
3.3.3	Avaliação dos empenamentos da madeira serrada .....	45
3.3.4	Avaliações das variações dimensionais da madeira serrada .....	47
3.4	Análise estatística dos dados .....	48
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	50
4.1	Avaliação superficial da madeira serrada .....	50
4.2	Avaliação das toras .....	56
4.3	Produção de madeira serrada .....	60
5	CONCLUSÃO .....	66
	REFERÊNCIAS .....	68

## 1 INTRODUÇÃO

Com a grande participação da matéria-prima nos custos, as serrarias no Brasil procuram cada vez mais o desenvolvimento científico e tecnológico para aumentar o rendimento no processo de desdobro. Para isso, a informática se tornou uma grande aliada, disponibilizando hoje diversos *softwares* que auxiliam as indústrias de madeira serrada em todos os setores.

Neste contexto, para facilitar a decisão do operador da serra principal no momento do primeiro corte e maximizar o desdobro, foi desenvolvido o Maxitora® - Optimber. Porém, com a complexidade do processo de produção de madeira serrada, devido à diversidade de produtos e maquinários, existem dificuldades para a aplicação desse programa.

Além da utilização dos *softwares*, existem outros modos de melhorar os rendimentos, uma delas é o aprimoramento da qualidade da madeira serrada, uma vez que empenamentos e variação de medidas das peças serradas (desbitolamento) aumentam as perdas nas operações de acabamentos. O controle e a redução desses defeitos têm impactos positivos nos custos das serrarias, pois esses problemas podem excluir peças após o processo de desdobro, além de impactar negativamente no rendimento, reduzir a produtividade e diminuir a vida útil das ferramentas.

Existem vários estudos que visam à maximização do rendimento. Porém a necessidade de melhorar o aproveitamento da matéria prima fez com que as pesquisas fossem além dos métodos convencionais. Desta maneira, buscou-se outras formas de aumentar o rendimento, entre elas a avaliação da qualidade da superfície da madeira serrada.

Pouco mencionado na literatura, esse parâmetro também reduziu os desperdícios no acabamento. Com a melhora na estética superficial do produto final, cria-se uma facilidade na venda e possibilita um aumento no valor

agregado das peças. Porém, existem dificuldades de avaliar a superfície da madeira serrada, principalmente pela escassez de métodos.

Os equipamentos utilizados para essa avaliação são sofisticados e muitas vezes inapropriados para o uso em serrarias, a procura de métodos simples e prático para ser aplicada no processo de produção foi além dos convencionais em madeira. Uma das possibilidades é o emprego do método da avaliação da macrotextura de pavimentos, conhecido como altura da mancha das microesferas de vidro.

### **1.1 Objetivo geral**

Avaliar a qualidade da superfície serrada da madeira de *Eucalyptus grandis* mediante a aplicação do método da altura da mancha das microesferas de vidro.

### **1.2 Objetivos específicos**

- a) Desenvolver o método da altura da mancha das microesferas de vidro para a aplicação em madeira;
- b) Avaliar a aplicação do *software* Maxitora® na estimativa do rendimento do desdobro;
- c) Avaliar a qualidade da tora e os defeitos que influenciam no rendimento;
- d) Avaliar o empenamento e desbitolamento das peças de madeira.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Serrarias de *Eucalyptus* no Brasil

No Brasil, os plantios de florestas começaram há mais de um século. Em 1903, o pioneiro Navarro de Andrade trouxe *Eucalyptus spp.* para a produção de madeira para dormentes das estradas de ferro.

Na década de 70, com os incentivos fiscais aos reflorestamentos, se intensificou o plantio de florestas no Brasil. De acordo com Carvalho e Soares (2012) a área do plantio de *Eucalyptus* no início dessa década foi triplicada.

Os últimos levantamentos feitos pela Indústria Brasileira de Árvore - IBÁ (2014) mostram que a área plantada de *Eucalyptus* chegou a 5,47 milhões de hectares, tendo um crescimento de 42% de 2006 até 2013. A maior parte das florestas desse gênero foi implantada para a utilização na produção de celulose e carvão vegetal.

A participação do *Eucalyptus* no mercado de madeira serrada é pequena, cerca de 10% do total (IBÁ, 2014). Isso se deve a uma série de preconceitos atribuídos a esta matéria-prima, muitos deles provenientes da utilização incorreta e da falta do desenvolvimento de tecnologias que permitam melhorar qualidade do produto final. Zobel (1981) aponta que as tensões de crescimento são um dos principais problemas enfrentados pelas indústrias deste setor.

A minimização desse problema está relacionada com o modo em que a tora é processada. Esse processo é chamado de desdobro, que pode ser definido como conversão de toras em produtos de superfícies planas com dimensões definidas por meio de processos mecânicos (PONCE, 1995).

Montagna et al. (1991) estudaram as influências do método de desdobro em relação aos efeitos das tensões de crescimento. Em seu estudo, os autores verificaram que o método de desdobro com uma serra de fita simples junto ao

carro porta toras, produziu tábuas com o valor do índice de rachaduras aproximadamente nove vezes maior, do que quando obtidas pelo método de desdobro de toras realizado por uma serra de fita geminada.

O processo de desdobro é realizado em duas operações. São chamadas de operações de desdobro principal, aquelas realizadas com equipamentos de grandes dimensões, tendo a função de reduzir as dimensões das toras em peças de mais fácil trabalhabilidade (ROCHA, 1999). Nessas serras, as toras são cortadas longitudinalmente e transversalmente.

As operações de desdobro secundárias são aquelas realizadas logo após o desdobro principal e visam à redução das dimensões das peças ou o dimensionamento final (ROCHA, 1999). As operações secundárias subdividem-se em reserra, refilo ou canteamento, destopo e reaproveitamento.

Os produtos finais recebem diversas denominações de acordo com suas dimensões como demonstra a norma NBR 7203 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2002) na Tabela 1.

Tabela 1 Dimensões das principais peças de madeira serrada

Produtos	Espessura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (m)
Pranchão	Maior que 70	Maior que 200	Variável
Prancha	40 – 70	Maior que 200	Variável
Viga	Maior que 40	110 – 220	Variável
Vigota	40 – 80	80 – 110	Variável
Caibro	40 – 80	50 – 80	Variável
Tábua	10 – 40	Maior que 100	Variável
Sarrafo	20 – 40	20 – 100	Variável
Ripa	Menor que 20	Maior que 100	Variável
Dormente	160	220	2,00 - 5,60
	170	240	2,80 - 5,60

Fonte: NBR 7203 (ABNT, 2002).

A complexidade para chegar a um produto final com alta qualidade e baixo custo é enorme e isso define a competitividade da serraria no mercado. A informatização nos processos é um auxílio para a obtenção desses objetivos.

## **2.2 Qualidade da madeira serrada**

No Brasil, o setor produtivo de madeiras e derivados enfrenta enormes dificuldades para tornar seus produtos competitivos. Problemas como parque tecnológico defasado, mão de obra desqualificada e organização industrial precária contribuem para este quadro (ALMEIDA, 1998).

Neste aspecto, diversos estudos para melhorar a eficiência produtiva nas indústrias do setor têm sido desenvolvidos, visando não somente o aumento da produção e da qualidade final do produto, mas também melhorar a gestão da empresa florestal.

O bom entendimento da matéria-prima é de fundamental importância na qualidade final do produto, pois comparado a materiais homogêneos, a madeira é anisotrópica e possui sua especificidade devido à sua constituição anatômica. Lucas Filho (2004) afirma que durante os processos de serragem, as células da madeira são cortadas pelas ferramentas, as quais abrem as cavidades dos diferentes tipos de células constituintes do tecido lenhoso. O tamanho dessas cavidades depende da espécie, do tipo de lenho e direção do corte.

A qualidade da madeira serrada é de enorme importância, pois será a matéria prima de indústrias de beneficiamento, como fábrica de móveis e pisos. Gerwing, Vidal e Uhl (2001) fizeram um estudo comparando serrarias de madeira nativa da floresta amazônica do Pará (com foco no setor moveleiro) em relação às serrarias no Sudeste dos Estados Unidos. Nesse estudo, foi relatado que a espessura da lâmina de corte das serrarias norte americanas é maior e mesmo assim são trocadas mais frequentemente, evitando que essas ferramentas

fiquem “cegas”, enquanto as serrarias brasileiras trocam as lâminas uma vez por turno, ou seja, no final do turno já não há mais afiação. Os autores concluíram que essa análise relacionada a outros fatores, como investimentos no armazenamento de toras e maquinários mais sofisticados, poderia aumentar a produção das serrarias do Pará de 12% até 18%.

O estudo de Gerwing, Vidal e Uhl (2001), como muitos outros, visa analisar o desgaste da ferramenta em relação à eficiência e o rendimento; o que não se relata é a qualidade superficial das peças produzidas. Esta madeira será encaminhada para uma empresa moveleira, a qual exige um bom acabamento do produto. Esse acabamento ocorre no final do processo (desengrosso e aplainamento) quando são corrigidos os defeitos, entre eles a textura causada pelos dentes da serra na superfície da madeira. Ou seja, melhorando a qualidade superficial da madeira serrada há um impacto positivo no rendimento final.

A textura superficial de um material, segundo Lemaster e Beall (1996), pode ser função da sua própria natureza e do processo de manufatura aplicado ao material, ou uma combinação dos dois. As características do processamento que afetam a textura superficial são: a imprecisão da máquina-ferramenta, as condições da ferramenta (afiação das lâminas) e a geometria de corte.

Como é sabido, a devida troca das lâminas de corte evita uma série de defeitos, melhora a qualidade superficial e aumenta a produção. Porém é difícil determinar o momento exato dessa troca. Em grandes indústrias existem sistemas de escaneamento a *laser*, que determina a qualidade da peça, porém, esse equipamento tem grande valor agregado, não sendo viáveis a pequenas e médias empresas (FUNCK et al., 1992).

Assim, justifica-se a importância deste estudo, o qual vê a necessidade de desenvolver uma metodologia simples para verificação da qualidade superficial da madeira serrada, para se evitar grandes desperdícios em seu acabamento e assim aumentar o rendimento e a eficiência do processo.

O ensaio de determinação da altura das microesferas de vidro é estudado em diversos locais no mundo para a avaliação da macrotextura de pavimentação. É conhecido em países de língua inglesa como *Sand Path*, francesa como *Hauter au Sabie*, espanhola como *Circulo de Arena* e no Brasil é conhecido como Mancha de Areia, Altura da Mancha de Areia ou Altura das Microesferas de Vidro.

A execução deste ensaio é regulamentada por duas normas, uma francesa P 98 216-1 (ASSOCIATION FRANÇAIS DE NORMALISATION - ANF, 1992) e outra americana E960-96 (ASTM, 2001), que respeitam os mesmos princípios e limites de classificação. Esse ensaio é usado para a determinação média da altura das manchas das microesferas de vidro, como demonstrado na Figura 1.

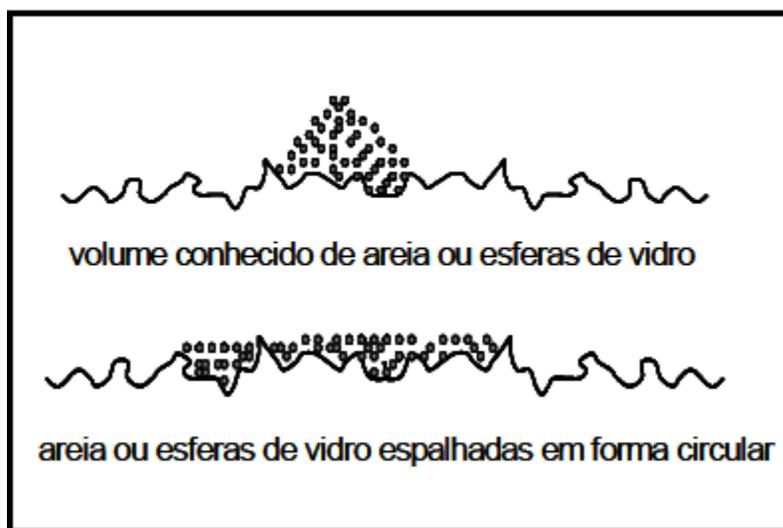


Figura 1 Demonstração do procedimento de execução do ensaio da altura das microesferas de vidro

Fonte: Aps (2007).

