

## **EFEITO DO MOVIMENTO DA ÁGUA NO SURGIMENTO DE RACHADURAS NA SEÇÃO TRANSVERSAL DE TORETES DE *EUCALYPTUS***

**Thiago Magalhães do Nascimento, UFMG, thiagom.n@outlook.com**

**Thiago Campos Monteiro, UFMG, tcmforest@gmail.com**

**Edy Eime Pereira Baraúna, UFMG, ebarauna@ica.ufmg.br**

**Rayssa Stéfany Ramos Machado, UFMG, rayssastefany00@gmail.com**

**Rayane Ferreira Nunes, UFMG, raymengo@yahoo.com**

### **Resumo**

O surgimento de defeitos em toras durante o processo de secagem é um grande problema para a indústria da madeira. Assim, saber a intensidade na qual esses defeitos surgem nos diferentes estágios da perda de água na madeira pode ser útil na tomada de decisões para uma secagem mais eficiente. O objetivo deste trabalho foi avaliar o surgimento de rachaduras na seção transversal de toras de madeira acima e abaixo do ponto de saturação das fibras. Trinta e seis toretes, com 50cm de comprimento cada, retirados de seis árvores híbridas de *Eucalyptus urophylla* foram usados. A secagem foi acompanhada até a estabilização das massas e imagens da base e do topo das toras foram tiradas. A porcentagem de área coberta por rachaduras na base e no topo de cada tora abaixo e acima do ponto de saturação das fibras foi calculada através de imagens digitais usando o software NeuroDic®. Encontramos um valor de 2,63% de rachaduras na umidade de equilíbrio e de 1,71% até o ponto de saturação das fibras, ou seja, 0,92% das rachaduras surgiram durante a saída de água livre. Para a base dos toretes, encontrou-se um valor superior (2,41%) do que para o topo (1,93%). Os resultados mostraram que rachaduras na seção transversal surgem com maior intensidade durante a saída de água livre. Além disso, rachaduras da base das toras surgiram mais expressivamente do que no topo. O software NeuroDic® se mostrou efetivo para calcular a porcentagem de ocorrência de rachaduras na seção transversal.

**Palavras-chave:** Água livre. Água adsorvida. Secagem. Umidade. Defeitos.

### **Abstract**

The arising of defects in logs during the drying process is a major problem in the wood industry. So, knowing how and which those defects arise in the different stages of water loss in wood can be useful for decision making for a more efficient drying. This work aims to evaluate the arising of transversal section cracks on wood logs below and above fiber saturation point. Thirty six logs, with 50cm length each were taken from six *Eucalyptus urophylla* hybrid trees. The drying was followed until stabilization of the masses and images from the base and top of the logs were taken. We calculated the percentage of area covered by cracks in the base, top, below and above fiber saturation point in each log

using digital images and the software NeuroDIC. We found 2,63% of cracks at the equilibrium moisture content and 1,71% until the fiber saturation point, what means 092% of the cracks arose during the free water loss. The base of the logs presented a higher value (2,41%) than the top (1,93%). The results showed that transversal section cracks arise more significantly during free water loss. Besides, cracks from the base of the logs arrives more expressively than in the top. The software NeuroDIC was effective to calculate the percentage of transversal section cracks occurrence.

**Keywords:** Free Water. Bound Water. Drying 3. Moisture content. Defects.

## 1 Introdução

A madeira é um valioso recurso natural amplamente utilizado como material em diferentes aplicações. Porém, um dos maiores problemas na fabricação de produtos de alto valor agregado na indústria da madeira é o surgimento de defeitos causados durante o processo de secagem (KOLLMAN & CÔTÉ 1968) como rachaduras de topo, colapso, empenamento, rachaduras superficiais, internas, entre outros (SIMPSON; 1999, TENORIO et al. 2012). A maioria desses defeitos pode ser evitada ou mantida em níveis mínimos, quando feita uma secagem correta. Para isso, é necessário saber como quando e onde esses defeitos ocorrem, levando em consideração as variáveis que influenciam neste processo .

Como variáveis, podem ser considerados a densidade básica, o diâmetro das toras, estrutura anatômica, temperatura, (ZANUNCIO et al, 2015; SEVERO, 2013). Além destas variáveis, as interações entre a água e a madeira influem significativamente na secagem.

A relação água-madeira é estudada a séculos (ENGELUND, 2013) e é um fator extremamente importante na secagem. Como a madeira é um material higroscópico, suas dimensões podem ser alteradas conforme a umidade relativa do ar, afetando assim, a geometria das peças em uso e, conseqüentemente, as características de resistência mecânica (SILVA et al, 2003). Ao perder toda a água de capilaridade, a madeira atinge o ponto de saturação das fibras (PSF), uma vez que, a água livre é encontrada acima da umidade do PSF (SKAAR, 1972). Logo, a redução das dimensões da madeira é consequência da contração, a qual ocorre com a diminuição da umidade abaixo do ponto de saturação das fibras (SEVERO, 1998).

Quando o controle a saída da água não é bem trabalhado defeitos como rachaduras, fendas e colapso podem ocorrer principalmente na madeira do gênero *Eucalyptus* (GONÇALEZ et al, 2016). Madeiras deste gênero enfrentam grandes problemas na sua utilização industrial, tanto em forma de toras quanto peças serradas. Isso se deve ao fato dessa madeira apresentar predisposição em apresentar rachaduras após o corte e durante a secagem devido ao seu crescimento rápido e conseqüente presença de tensões de crescimento. Além disso, as características anatômicas da madeira de *Eucalyptus* dificultam a sua secagem, pois apresenta pontuações de pequeno diâmetro e distribuição difusa dos poros, logo a secagem se torna mais lenta (PINHEIRO, 2013; SANTOS, 2002).

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito da saída de água no