Na Tabela 2, é possível visualizar a classificação da macrotextura em cinco categorias de acordo com a norma P 98 216-1 (ANF, 1992), para condições de pavimentação. Não foram encontradas classificações de textura para superfície da madeira serrada.

Tabela 2 Classificação da macrotextura de pavimentações

Altura média de microesferas de vidro (mm)	Textura superficial
HS < 0,20	Muito fina
0,20 < HS < 0,40	Fina
0,40 < HS < 0,80	Média
0,80 < HS < 1,20	Grosseira
HS > 1,20	Muito grosseira

Fonte: P 98 216-1 (ANF, 1992) apud Ferreira (2002) p. 41.

Embora possa parecer um ensaio simplista, é fundamental o cumprimento da padronização exigida pela norma E960-96 (ASTM, 2001) em relação à microesfera de vidro. Moura, Bernucci e Ferreira (2004) estudaram a influência de diferentes tipos de areia nos resultados e indicaram a dificuldade de se realizar os ensaios com areias angulosas. Os autores concluíram que as alterações do tipo de areia são mais impactantes para pavimentos com textura fina em que a diferenças podem superar os 10%.

A repetitividade desta técnica em pavimentação foi discutida por Aps (2007) que mostra um estudo conduzido pela Nasa de Wambold e Henry (2002) em que foi comparada a variação de resultados em diferentes superfícies realizadas por dois operadores, com o mesmo material. A conclusão foi que os resultados apresentaram forte correlação, dando confiabilidade ao ensaio.

### 2.3 Informatização de serrarias

Para permanecerem competitivas no mercado, as indústrias de madeira serrada buscam o melhor aproveitamento da matéria-prima. Este é um de seus maiores desafios que exige o contínuo aperfeiçoamento de suas operações. Gomide (1973) aponta a necessidade de se estudar a situação de cada serraria, desde a matéria-prima a ser utilizada até o produto final.

Segundo Tsoumis (1991), o rendimento da conversão de madeira roliça em madeira serrada bruta está entre 30% a 70%, o restante resulta em serragem, cavacos, costaneiras, pequenas ripas etc. Outra observação importante feita pelo autor são os fatores que influenciam esta relação: as características da espécie, diâmetro da tora, máquinas de desdobro, *layout*, método de desdobro, habilidades e experiência dos operadores.

Visando facilitar e agilizar decisões, a informática tornou-se importante ferramenta para as serrarias. Nesse contexto, pode-se perceber uma tendência entre as empresas de se estruturarem operacional e administrativamente dentro de metodologia gerencial mais moderna, adotando novas tecnologias que permitam seu desenvolvimento e maior retorno financeiro.

Existem *softwares* que são utilizados indiretamente em serrarias, como por exemplo, o Turbo Pascal 7.0, que gera diversos modelos matemáticos em variados setores. Um estudo utilizando esse *software* foi o de Soares et al. (2003) que desenvolveram um modelo de otimização chamado BARTHO, que mostra a melhor destinação para as toras das florestas de múltiplos usos (combinação dos usos celulose, energia e serraria), diminuindo assim os riscos do empreendimento.

Outra aplicação de modelo matemático em serraria foi o de Caneppele e Seraphim (2014), em que aplicaram a Lógica “*Fuzzi*” no intuito de avaliar a eficiência do consumo de energia elétrica. Nesse trabalho, os autores

determinaram o uso racional da energia elétrica para todos os processos de produção da madeira serrada. Assim houve diminuição dos custos e benefícios ambientais.

Existem *softwares* comercializados especificamente para serrarias. O SIAS (Sistema Integrado de Administração de Serrarias), Kad Madeireira e SOFTClass - Programa para Madeireira. São exemplos de programas voltados para gestão de serrarias; as ferramentas de controle são: de fornecedores, clientes, estoque, produção, relatórios financeiros, manutenção de maquinários, entre outras. O *Saatech calculator* e Maxitoras são programas que seguem outra linha, sendo direcionados à otimização do desdobro.

O *Saatech calculator* (agora chamado *PowerSAW*), desenvolvido na Austrália e comercializado pela empresa *Saatech System*, constitui em um *software* para a simulação de desdobro de tora em serrarias. Os modelos de corte simulados podem ser vistos no sentido transversal e longitudinal, com seus volumes e rendimentos. O programa permite o adição de variáveis como conicidade, tortuosidade e medula.

O Maxitora foi desenvolvido no Brasil, comercializado pela Optimber Otimização e Informática Ltda, e é um programa semelhante ao *Saatech calculator*. Funciona no sistema operacional *Windows* e é constituído por duas telas: tela de “cadastro de produtos” e tela de “otimização de desdobro” (OPTIMBER, 2013).

Na tela de “cadastro de produtos” (Figura 2), o usuário pode introduzir informações como dimensões das peças, espessuras das serras e definir o percentual da casca. O programa utiliza duas maneiras de otimização, em volume ou valor agregado do produto final.

A tela “otimização do desdobro” (Figura 3) apresenta o modelo de corte com o seu respectivo rendimento, e uma caixa onde o usuário poderá alterar o diâmetro médio da tora de 120 mm até 600 mm. Nessa tela é encontrado o

comando “tipo de otimização” onde o usuário poderá optar por “Livre”, “Retangular” ou “Semibloco”, essa opção é definida de acordo com o tipo de maquinário no qual será executado o modelo de desdobro.

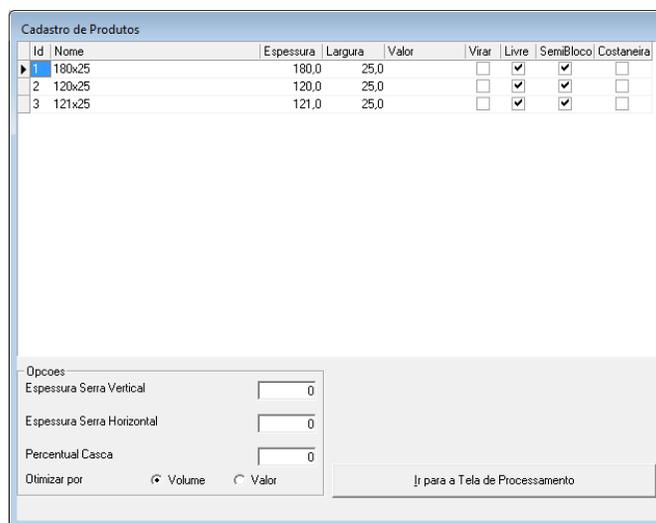


Figura 2 Tela de Cadastro de Produto do *Software Maxitoras®* - Optimber (2013)

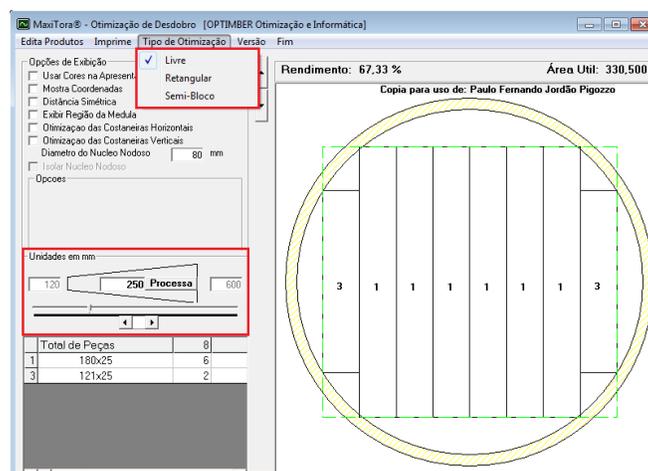


Figura 3 Tela de otimização de desdobro do *Software Maxitoras®* - Optimber (2013)

Murara Júnior, Rocha e Timofeiczuk Júnior (2005) comparou o rendimento das operações convencionais entre cinco classes diamétricas e, posteriormente, aplicou o *software* Maxitora (Tabela 3). O autor concluiu que todas as classes diamétricas tiveram um aumento em seus rendimentos.

Tabela 3 Resultados obtidos de rendimento convencional e rendimento programado

Classes	Diâmetro (cm)	Rendimento Convencional (%)	Rendimento Programado (%)
1	18 a 24	37,03	44,93
2	24,1 a 28	45,35	48,03
3	28,1 a 34	45,31	53,24
4	34,1 a 38	46,75	58,21
5	38,1 a 44	46,62	63,58

Fonte: adaptada de Murara Júnior, Rocha e Timofeiczuk Júnior (2005).

Manhiça, Rocha e Timofeiczuk Júnior (2012) comparou o rendimento, a eficiência e os custos médios de produção de uma serraria, também utilizando o *software* Maxitora em relação ao processo convencional. O autor relata que o rendimento programado aumentou, e com o maior aproveitamento das toras o custo de produção médio diminuiu; a inexperiência dos operadores foi um fator determinante na eficiência do processo programado, tendo assim valores menores que o do processo convencional.

Nunes, Arroyo e Leite (2012) elaboraram um modelo algorítmico para maximizar o rendimento em modelos de desdobro radiais e diminuir custos de produção. O modelo foi aplicado em situações reais e comparado com os dois *softwares* (Maxitora e *Sawmodel*). De acordo com os autores, o modelo proporcionou custos equivalentes ao do *software* *Sawmodel* e diminuiu 4,6% em relação ao *software* Maxitora, assim, concluindo que o modelo é aplicável.

A utilização de *software* e de modelos matemáticos não é apenas aplicada no aumento da produção e avaliações de custos. Um estudo feito por Do Canto et al. (2012), objetivou analisar o ruído ocupacional gerado na serraria, bem como os principais métodos de reduzi-lo, melhorando assim a qualidade de trabalho. Os autores avaliaram os pontos de ruídos e simularam mapas acústicos através de um *software*, a partir disso, utilizaram diversos métodos para a diminuição dos mesmos. Em relação ao custo/benefício, o melhor método seria o enclausuramento parcial e lembraram que o uso do IPI é indispensável.

É notória a informatização nos diversos setores de uma serraria, e a tendência é aumentar ainda mais o uso dessa ferramenta, abrindo espaço para novas pesquisas e desenvolvimento tecnológico.

#### **2.4 Fatores inerentes ao desdobro e à aplicação de *softwares***

Introduzido no país para a produção de lenha, com a função de alimentar as locomotivas, o *Eucalyptus* carrega até hoje a característica de madeira de baixa qualidade, que racha demasiadamente e que dificilmente poderia ser usada como madeira serrada.

Existem alguns fatores a ser analisados para se ter um bom desempenho no desdobro. O principal deles é a devida análise da espécie a ser processada, Anjos (2014) relata que os *Eucalyptus* têm suas peculiaridades e devem ser processados, como a maioria das madeiras, com cuidados no desdobro e na secagem.

A aplicação dos *softwares* no processo depende das avaliações da espécie e também dos fatores tecnológicos que serão ligados ao processo de desdobro de toras, que afetam não só o rendimento, como também a qualidade

da madeira serrada. Estes fatores englobam equipamentos e *softwares*, técnicas utilizadas no desdobro, *layout* e qualidade profissional dos operários.

#### **2.4.1 Características do gênero**

Grande parte dos problemas encontrados na madeira serrada de *Eucalyptus* é oriunda das tensões de crescimento. É quase unânime entre os pesquisadores a opinião de que esta é a origem dos principais defeitos encontrados neste gênero, e um dos principais obstáculos na otimização do rendimento de uma serraria.

Lima et al. (2004) definiram tensão de crescimento como resultados da ação de forças internas que atuam sobre os tecidos das árvores, de forma a mantê-las íntegras e eretas. Desta maneira, são distintas das tensões e deformações que ocorrem na madeira como resultado da secagem (DINWOODIE, 1966). São características do crescimento natural das árvores e ocorrem igualmente tanto em folhosas como em coníferas (JACOBS, 1945).

Archer (1986) relata que, segundo Jacobs (1938, 1939, 1945), as tensões de crescimento são geradas a cada nova camada de células formada, atuando longitudinal e transversalmente, a partir de uma tração nas proximidades da casca e uma compressão na região da medula.

O mecanismo que gera os defeitos na madeira a partir das tensões de crescimento foi explicado por Nicholson (1973), observando que a madeira submetida a esforços de tração teve uma tendência a comprimir, enquanto que a madeira de compressão teve uma tendência a se alongar. Desta forma, o autor verificou que as tábuas alterariam a sua forma, conforme a posição em que são retiradas do tronco.

Um defeito comum, e dos mais prejudiciais no processo de otimização, é a existência de rachaduras em forma de estrela nos topos das toras. O

mecanismo é descrito em Dinwoodie (1966), citado por Anjos (2014), que fundamentou as rachaduras nas diferenças entre as tensões internas da tora sobre os diferentes tecidos lenhosos.

O tempo para surgir estas rachaduras não é um fato determinado. Mallan (1988) relatou que para *Eucalyptus grandis* as rachaduras podem surgir imediatamente ou aparecer até três dias após a derrubada, e complementou que o surgimento das rachaduras nas toras tem origem nas tensões de crescimento, no entanto é potencializada pela perda de umidade.

As tensões de crescimento podem gerar rachaduras em toras e nas tábuas por ocasião do desdobro, podendo essas também apresentar arqueamento, encurvamento e encanoamento. Esses defeitos podem ser confundidos com defeito de secagem que os intensificam; de qualquer forma, afetam e dificultam os processos de produção da madeira serrada de qualidade, diminuindo o rendimento.

#### **2.4.2 Diâmetro da tora**

Em toras de reflorestamento, os diâmetros normalmente são pequenos, e mais homogêneos em relação às toras de madeira nativa, o que facilita a utilização de técnicas de otimização no desdobro. Dessa forma, uma classificação de toras eficiente e o estabelecimento de modelos de corte apropriados irão proporcionar bons resultados na serraria (LEITE, 1994).

O desdobro com toras de maiores diâmetros, em geral, produzem costaneiras mais espessas, sendo possíveis as operações de reaproveitamento, elevando o rendimento do processo. O que não ocorre em toras de menores diâmetros, com costaneiras pouco úteis, que são normalmente encaminhadas para a produção de subprodutos. Ponce (1984) relata que o rendimento cresce expressivamente quando são analisadas toras que variam no intervalo de 15 cm

até 30 cm de diâmetro, entretanto, a partir de 30 cm registra-se um crescimento menos acentuado. Além do baixo rendimento, o autor alerta em relação ao uso de toras de pequenas dimensões de espécies de rápido crescimento, devido à presença do lenho juvenil, pois limita o uso da madeira.

Outro estudo que complementa o aumento do rendimento em relação ao aumento do diâmetro foi o de Manhiça, Rocha e Timofeiczuk Júnior (2012). Como parte de seu estudo, verificou a operação convencional de uma empresa de pequeno porte, dividindo as toras em quatro classes diamétricas como demonstra a Tabela 4.

Tabela 4 Rendimento convencional em relação à classe diamétrica

Classes	Diâmetro (cm)	Rendimento (%)
1	24 a 26	44,96 a
2	26,1 a 28	48,33 ab
3	28,1 a 30	50,28 bc
4	30,1 a 33	52,41 c

Fonte: Adaptado de Manhiça, Rocha e Timofeiczuk Júnior (2012).

O autor concluiu que houve diferenças estatísticas entre as classes 1 e 3, classes 1 e 4 e entre as classes 2 e 4, tendo aumento de acordo com o aumento do diâmetro, e isso se deve ao melhor aproveitamento das costaneiras.

### 2.4.3 Fatores tecnológicos

A variedade de produtos em uma serraria leva a versatilidade dos equipamentos, visando executar diversas operações para efetuar os modelos de cortes determinados. Além dos ajustes dos equipamentos, Egas (2000) sustenta que a assistência técnica e manutenção regular dos mesmos podem efetivamente

evitar problemas técnicos precoces que afetam o rendimento e a qualidade da madeira serrada.

Vianna Neto (1984) apresentou vários processos ou métodos de desdobro que podem adaptar-se às mais diversas necessidades. De acordo com o autor, os métodos de desdobro podem ser em função dos anéis de crescimento obtendo-se cortes tangenciais, radiais e de transição tangencial e radial. Podem ser em função do eixo, paralelos ao eixo da tora ou paralelos à casca e também em função da sequência de cortes, em que se pode encontrar os cortes sucessivos, os cortes simultâneos e os cortes alternados.

Para facilitar este processo, Williston (1976) propôs a utilização de *scanner*, que faz uma varredura na geometria da tora (diâmetro, conicidade, comprimento e forma), enviando estas informações a um computador com um *software* de otimização de desdobro que faria o modelo de corte, ajustaria os maquinários e posicionaria a tora de forma mais apropriada para cada situação. De acordo com o autor, este método aumenta significativamente o rendimento e a eficiência do processo.

No Brasil, o grau de automação das serrarias é baixo. O desdobro de toras raramente é baseado em modelos de corte definidos, o que afeta o rendimento, a qualidade e aumenta o número de funcionários.

O treinamento e a qualidade de trabalho dos funcionários é um fator a ser considerado para o sucesso de uma serraria, levando em consideração a rotina árdua. Steele (1984) cita a fadiga, a falta de atenção, de conhecimento ou até mesmo de habilidade dos operadores como responsáveis a levá-los a decisões erradas e conseqüentemente a maiores perdas de madeira. Em serrarias convencionais, a forma e a maneira do processamento das toras dependem do operador da máquina principal, e, na maioria das vezes, ocorre de forma aleatória.

O correto posicionamento e orientação da tora para o desdobro são importantes, pois o corte inadequado pode significar grandes perdas em volume ou qualidade da madeira (ROCHA, 1999). Para evitar erros, o treinamento do profissional é fundamental, e para auxiliá-lo nas decisões, pode-se adaptar um *software* que definirá o modelo de corte para cada classe diamétrica (CARDOSO JUNIOR, 2008).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

As árvores utilizadas no presente estudo foram provenientes de um plantio de *Eucalyptus grandis*, com idade de 18 anos, pertencente à Universidade Federal de Lavras, na mesorregião do Campo das Vertentes, estado de Minas Gerais (Figura 4). Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante na região é do tipo subtropical úmido.

O espaçamento entre as árvores nos talhões foi de três por dois metros. A cronologia dos métodos está apresentada na Figura 5.

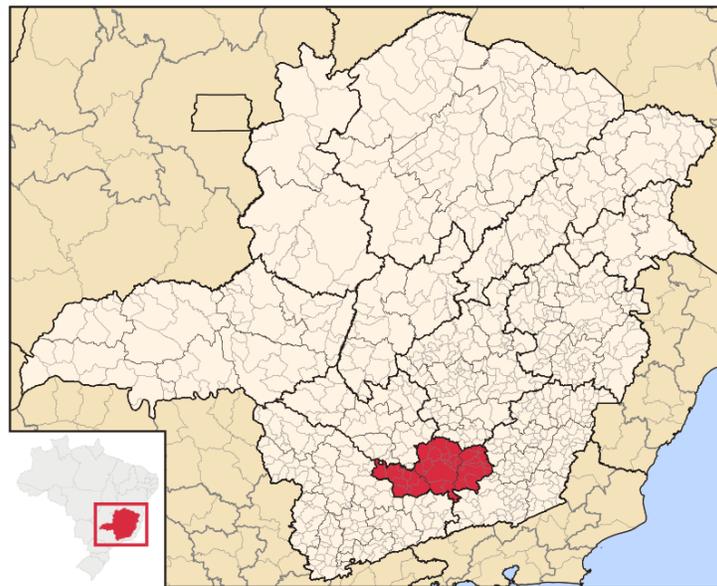


Figura 4 Localização da Mesorregião Campo das Vertentes em Minas Gerais.

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (1990).



Figura 5 Fluxograma da cronologia dos métodos

As árvores ficaram depositadas na floresta por oito meses, delas foram retiradas toras de três metros de comprimento ao longo de seu fuste. As toras foram transportadas para o pátio de toras da Unidade de Desdobro e Secagem da Universidade Federal de Lavras, onde foram feitas as avaliações de qualidade e separação em classes de diâmetro. Em seguida, o *software* Maxitora® - Optimber foi utilizado para a programação do desdobro. Ao final do desdobro foram avaliadas as madeiras serradas e posteriormente encaminhadas para a análise da qualidade da superfície.

### 3.1 Qualidade da superfície da madeira serrada

As peças de madeira serrada foram destinadas à determinação da altura da mancha das microesferas de vidro. O teste de qualidade superficial foi feito em três posições da tora, como exemplificado na Figura 6, em que as linhas

vermelhas representam as faces onde foram feitos os ensaios. As faces externas, internas e centrais são representadas, respectivamente, pelas letras “A”, “B”, “C”. Foram comparados os resultados entre as posições na tora e entre as classes diamétricas.

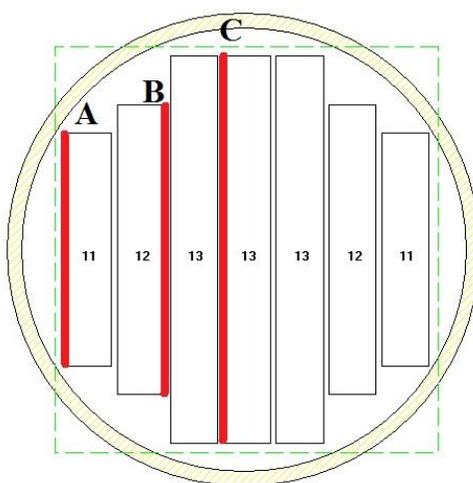


Figura 6 Posição das faces analisadas na madeira

O ensaio para determinação da altura da mancha das microesferas de vidro avalia a macrotextura e caracteriza a superfície da madeira serrada. É preconizado pela norma E960-96 (ASTM, 2001), e consiste em fazer o espalhamento circular de um volume conhecido de microesferas de vidro (chamado vulgarmente de areia) especificadas e padronizadas pela norma citada.

O procedimento consistiu em preencher os vazios da textura superficial da peça de madeira com um volume conhecido de microesferas de vidro limpas e secas, uniforme e de grãos arredondados, que passam na peneira de abertura 0,3 mm e ficam retidos na peneira de abertura 0,15 mm E960-96 (ASTM, 2001). A Figura 7 mostra os aspectos de uma porção de microesferas.

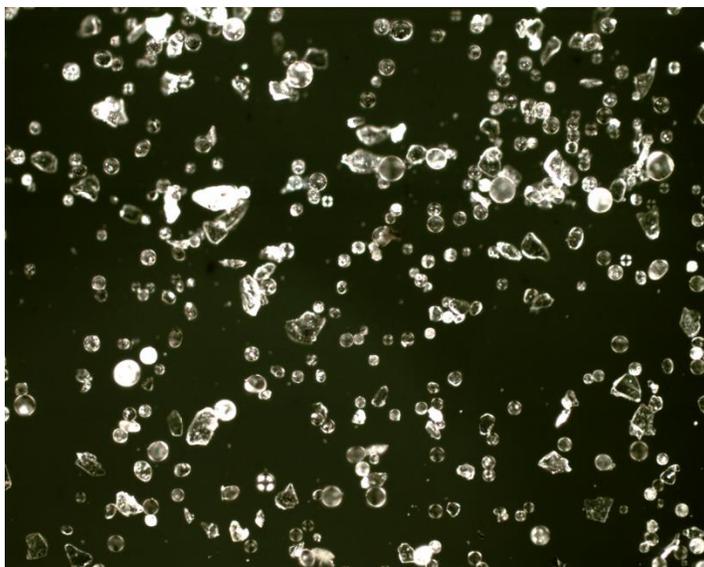


Figura 7 Foto microscópica das microesferas de vidro

A tábua, na qual foi realizado o ensaio, foi limpa e uma porção de microesferas foi espalhada sobre sua superfície seca por meio de um soquete, com movimentos circulares e uniformes, preenchendo os vazios da superfície, obtendo uma área final aproximadamente circular. Os materiais e o método empregado para medição do diâmetro do círculo da "mancha" são mostrados na Figura 8.



Figura 8 Etapas do método de determinação da altura das microesferas de vidro aplicada na madeira de *Eucalyptus grandis*. A Figura A são os materiais utilizados, a Figura B e C mostram o processo de formação da mancha de microesferas de vidro com espalhador e, na Figura D, é o demonstrativo de suas mensurações.

Material utilizado de acordo com as normas:

- a) Microesfera de vidro com granulometria padronizada (90% passada na peneira de nº 60 e retida na peneira de nº 80), e um grau de esfericidade de 90%;
- b) Soquete com base circular (64 mm de diâmetro) e revestida de borracha (1,5 mm de espessura);
- c) Régua para medir o diâmetro da mancha circular de microesfera de vidro com precisão em mm;
- d) Escova para limpeza da superfície.

Foram realizadas três medições de manchas em cada peça, distribuídas longitudinalmente. O resultado considerado é a média das alturas das três medições. O volume de microesfera de vidro variou de acordo com as dimensões de cada peça. Foram medidos os diâmetros dos círculos da “mancha” obtida, sendo necessário para calcular a sua área. A altura média da mancha de microesfera de vidro é expressa pelas equações:

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot \left( \frac{D1 + D2}{2} \right)^2$$

$$H MV = \frac{V}{A}$$

Em que:

H MV = altura da microesfera de vidro (cm);

V = volume da microesferas de vidro (cm<sup>3</sup>);

A = área da mancha circular das microesferas de vidro (cm<sup>2</sup>);

D1 = maior diâmetro;

D2 = diâmetro perpendicular a D1.

### 3.2 Avaliação das toras

Os parâmetros avaliados nas toras foram as classes diamétricas, volume, conicidade e rachaduras de topo.

#### 3.2.1 Separação das classes diamétricas das toras

O diâmetro sem casca das toras foi determinado pela média dos diâmetros do topo e da base. No pátio de toras, foram selecionadas 32 toras, e

agrupadas em quatro classes diamétricas (Tabela 5). A classificação foi baseada no diâmetro médio e no material disponível.

Tabela 5 Classificação e frequência dos diâmetros das toras de *Eucalyptus grandis*

Classes	Diâmetro (cm)	Numero de toras	Comprimento das toras (m)
1	16,0 a 19,0	8	2,90 a 3,10
2	19,1 a 22,0	8	2,90 a 3,10
3	22,1 a 25,0	8	2,90 a 3,10
4	26,0 a 29,0	8	2,90 a 3,10

### 3.2.2 Cálculo do volume das toras

Para o cálculo do volume das toras, foi aplicada a fórmula de volume de Smallian.

$$V_{Tora} = \frac{\pi}{40000} \cdot \left( \frac{D1 + D2}{2} \right)^2 \cdot L$$

Em que:

$V_{Tora}$  = volume da tora sem casca ( $m^3$ );

D1 = diâmetro do topo (cm);

D2 = diâmetro da base (cm);

L = comprimento da tora (m).

### 3.2.3 Cálculo da conicidade da tora

A conicidade das toras foi calculada conforme a equação:

$$C = \left( \frac{D2 - D1}{L} \right)$$

Em que:

C = conicidade cm/m;

D1 = diâmetro menor (cm);

D2 = diâmetro maior (cm);

L = comprimento da tora (m).

### 3.2.4 Avaliação das rachaduras de topo das toras

A medição das rachaduras de topo das toras é similar à sugerida por Bariska (1990). A equação apresenta o cálculo para cada seção transversal e será feita uma média determinando um índice de rachaduras nas extremidades da tora (IRET).

$$IRET = \left( \frac{\sum Ci}{D} \right)$$

Em que:

IRET = índice de rachaduras nas extremidades da tora;

D = diâmetro da seção transversal livre de rachaduras (cm);

Ci = comprimento das rachaduras (cm).

### 3.3 Produção de madeira serrada

O sistema de desdobro utilizado foi do tipo tangencial alternado, em que a tora é serrada em cortes paralelos resultando em peças com faces planas até uma determinada região, depois alternou-se a tora e seguiu o desdobro e posteriormente foram refiladas. Na Figura 9, é mostrado o esquema de desdobro utilizado.

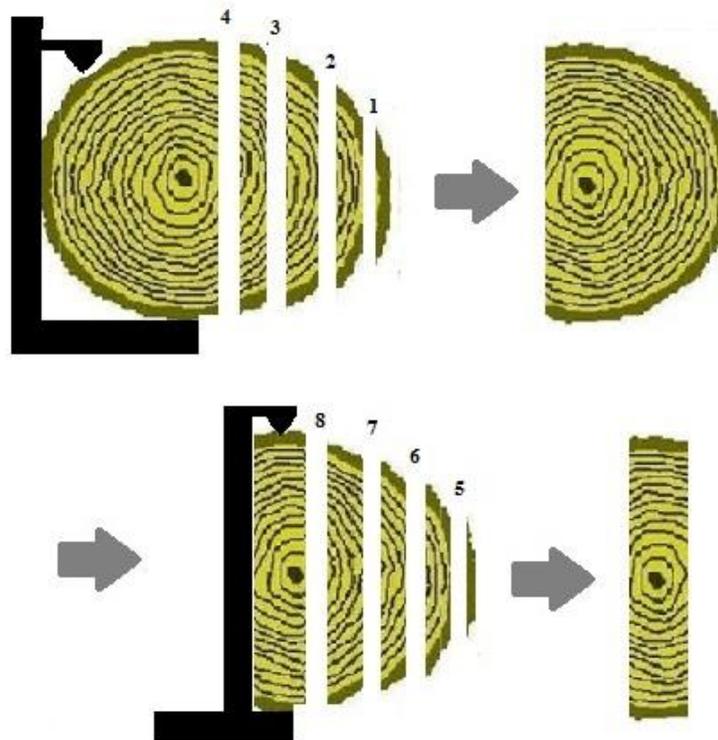


Figura 9 Esquema geral do processo de desdobro. Iniciou-se o desdobro com a extremidade cilíndrica da tora em contato com o carro porta toras, o processo seguiu até a retirada de todas as peças da primeira metade da tora, alternou-se a tora deixando a extremidade lisa em contato com o carro porta toras, o desdobro é finalizado quando sobra apenas a peça central.

Junto a um carro porta-toras, a tora passou pela serra fita simples, sendo submetida ao desdobro primário, resultando em peças com as espessuras definidas. Estas peças seguiram para refiladeira simples (uma serra circular e guia com ajustes de medidas) delimitando as larguras finais. Para possibilitar melhor controle na análise da superfície da madeira, as serras foram recalçadas e padronizadas como demonstra a Figura 10 e Tabela 6, para todas as classes diamétricas excluindo assim a variação das lâminas na textura superficial da madeira.

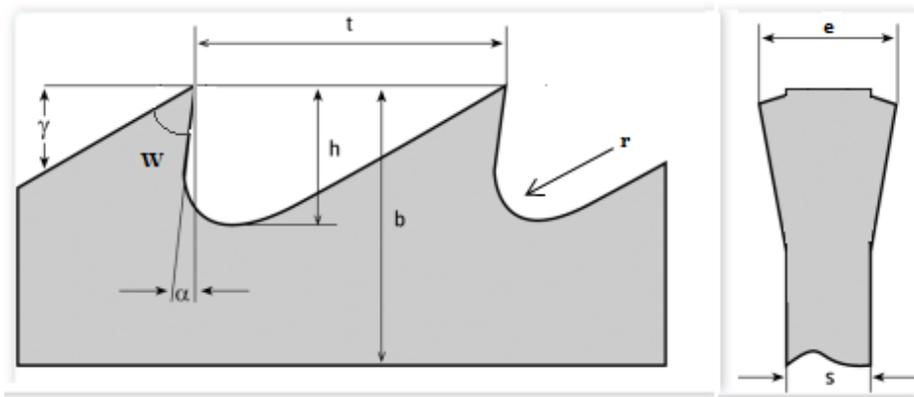


Figura 10 Indicações das especificações técnicas das lâminas de serra fita

Tabela 6 Especificações técnicas e medidas padronizadas para as serras fitas utilizadas no desdobro de toras de *E. grandis* de todas as classes diamétricas

Nome	Especificações	Medidas
t	Distancia entre os dentes (Passo)	44 mm
h	Altura dos dentes	13 mm
b	Altura da serra	114 mm
r	Raio do gume	3,5 mm
$\alpha$	Ângulo de corte	12°
$\gamma$	Ângulo livre	24°
w	Ângulo do dente	54°
s	Espessura da serra	1,04 mm
e	Espessura do recalque	2,40 mm

### 3.3.1 processo de desdobro

As dimensões das peças foram baseadas na norma NBR 14806 (ABNT, 2002) demonstradas na Tabela 7.

Tabela 7 Classificação das peças serradas

Nome	Tipo	Espessura (mm)	Largura (mm)
Ripas	1,5 × 5,0	15	50
	2,5 × 5,0	25	50
Tábua	2,5 × 12,0	25	12
	2,5 × 15,0	25	15
	2,5 × 20,0	25	20
	2,5 × 25,0	25	25
	2,5 × 30,0	25	30
Caibro	5,0 × 5,0	50	50
	5,0 × 7,0	50	70
Prancha	5,0 × 11,0	50	110
	5,0 × 15,0	50	150
Especiais	6,0 × 20,0	60	200
	8,0 × 20,0	80	200
	8,0 × 25,0	80	250
	8,0 × 30,0	80	300

Fonte: adaptada da Norma NBR 14806 (ABNT, 2002).

Foram definidos pelo *software* Maxitora®- Optimber, para cada classe diamétrica, o modelo de corte, o rendimento e a linha do primeiro corte (Figura 11).

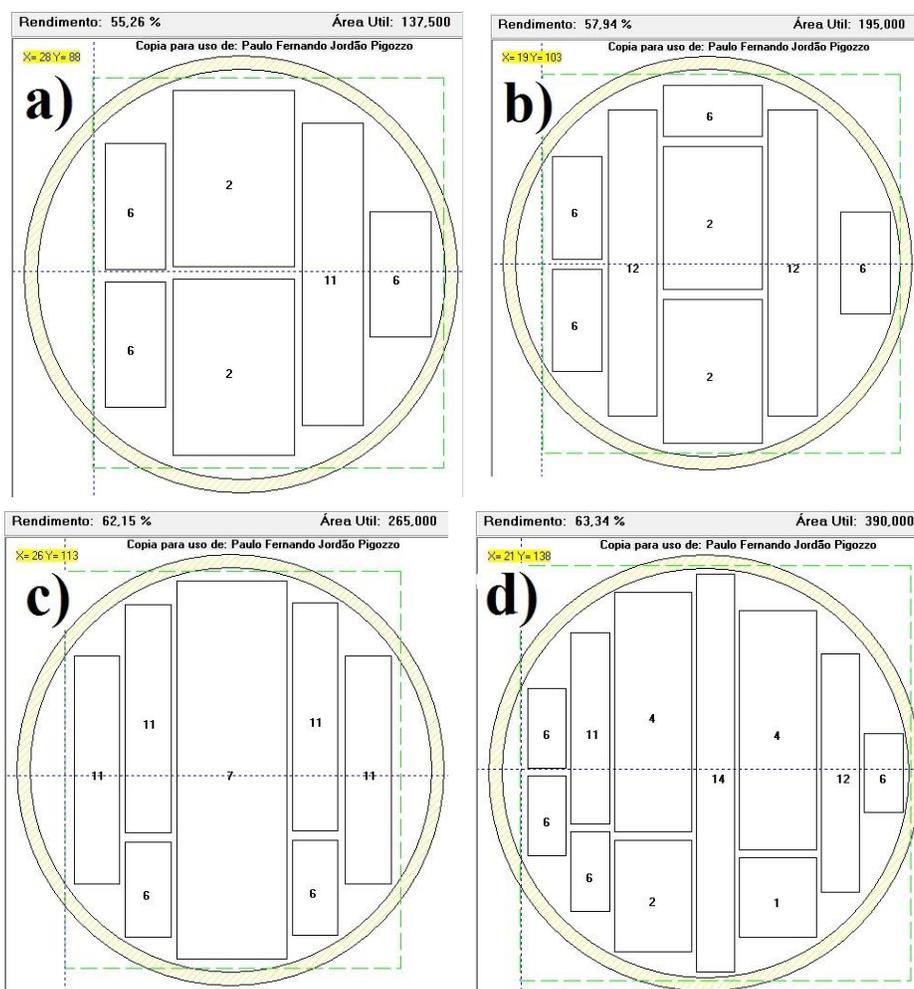


Figura 11 Modelos de desdobro pré-determinados pelo software

Fonte: Optimber (2013)

Os quatro modelos demonstrados na Figura 11, representados pelas letras “a”; “b”; “c”; “d” são respectivos para as classes diamétricas 1 (16,0 cm a 19,0 cm); classe 2 (19,1 cm a 22,0 cm); classe 3 (22,1 cm a 25,0 cm); classe 4 (26,0 cm a 29 cm). O *software* calculou os rendimentos e determinou os tipos de

peças que foram processadas e suas dimensões. Essas informações estão apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 Rendimento e tipo de peças pré-determinado pelo *software* Maxitora® - Optimber (2013)

Classe	Rendimento (%)	Peça	Quantidade	Total de Peças
1	55,26	Tábua 2,5 × 12	1	6
		Caibro 5,0 × 7,0	2	
		Ripa 2,5 × 5,0	3	
2	57,94	Caibro 5,0 × 7,0	2	8
		Tábua 2,5 × 12,0	2	
		Ripa 2,5 × 5,0	4	
3	62,15	Especiais 6,0 × 20,0	1	7
		Ripa 2,5 × 5,0	2	
		Tábua 2,5 × 12,0	4	
4	63,34	Caibro 5,0 × 5,0	1	11
		Caibro 5,0 × 7,0	1	
		Tábua 2,5 × 12,0	1	
		Tábua 2,5 × 15,0	1	
		Tábua 2,5 × 25,0	1	
		Prancha 5 × 15,0	2	
		Ripa 2,5 × 5,0	4	

### 3.3.2 Cálculo do rendimento

Foi calculado o volume individual das peças, somando-as obteve-se o volume total por tora, demonstrado, respectivamente, pelas equações a seguir:

$$V_i = l.g. e . L$$

$$V_{ms} = \sum V_i$$

Em que:

$V_i$  = volume individual da peça ( $m^3$ );

$V_{ms}$  = volume total de madeira serrada por tora ( $m^3$ );

$lg$  = largura da peça serrada (m);

$e$  = espessura da peça serrada (m);

$L$  = comprimento da peça serrada (m).

O rendimento foi calculado dividindo o volume total de madeira serrada por tora pelo volume da tora, demonstrado pela Equação (6):

$$R(\%) = \left( \frac{V_{ms}}{V_{tora}} \right) \cdot 100$$

Em que:

$R(\%)$  = rendimento de madeira serrada (porcentagem);

$V_{ms}$  = volume total de madeira serrada de uma tora ( $m^3$ );

$V_{tora}$  = volume da tora ( $m^3$ ).

### 3.3.3 Avaliação dos empenamentos da madeira serrada

Os empenamentos se caracterizam como desvios que podem ocorrer nas peças de madeira em relação ao seu plano principal. Foram medidos os seguintes tipos de empenamentos de acordo com a norma NBR 14806 (ABNT, 2002): encurvamento (Figura 12) e arqueamento (Figura 13). Seguindo, respectivamente, as equações.

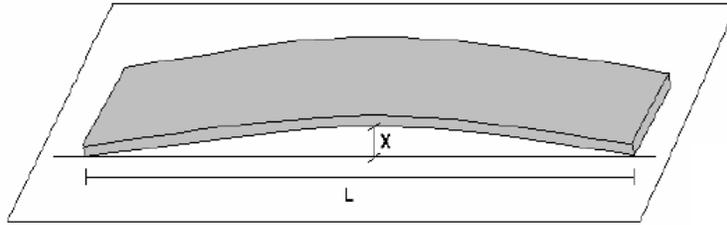


Figura 12 Esquema da medição do encurvamento

Fonte: Norma NBR 14806 (ABNT, 2002).

$$E = \frac{X}{L}$$

Em que:

E = Encurvamento da tábua (mm/m);

X = flecha máximo (mm);

L = Comprimento da tábua (m).

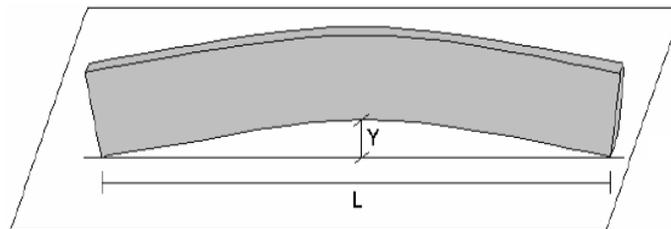


Figura 13 Esquema da medição do arqueamento

Fonte: Norma NBR 14806 (ABNT, 2002).

$$A = \frac{Y}{L}$$

Em que:

A = Arqueamento da tábua (mm/m);

Y = Flecha máximo (mm);

L = Comprimento da tábua (m).

Nas classificações dos empenamentos, baseadas na norma NBR 14.806 (ABNT, 2002), as intensidades e a frequência dos defeitos foram divididas por classes como demonstra a Tabela 9.

Tabela 9 Classe de qualidade dos empenamentos

	Quantidade Admissível	Medidas
1ª classe	10% do lote	5 mm/m
2ª classe	10% do lote	10 mm/m
3ª classe	20% do lote	10 mm/m
4ª classe	Sem limites	15mm/m
5ª classe	Sem Limites	Sem Limites

Fonte: Norma NBR 14806 (ABNT, 2002)

### 3.3.4 Avaliações das variações dimensionais da madeira serrada

Conhecido também como desbitolamento, as classificações das dimensões das peças foram baseadas na norma NBR 14806 (ABNT, 2002), sendo determinado o máximo de variação permitido, na espessura e na largura, para que não seja considerado como defeito como demonstrado nas Tabelas 10 e 11. A variação mencionada na norma foi considerada tanto para a sobremedida quando para a submedida. A norma limita que no máximo 25% do lote estejam com defeito.

Tabela 10 Tolerâncias admitidas para desbitolamento na espessura das peças serradas

Espessura Nominal (mm)	Tolerância (mm)
10 a 22	2
25 a 32	3
36 a 40	4
40 a 50	5
63 e acima	7

Fonte: Adaptada da norma NBR 14806 (ABNT, 2002).

Tabela 11 Tolerâncias admitidas para desbitolamento na largura das peças serradas.

Largura Nominal (mm)	Tolerância (mm)
25 a 76	4
100 a 150	7
175 e acima	8

Fonte: Adaptada da norma NBR 14806 (ABNT, 2002).

### 3.4 Análise estatística dos dados

As análises foram feitas com o delineamento inteiramente casualizado, a partir do *software* Sistema de Análise de Variância – SISVAR (FERREIRA, 2011). Foram utilizados quatro tratamentos, um tratamento para cada classe de diâmetro, as variáveis respostas testadas foram achatamentos, conicidades, rachaduras em toras, rendimentos, empenamentos da madeira serrada. Houve oito repetições para cada tratamento. No caso da análise da altura das microesferas de vidro, foi utilizado o mesmo delineamento, porém a variável resposta foi a posição da peça na tora, no qual houve três tratamentos (central, interna e externa) e oito repetições cada tratamento.

Posteriormente para complementar a análise de variância foi realizado o teste de comparação de médias de Scott-Knott a 5% de probabilidade. O modelo adequado para este experimento foi dado por:

$$Y_{ijk} = m + A_i + B_j + AB_{ij} + e_{ijk}$$

Em que:

$Y_{ijk}$  = observação feita em cada parcela para a classe  $i$ , variável  $j$  na repetição  $k$ .

$i = 1, 2, \dots, 4$  (classes diamétricas);  $j = 1e2$  (variável);  $k =$  repetição;

$m$  = média geral;

$A_i$  = efeito do  $i$ -ésimo nível do fator A (classe diamétrica);

$B_j$  = efeito do  $j$ -ésimo nível do fator B (variável);

$AB_{ij}$  = efeito de interação classes diamétricas x variável;

$e_{ijk}$  = erro experimental.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Avaliação superficial da madeira serrada**

Existem diversos métodos e equipamentos para produzir madeira serrada, o que torna essa operação complexa. A produção de madeira serrada gera superfícies irregulares, ainda inacabadas para várias demandas, devido ao tipo de madeira utilizada e ao tipo de serra utilizada, velocidade de corte e de alimentação, geometria dos dentes e suas afiações. Além disso, para alguns usos finais, a madeira é aplicada com a qualidade com que sai da serra, a exemplo de muitas peças de uso estrutural. Em razão disso, é importante que peças serradas apresentem qualidade superficial mais próxima da exigida nas operações subsequentes pelas quais vai passar. Assim, a avaliação dessa qualidade superficial é importante para diminuir os desperdícios no acabamento, contribuindo também para aumentar o rendimento.

Os resultados da análise de variância dos resultados da determinação da altura da mancha das microesferas de vidro para as diferentes posições na tora para cada classe de diâmetro são observados na Tabela 12. Posteriormente, para complementar essa análise de variância é apresentada a avaliação das médias pelo teste de Scott-Knott na Tabela 13.

Tabela 12 Resumo da análise de variância da altura da mancha das microesferas de vidro de acordo com a posição das peças central, interna e externa nas toras para as quatro classes de diâmetros estudadas

Fv	GL	QM			
		Classe 1 (16,0 a 19,0)	Classe 2 (19,1 a 22,0)	Classe 3 (22,1 a 25,0)	Classe 4 (26,0 a 29,0)
Posição das peças	2	0,0047*	0,0053*	0,00067*	0,00990*
Erro	21	0,0013	0,0011	0,000227	0,002136
Total corrigido	23	-	-	-	-
CV(%)	-	20,16	19,72	10,28	28,89
Média geral	-	0,1808	0,1659	0,1465	0,16
Número de observações	24	-	-	-	-

\* significativo ao nível de 5% de significância.

Tabela 13 Análise de comparação dos valores médios pelo teste de Scott-Knott para as alturas das manchas de microesferas de vidro na superfície da madeira serrada de *E. grandis*

Posição das Peças	Alturas da mancha de microesferas de vidro (mm)			
	Classe 1 (16,0 a 19,0)	Classe 2 (19,1 a 22,0)	Classe 3 (22,1 a 25,0)	Classe 4 (26,0 a 29,0)
Central	0,1617 a	0,1477 a	0,1408 a	0,1363 a
Interna	0,1726 a	0,1539 a	0,1418 a	0,1432 a
Externa	0,2083 b	0,1963 b	0,1571 b	0,2004 b

\* significativo ao nível de 5% de significância.

De acordo com a Tabela 12, todas as classes mostram diferenças significativas entre as peças centrais e internas com as peças externas. Em todos os casos, a maior média é para as peças externas conforme a Tabela 14. De acordo com a norma E960-96 (ASTM, 2001), quanto maior for a altura das manchas, mais grosseira é a textura, assim, pior é a qualidade da superfície da madeira serrada.

Com esses resultados, é possível afirmar que as peças retiradas das extremidades necessitam de mais acabamentos, o que eleva os custos de produção e aumenta a manutenção dos maquinários. Em maioria, as peças das extremidades são de aproveitamento de costaneiras, sendo peças de pequenas dimensões e baixo valor agregado. Isso se torna relevante ao avaliar a viabilidade do investimento de uma linha de aproveitamento de costaneiras, em empresas que utilizam sistemas de cortes semelhantes ao deste estudo.

É importante ressaltar que a espécie da madeira, o método de desdobro e os maquinários utilizados têm um impacto significativo nesses resultados. Esses fatores podem justificar a diferença de qualidade superficial de acordo com a posição da peça.

Outra análise que pode ser feita em relação a essa diferença é que as peças são retiradas em planos de corte diferentes. No caso da peça externa, seria madeira com corte tangencial, a peça intermediária tem a tendência de ser madeira de transição radial para tangencial e a peça central tem a tendência de ser radial. Silva, Lima e Trugilho (2007) avaliando tábuas usinadas de *Eucalyptus grandis* com 24 anos de idade, também observaram que, para alguns tipos de usinagem, as peças provenientes da região mais externa das toras apresentaram a pior qualidade superficial.

Além da posição das peças na tora, para aperfeiçoar uma técnica é importante avaliar outras variáveis. Assim, foi possível analisar a qualidade da superfície com a variação das classes de diâmetro. Esses valores são observados na Tabela 14.

Tabela 14 Resumo da análise de variância da altura das manchas das microesferas de vidro de com a variação das classes de diâmetro para as posições central, interna e externa estudadas

Fv	GL	QM		
		Central	Interna	Externa
Classe de diâmetro	2	0,00981 <sup>n.s.</sup>	0,00161 <sup>n.s.</sup>	0,00487 <sup>n.s.</sup>
Erro	21	0,00098	0,00077	0,00204
Total Corrigido	23	-	-	-
CV(%)	-	21,32	18,11	24,55
Média Geral	-	0,01466	0,1529	0,1630
Nº de observações	24	-	-	-

\* significativo ao nível de 5% de significância.

De acordo com a análise apresentada na Tabela 14, não houve diferenças significativas na qualidade superficial entre as classes diamétricas, ou seja, os diâmetros das toras não influenciaram os resultados. O alto coeficiente de variação é devido à heterogeneidade da qualidade superficial das peças. A maior média geral foi observada para as peças externas, o que significa que essa posição tem a pior qualidade superficial.

Existe uma tendência que as classes de menores diâmetros fiquem no alto do fuste das árvores, e as de maiores diâmetros são madeiras da base, assim se tem uma propensão de que não haja variação de qualidade superficial no sentido longitudinal da árvore.

Essa informação mostra que não há necessidade de uma separação de diâmetros para o melhoramento da superfície do produto final, o que facilita o meio industrial, pois são poucas as serrarias que fazem essa classificação. Entretanto, sabe-se que esta variável influencia em outros fatores dentro da produção de madeira serrada, então essa separação fica a critério das indústrias.

Com metodologia simples de avaliação da superfície da madeira serrada, é possível realizar estudos com o intuito de aprimorar as operações, procurando melhores resultados de qualidade no desdobro. Para as indústrias, o

aperfeiçoamento de técnicas e maquinários é essencial, pois visa o desenvolvimento tecnológico, a qualidade em seus produtos, a redução de custos e uma melhor posição no mercado.

Uma das dificuldades do aperfeiçoamento dessa técnica é que ainda não há uma classificação padronizada para os valores de qualidade da superfície de madeira serrada. Entretanto, é possível fazer alguma analogia com os valores de macrot textura de pavimentações que é descrita na norma E960-96 (ASTM, 2001). Desta forma, de acordo com os resultados obtidos (Tabela 12) apenas os valores das peças das extremidades da classe 1 e 4, foram consideradas como Fina, pois ultrapassam 0,20 mm, as outras peças são classificadas como Muito Fina por estarem abaixo de 0,20 mm de altura das microesferas de vidro.

Foram apresentados resultados de qualidade das peças no sentido radial da tora, também apresentando a qualidade por classe de diâmetros, seguindo uma tendência longitudinal ao fuste da árvore. A análise apresentada na Tabela 15 é a variação da altura da mancha de microesferas de vidro por ordem de processamento em que as toras foram serradas. Posteriormente, para complementar as análises de variância, são apresentadas médias avaliadas pelo teste de Scott-Knott na Tabela 16.

Tabela 15 Resumo da análise de variância da altura das manchas das microesferas de vidro de acordo com a ordem de processamento das toras das quatro classes de diâmetros estudadas

Fv	GL	QM			
		Classe 1 (16,0 a 19,0)	Classe 2 (19,1 a 22,0)	Classe 3 (22,1 a 25,0)	Classe 4 (26,0 a 29,0)
Ordem de processamento	7	0,0024 <sup>n.s.</sup>	0,0062*	0,0041*	0,0114*
Erro	64	0,0021	0,0016	0,0006	0,0024
Total Corrigido	71	-	-	-	-
CV(%)	-	25,61	23,87	17,38	30,32
Média geral	-	0,1808	0,1684	0,1441	0,1600
Número de observações	72	-	-	-	-

\* significativo ao nível de 5% de significância.

Tabela 16 Análise de comparação dos valores médios pelo teste de Scott-Knott para as alturas da mancha das microesferas de vidro na superfície da madeira serrada de *E. grandis*

Ordem	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
1 <sup>a</sup>	0,1842 a	0,1829b	0,1282 a	0,1390 a
2 <sup>a</sup>	0,1790 a	0,1714 b	0,1557 b	0,1303 a
3 <sup>a</sup>	0,1883 a	0,1475 a	0,1289 a	0,2416 b
4 <sup>a</sup>	0,1591 a	0,1843 b	0,1568 b	0,1370 a
5 <sup>a</sup>	0,1665 a	0,1377 a	0,1895 c	0,1560 a
6 <sup>a</sup>	0,1770 a	0,1635 b	0,1445 b	0,1445 a
7 <sup>a</sup>	0,1818 a	0,1659 b	0,1339 a	0,1698 a
8 <sup>a</sup>	0,1808 a	0,1740 b	0,1347 a	0,1629 a

\* significativo ao nível de 5% de significância.

De acordo com as Tabela 15 e 16, observa-se que não houve diferenças significativas nas toras da classe 1. Na classe 2, as toras que foram serradas em 2<sup>a</sup> e 5<sup>a</sup> ordens diferenciaram das demais toras. Na classe 3, houve diferenças em 3 grupos, sendo que a 1<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup>, 7<sup>a</sup> e 8<sup>a</sup> toras, por ordem de processamento, diferenciaram-se das toras de 2<sup>a</sup>, 5<sup>a</sup>, 6<sup>a</sup> e 7<sup>a</sup> ordens, assim como a 5<sup>a</sup> tora

diferenciou-se de todas as outras. Na classe 4, houve diferença da 3ª tora em relação às demais toras dessa classe diamétrica.

Os altos coeficientes de variação e a diferença entre as médias das peças centrais e intermediárias com as peças externas justificam as diferenças significativas dentro das classes. Outro fator a ser considerado é a heterogeneidade dos elementos anatômicos da madeira e principalmente, a possível inconstância da velocidade de corte, que causa variação entre os intervalos e tamanhos dos picos e vales das ranhuras deixadas no processo de corte pela serra fita.

Não foi visto variação na altura da mancha de microesferas de vidro linear entre a 1ª e a 8ª toras processadas. Assim, não foi identificada uma variação de afiação da serra ao longo do processamento das toras. Essa informação confere confiabilidade aos resultados apresentados, lembrando que a qualidade superficial da madeira está diretamente relacionada com as características da lâmina de serra.

#### **4.2 Avaliação das toras**

Os defeitos e as imperfeições relacionados à qualidade da tora são intrínsecos à matéria-prima vegetal, embora seja possível reduzi-los com técnicas de melhoramento e manejo florestal. Com esses resultados, procura-se contribuir para o desenvolvimento dos processos e das tecnologias com o intuito de minimizar a interferência no rendimento e na qualidade da madeira serrada. Foram efetuadas as mensurações de conicidade, achatamento, rachaduras e a classificação diamétrica. Os valores médios estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 Resumo da análise de variância para as variáveis de conicidade, achatamento e rachaduras de topo para as quatro classes de diâmetros estudadas

Fv	GL	QM		
		Conicidade (%)	Achatamento (%)	Rachadura
Classe de diâmetro	3	0,017532 <sup>n.s</sup>	19,499086 <sup>n.s</sup>	0,2261 <sup>n.s</sup>
Erro	28	0,073029	10,120858	0,1057
Total corrigido	31	-	-	-
CV(%)	-	31,60	3,41	24,54
Média geral	-	0,8552	93,35	1,3251
N <sup>o</sup> de observações	32	-	-	-

\* significativo ao nível de 5% de significância.

O primeiro requisito para a utilização do *software* Maxitora® - Optimber é a separação dos diâmetros das toras em classes diamétricas. Isso é importante, pois os modelos de corte calculados pelo programa se baseiam nos diâmetros médios, que quanto mais próximos são os diâmetros das toras, mais precisa será a maximização do rendimento (CARDOSO JUNIOR, 2008).

Segundo a norma brasileira de classificação de toras (INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL - IBDF, 1984), a conicidade e o encurvamento são considerados defeitos apenas quando apresentam valores superiores a 3 cm/m e, o achatamento, apenas quando atingem valor inferior a 90%. De acordo com o estudo de Polli et al. (2006), a conicidade e o achatamento variam devido à genética da espécie, idade e cultivo da floresta. O autor afirma que as mudas geneticamente modificadas, clonadas e com os devidos manuseios tendem a ter menores variações nessas características.

Ao analisar a Tabela 17 verifica-se que os resultados de conicidade não foram significativamente diferentes entre as classes diamétricas. O coeficiente de variação foi alto, o que demonstra heterogeneidade dessa característica nas

toras. A média geral foi de 0,85 cm/m, abaixo de 3 cm/m, que é considerado o valor limite pela norma de classificação de toras de folhosas (IBDF, 1984).

Estudos feitos por Vale et al. (2002) analisaram a conicidade de diferentes clones de *Eucalyptus* com 60 meses de idade, em toras com 6 metros de comprimento. Não encontraram efeito significativo das diferentes alturas de desrama sobre a conicidade das árvores. Ressaltaram ainda, que o melhoramento genético teve interferência positiva nos resultados. Hornbureg et al. (2012) dividiram toras de diferentes espécies de *Eucalyptus* em três classes de diâmetros, no intuito de produzir madeira maciça. Para o *Eucalyptus grandis*, os autores tiveram média geral de 0,90 cm/m e não encontraram diferenças significativas entre as classes. Os valores obtidos neste estudo foram próximos aos encontrados na literatura.

Segundo Scanavaca Júnior e Garcia (2003), quando a árvore é jovem é mais cônica e se torna mais cilíndrica com o aumento da idade. Neste estudo, as árvores são da mesma idade, isso pode justificar o motivo de não ter variação da conicidade nas amostras.

Os valores de achatamento não variaram de acordo com as classes diamétricas como demonstra a Tabela 17. Os valores não ultrapassaram o limite estipulado pela norma de classificação de toras de folhosas (IBDF, 1984) que define um valor máximo de 10% de achatamento. O coeficiente de variação foi considerado baixo, o que mostra uma homogeneidade do defeito nas amostras.

Pires (2000) não encontrou efeitos de tratamentos de desrama sobre o achatamento da tora de *Eucalyptus grandis* avaliados aos 84 meses de idade, em Dionísio, MG. Polli et al. (2006) também não encontrou diferenças de achatamento em clones de *Eucalyptus* de 55 meses de idade.

Rosso e Ninin (1998) encontraram que o espaçamento influencia no tamanho dos galhos e aumenta a perda da verticalidade do fuste, o qual pode determinar a excentricidade da medula, achatamento e as tortuosidades das toras.

As toras utilizadas neste estudo foram retiradas de uma plantação com espaçamento padronizado de 3 m x 2 m. E como relatado, a falta de desrama não influenciou o achatamento. Com isso, os resultados deste trabalho seguem a mesma tendência da literatura.

As médias de rachaduras de topo não tiveram diferenças significativas como demonstrado na Tabela 17. O coeficiente de variação foi alto, o que foi causado pela grande variação nos índices de rachadura. A média geral foi de 1,3251 (adimensional).

Santos, Geraldi e Garcia (2004) ao avaliarem as rachaduras de topo das toras de *Eucalyptus grandis* proveniente de 41 progênies de polinização aberta, utilizando o mesmo método deste estudo, observaram que o coeficiente de variação foi considerado alto (20,30%) e a média geral foi de 0,938 (adimensional).

A variação nos índices de rachadura foi alta, principalmente porque as amostras não tiveram apenas influência das tensões de crescimento, uma vez que as toras estiveram depositadas na floresta por oito meses, ocorrendo tensões de secagem no material. Com isso, se intensificaram as rachaduras e suas variações.

Ferreira et al. (2004) avaliaram os efeitos de três métodos de desdobro no rendimento e qualidade da madeira serrada de 33 toras provenientes de 11 clones de híbrido do gênero *Eucalyptus*. Nesse estudo, os autores mensuraram a largura da rachadura de topo das toras, relatando que houve diferenças entre as amostras, a média foi de 0,97 mm e houve altos coeficientes de variação.

Esse defeito, além de afetar o rendimento, repercute na qualidade da madeira serrada. Crêspo (2000) estudou a tensão de crescimento e suas consequências no desdobro do *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. Uma de suas conclusões foi que houve correlação entre rachadura de topo das toras e extremidade de tábua. A autora afirmou que 77% das dimensões de rachaduras nas tábuas de *Eucalyptus saligna* estão correlacionadas com as rachaduras de

extremidade da tora, enquanto para o *Eucalyptus grandis*, essa correlação foi de apenas 21%. Isto indica que, para o *Eucalyptus grandis*, a maior parte das rachaduras das tábuas ocorre durante o processo de desdobro.

### 4.3 Produção de madeira serrada

É conhecida a complexidade da produção de madeira serrada; a prova disso é o grande número de estudos sobre o assunto. Esta etapa do estudo se limitou em determinar três parâmetros: os rendimentos, os empenamentos e os desbitolamentos. Os resultados da análise de variância para essas variáveis são apresentados na Tabela 18. O processo foi baseado no modelo de desdobro gerado pelo *software* Maxitora® - Optimber, explicado no item 4.2.2.1, que gerou o rendimento planejado quando comparado ao rendimento real e às diferenças entre as classes que podem ser observadas na Tabela 19.

Tabela 18 Resumo da análise de variância para as variáveis de rendimento, encurvamento e arqueamento para as quatro classes de diâmetros estudadas

Fv	GL	QM		
		Rendimento (%)	Encurvamento (mm/m)	Arqueamento (mm/m)
Classe de diâmetro	3	192,49*	16,55*	15,4*
Erro	28	65,15	0,97	1,43
Total corrigido	31	-	-	-
CV(%)	-	16,21	15,00	24,45
Média geral	-	49,80	6,56	4,89
Nº de observações	32	-	-	-

Nota: Os valores do quadrado médio (QM) que apresentarem asterisco obtiveram diferenças significativas ao nível de 5% de significância.

Tabela 19 Análise de comparação dos valores médios do rendimento real pelo teste de Scott-Knott para quatro classes de diâmetros estudadas, valores do rendimento planejado e a variação entres os dois rendimentos

Classe	Rendimento		
	Planejado (%)	Real (%)	Variação (%)
1	55,26	42,99 a	22,20
2	57,94	50,34 b	13,12
3	62,15	53,12 b	14,53
4	63,34	53,63 b	15,33

Nota: Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de significância.

De acordo com as Tabelas 18 e 19, houve diferenças significativas entre as amostras. A média geral do rendimento real entre as classes foi de 49,80%. Observa-se na Tabela 19 que o valor de rendimento apresentado pela classe 1 destacou-se em relação às classes 2, 3, e 4, principalmente pela baixa medida de seu diâmetro, uma vez que para esta classe não se pode aproveitar as costaneiras, o que influenciou negativamente no rendimento.

Os resultados apresentados na Tabela 19 são de rendimento bruto, ou seja, não foram utilizados processos como desengrosso ou plainas (processos de beneficiamento), para preservar as superfícies de contato com a serra fita, que foram usadas para análise da qualidade da superfície. Sendo assim, não se eliminou nenhuma peça com defeitos, apenas peças inutilizáveis. Isso fez com que as peças com rachaduras fossem reduzidas em suas larguras com o intuito de excluir o defeito, em casos mais severos houve o descarte.

O achatamento e a conicidade foram iguais para todas as classes e não foram maiores que o limite estipulado pela norma de classificação de toras de folhosas (IBDF, 1984), porém esses valores influenciaram no rendimento. A prova disso é a variação entre o rendimento planejado e o rendimento real (Tabela 19), sendo que o rendimento planejado é determinado por um modelo de

corte que o *software* não considera nem o achatamento nem a conicidade das toras. Outro fator a ser considerado foi que quanto maior foi a variação entre os diâmetros da tora com o diâmetro médio de sua classe, menos se cumpriu o modelo de corte e assim, ficou mais difícil a aproximação dos rendimentos.

Silva et al. (2014) observaram fortes relações entre o aumento do diâmetro e o aumento do rendimento, mas afirmaram que isso depende principalmente da qualidade das toras processadas.

Rocha e Tomaselli (2001) separaram toras de *Eucalyptus grandis* em duas classes de diâmetros, fina (de 19 cm a 24 cm) e grossa (de 25 cm a 30 cm) e obtiveram rendimento médio de 43,19% em corte tangencial. Apesar dos diâmetros das toras, espécie e o modo de corte serem parecidos, os resultados deste estudo foram maiores do que os valores encontrados por Rocha e Tomaselli.

Por outro lado, Hornbureg et al. (2012) dividiram diversas espécies de *Eucalyptus* em três classes de diâmetros (14,0 – 19,9; 20,0 – 24,9; acima de 25), o método de desdobro foi a formação de blocos, resserrados em serra circular múltipla e o aproveitamento de costaneiras em serra fita horizontal. Os autores observaram que para o *E. grandis*, o rendimento médio foi de 50,89%, sendo que para a menor classe de diâmetro o rendimento foi de 48,98%. Os valores apresentados por Hornbureg et al. (2012) foram maiores que os deste estudo. Essa diferença foi principalmente por terem obtido maiores rendimentos na classe de menor diâmetro.

Em complemento à avaliação do rendimento bruto, foram feitas as medições de empenamentos nas tábuas. Os principais defeitos avaliados foram arqueamento e encurvamento. Defeitos de encanoamento, não ocorreram, o que já era esperado, pois este defeito está associado, entre outros motivos, às diferenças de contração de secagem, entre os planos tangencial e radial. A análise de variância pode ser observada na Tabela 18, e o teste de médias é

observado na Tabela 20, ainda, foram apresentadas as frequências de desbitolamentos.

Tabela 20 Análise de comparação dos valores médios dos empenamentos (mm/m) pelo teste de Scott-Knott seguido de suas frequências (%) entre parênteses e os valores de frequência do desbitolamento para as quatro classes de diâmetros estudadas

Classe	Encurvamento	Arqueamento	Desbitolamentos (%)
1	6,93 b (68,18)	6,74 a (61,36)	22,73
2	8,44 a (82,69)	5,08 b (36,54)	9,62
3	5,55 c (81,25)	3,53 b (64,06)	14,06
4	5,34 c (76,39)	4,21 b (63,89)	21,92

Nota: Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de significância.

De acordo com a Tabela 20, os defeitos de encurvamento tiveram diferenças significativas. A média geral das classes foi 6,56 e o coeficiente de variação é considerado alto.

Observa-se na Tabela 20 que houve diferença para os índices de encurvamento entre as classes 1 e 2, entre a classe 1 e classes 3, 4, assim como entre a classe 2 e classes 3, 4, sendo que a maior média é para a classe 2 e a menor para as classes 3 e 4. A menor frequência foi para classe 1, na qual foram observados 68,18% das peças com defeito e a maior frequência foi para a classe 2 com 82,69%.

Para os defeitos de arqueamento, também houve diferenças significativas entre as classes como demonstrado na Tabela 18. A média geral das classes foi 4,89 e o coeficiente de variação foi ainda maior em relação ao encurvamento (24,45%).

Observando a Tabela 20, a classe 1 diferenciou-se das classes 2, 3 e 4, obtendo a maior média (6,74 mm/m). A menor frequência das peças com defeito foi a classe 2 com 36,54% e a classe 3 teve a maior frequência com 64,06%.

Rocha e Tomaselli (2001) estudando a mesma espécie de *Eucalyptus* obtiveram índices menores que o apresentado para ambos os empenamentos. Os valores médios apresentados pelos autores para encurvamento são 2,26 mm/m com uma frequência de 59% de peças com defeito e para o arqueamento são 0,15 mm/m com uma frequência de 6,22%.

A diferença dos valores apresentados na Tabela 20 com os valores de Rocha e Tomaselli (2001) pode ser justificada pela coleta dos dados deste estudo terem sido feitas três dias após o desdobro e principalmente pelas toras terem ficado depositadas na floresta por oito meses antes de serem serradas. Isso pode ter ocasionado a influência de contrações devido à secagem, porém não a ponto de ocasionar encanoamento. De acordo com os autores, diferente deste estudo, os dados foram coletados logo em seguida ao desdobro, que foi feito com toras totalmente verdes.

De acordo com os critérios da norma NBR 14806 (ABNT, 2002) para defeitos de empenamentos, algumas classes diamétricas poderiam ser enquadradas na classificação 1 de qualidade (Tabela 9), pois apresentaram valores abaixo de 5 mm/m, porém devido às frequências dos defeitos serem altas, todas as classes se enquadraram na classificação 4 (índices de 1 a 5, sendo 1 como o melhor).

A variação de medidas pelas peças serradas, conhecido também como desbitolamento também foi avaliada. De acordo com a norma NBR 14806 (ABNT, 2002), a frequência dos defeitos não pode ultrapassar 25% do lote, sendo considerados desbitolamento grandes variações dimensionais em relação às medidas nominais, como visto no item 3.2.4.

De acordo com o que foi demonstrado na Tabela 20, nenhuma classe ultrapassou 25% de defeito, como exige a norma de requisitos de madeira serrada de *Eucalyptus*, sendo que a classe 1 apresentou a maior frequência de desbitolamento com 22,73% e a menor frequência foi a classe 2 com 9,62%.

Para que não houvesse o desbitolamento, as peças usinadas deveriam ser nas mesmas medidas que a peça pré-determinada no modelo de corte, o que raramente ocorreu. O motivo mais frequente foi que os diâmetros das toras não eram iguais ao diâmetro médio utilizado para determinação do método de desdobro. Essa diferença refletiu principalmente nas variações das dimensões das últimas peças serradas (as peças centrais), explicado no item 3.2. A imprecisão da operação de refilamento também foi impactante, pois houve muita variação na guia que define a largura das peças.

## 5 CONCLUSÃO

O método de determinação da altura da mancha das microesferas de vidro foi satisfatório. Esses resultados mostraram que as peças externas têm qualidade superficial inferior às peças internas e centrais. Foi observado também, que não há diferenças na qualidade superficial com a variação de diâmetro, mostrando uma tendência de não haver variação da qualidade na superfície da madeira serrada ao longo do fuste da árvore.

A Aplicação do Maxitora® - Optimber foi positivo no auxílio do operador para execução do desdobro, e o modelo de corte foi fundamental para desenvolvimento do projeto. Algumas das características do *software* impediram que o rendimento planejado fosse igual ao rendimento real, entre elas o de não considerar defeitos de conicidade e achatamento das toras. Outra consideração pertinente é que, quanto maior for a diferença entre o diâmetro da tora e o diâmetro médio da classe, maior será a dificuldade da execução do modelo de corte, ou seja, o ideal seria que cada tora tivesse seu próprio modelo de corte.

A conicidade e o achatamento se mantiveram dentro dos limites estipulados pela norma de classificação de toras de folhosas (IBDF, 1984). As rachaduras de topo refletiram nas peças serradas de tal forma que foram diminuídas as larguras no intuito de excluir o defeito; em casos mais severos excluiu-se as peças. Todos os defeitos das toras refletiram negativamente no rendimento do desdobro, distanciando o rendimento real do rendimento planejado.

Os empenamentos das peças serradas foram de baixas intensidades, porém as frequências foram muito altas, classificando os lotes como de baixa qualidade. O desbitolamento por outro lado se manteve nos limites estabelecidos estipulados pela norma ABNT. Os principais causadores dos empenamentos

foram o método de corte e o período em que as toras ficaram depositadas na floresta antes de serem serradas.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. R. B. Reengenharia florestal: necessidade perante a evolução do mercado consumidor. **Revista da Madeira**, São Paulo, n. 21, p. 9, mar./abr. 1998.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E960-96**: standard test method for measuring pavement macro texture depth using a volumetric technique. West Conshohocken, 2001. v. 04.03, 5 p.

ANJOS, R. A. M. **Estudo sobre a qualidade de madeira serrada de três espécies de eucalipto**. 2014. 150 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

APS, M. Classificação da aderência pneu-pavimento pelo índice combinado IFI - International Friction Index em seções testes da Via Anchieta. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 38.; ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA, 12., 2007, Manaus. **Anais...** Manaus, 2007. 1 CD-ROM.

ARCHER, R. R. **Growth stresses and strains in trees**. Berlim: Springer-Verlag, 1986. 240 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7203**: madeira serrada e beneficiada. Rio de Janeiro, 2002. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14806**: madeira serrada de eucalipto - requisitos. Rio de Janeiro, 2002. 11 p.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. **NF P 98 216-1**: essais relatifs aux chaussées – détermination de la macrotecture – partie 1: essai de hauteur au sable vraie. France, 1992. 7 p.

BARISKA, M. A method for predicting timber quality in eucalypts. In: MANAGEMENT OF EUCALYPTUS GRANDIS IN SOUTH AFRICA, 1990, Stellenbosch. **Proceedings...** Stellenbosch: Southern African Institute of Forestry, 1990. p. 215-228.

CANEPPELE, F. L.; SERAPHIM, O. J. Comportamento do fator de demanda como instrumento de eficiência energética em serrarias do sudoeste paulista. In: CONGRESSO ONLINE DE AGRONOMIA, 2., 2014, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 2014. Disponível em: <[http://www.convibra.com.br/upload/paper/2014/92/2014\\_92\\_8806.pdf](http://www.convibra.com.br/upload/paper/2014/92/2014_92_8806.pdf)>. Acesso em: 23 nov. 2014.

CARDOSO JUNIOR, A. A. **Otimização do desdobro de *Pinus* com uso de programa otimizador de desdobro.** 2008. 120 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

CARVALHO, K. H. A.; SILVA, M. L.; SOARES, N. S. Efeito da área e da produtividade na produção de celulose no Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 36, n. 6, p. 1119-1128, nov./dez. 2012.

CRÊSPO, E. A. **Tensões de crescimento e suas consequências, controláveis e não controláveis, no desdobro e secagem do *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*.** 2000. 119 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2000.

DINWOODIE, J. M. Growth stress in timber: a review of literature. **Forestry**, Oxford, v. 39, n. 2, p. 162-170, 1966.

DO CANTO, L. F. et al. Análise de ruído ocupacional dentro de uma serraria em Rodon do Pará. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA ACÚSTICA, 24., 2012, Belém. **Anais...** Belém: UFP, 2012. p. 72-79.

EGAS, A. F. **Noções de produtos de madeira serrada.** Maputo: UEM, 2000. 98 p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.

FERREIRA, P. N. **Avaliação da macrotextura de trechos pavimentados de rodovias estaduais situadas na região insular do município de Florianópolis.** 2002. 161 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

FERREIRA, S. et al. Influência de métodos de desdobro tangenciais no rendimento e na qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* spp. **Revista Cerne**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 10-21, jan./jun. 2004.

FUNCK, J. W. et al. Measuring surface roughness on wood: a comparison of laser scatter and stylus tracing approaches. **Proceedings of SPIE**, Boston, v. 1821, p. 173-184, May 1992.

GERWING, J. J.; VIDAL, E.; UHL, C. **O rendimento no processamento de madeira no estado do Pará**. Belém: Imazon, 2001. 38 p. (Série Amazônia, 18).

GOMIDE, J. L. **Serraria**. Viçosa, MG: UFV, 1973. 119 p.

HORNBUREG, K. F. et al. Qualidade das toras e da madeira serrada de seis espécies de eucalipto cultivadas no litoral de Santa Catarina. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 96, p. 463-471, dez. 2012.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORE. **Anuário estatístico, no base**: 2013. Brasília, 2014. v. 1, 100 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Norma para medição e classificação de toras de madeiras de folhosas**. Brasília, 1984. 42 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Divisão brasileira em mesorregiões e microrregiões geográficas**. Rio de Janeiro, 1990. v. 1, 135 p.

JACOBS, M. R. **The fibre tension of woody stems with special reference to the genus eucalyptus**. Canberra: Commonwealth Forestry Bureau, 1938. 39 p. (Bulletin Commonwealth Forestry Bureau, 24).

JACOBS, M. R. **The fibre tension of woody stems with special reference to the genus eucalyptus**. Canberra: Commonwealth Forestry Bureau, 1939. 36 p. (Bulletin Commonwealth Forestry Bureau, 22).

JACOBS, M. R. **The growth stresses of wood stems**. Canberra: Commonwealth Forestry Bureau, 1945. 64 p. (Bulletin Commonwealth Forestry Bureau, 28).

LEITE, H. G. **Conversão de troncos em multiprodutos da madeira, utilizando programação dinâmica**. 1994. 230 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1994.

LEMASTER, R. L.; BEALL, F. C. The use of an optical profilometer to measure surface roughness in medium density fiberboard. **Forest Products Journal**, Madison, v. 46, n. 11/12, p. 73-80, 1996.

LIMA, J. T. et al. Deformações residuais longitudinais decorrentes de tensões de crescimento em eucaliptos e suas associações com outras propriedades. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 107-116, jan./fev. 2004.

LUCAS FILHO, F. C. **Análise da usinagem da madeira visando a melhoria de processos em indústrias de móveis**. 2004. 160 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

MALAN, F. S. Genetic variation in some growth and wood properties among 18 full-subfamilies of South African grown *Eucalyptus grandis*: a preliminary investigation. **South African Forestry Journal**, Pretoria, v. 146, n. 1, p. 38-43, 1988.

MANHIÇA, A. A.; ROCHA, M. P. da; TIMOFEICZYK JÚNIOR, R. Rendimento no desdobro de Pinus sp. utilizando modelos de corte numa serraria de pequeno porte. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 2, p. 409-420, abr./jun. 2012.

MONTAGNA, R. G. et al. Desdobro de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden visando diminuir o efeito das tensões de crescimento. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 3, n. 2, p. 181-190, dez. 1991.

MOURA, E.; BERNUCCI, L. L. B.; FERREIRA, P. N. Estudo do efeito da variação da granulometria da areia na determinação da macrotextura de pavimentos. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 35., 2004, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2004. 1 CD-ROM.

MURARA JÚNIOR, M. I.; DA ROCHA, M. P.; TIMOFEICZYK JÚNIOR, R. Rendimento em madeira serrada de Pinus taeda para duas metodologias de desdobro. **Floresta**, Curitiba, v. 35, n. 3, p. 473-483, set./dez. 2005.

NICHOLSON, J. E. Effect of storage on growth stress in mountain ash logs and trees. **Australian Forestry**, Queen Victoria, v. 36, n. 2, p. 114-124, 1973.

NUNES, G. V. P.; ARROYO; J. E. C.; LEITE, H. G. Um algoritmo para geração de padrões de corte otimizados para o corte radial de toras em serrarias. In: CONGRESSO LATINO-IBEROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN OPERATIVA, 16.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 44., 2012, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2002. p. 3373-3384.

OPTIMBER. **Otimização e informática.** Disponível em: <<http://www.optimber.com.br/software.html>>. Acesso em: 23 ago. 2013.

PIRES, B. M. **Efeito da desrama artificial no crescimento e qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* para serraria e fabricação de móveis.** 2000. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.

POLLI, H. Q. et al. Qualidade da madeira em clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden submetido a desrama artificial. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 4, p. 557-566, jul./ago. 2006.

PONCE, R. H. Madeira serrada de eucalipto: desafios e perspectivas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: IPEF/IPT/IUFRO/LCF-ESALQ-USP, 1995. p. 55-74.

PONCE, R. H. Produção de madeira de qualidade para processamento mecânico. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 9, n. 34, p. 9-13, 1984.

ROCHA, M. P.; TOMASELLI, I. Efeito do modelo de corte nas dimensões de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 8, n. 1, p. 94-103, jan./dez. 2001.

ROCHA, M. P. **Desdobro primário da madeira.** Curitiba: Fupef, 1999. 69 p. (Série Didática, n. 2).

ROSSO, F.; NININ, P. Variabilidad de los defectos de trozas de la especie teca (*Tectona grandis* Lf) en diferentes densidades arbóreas, en la unidad experimental de la reserva forestal de Ticoporo, Barinas-Venezuela. **Revista Forestal Venezolana**, Merida, v. 42, n. 2, p. 103-112, jul./dic. 1998.

SANTOS, P. E. T.; GERALDI, I. O.; GARCIA, J. N. Estimates of genetic parameters of wood traits for sawn timber production in *Eucalyptus grandis*. **Genetics and Molecular Biology**, São Paulo, v. 27, n. 4, p. 567-573, 2004.

SCANAVACA JÚNIOR, L.; GARCIA, J. N. Rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 63, p. 32-43, jun. 2003.

SILVA, C. R. P. et al. Lumber yield in function of diameter classes and quality standards of logs. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 44, n. 4, p. 709-714, Oct./Dec. 2014.

SILVA, J. R. M.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F. Usinabilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* em diferentes regiões da medula à casca. **Revista Cerne**, Lavras, v. 13, n. 1, p. 25-31, jan./mar. 2007.

SOARES, T. S. et al. Otimização de multiprodutos em povoamentos florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 811-820, nov./dez. 2003.

STEELE, P. H. **Factors determining lumber recovery in sawmilling**. Madison: United States Department of Agriculture, Forestry Service, 1984. 8 p. (Genetics technical Report, FPL-39).

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood**: structure, properties, utilization. New York: Chapman Hall, 1991. 494 p.

VALE, R. S. et al. Efeito da desrama artificial na qualidade da madeira de clones de eucalipto em sistema agrossilvipastoril. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 3, p. 285-297, maio/jun. 2002.

VIANNA NETO, J. A. Considerações básicas sobre desdobro de *Pinus* spp. **Silvicultura**, São Paulo, v. 9, n. 34, p. 15-19, 1984.

WAMBOLD J. C.; HENRY J. J. **NASA Wallop Tie/Runway Friction Workshop**: 1993-2002. Montreal: TDC, 2002. 155 p. (Publication, TP14190E).

WILLISTON, E. M. **Lumber manufacturing**: the design and operation of sawmill and planes mills. São Francisco: M. Freeman, 1976. 512 p.

ZOBEL, B. Wood quality from fast grow plantations. **Tappi Jornal**, Atlanta, v. 64, n. 1, p. 120-135, 1981.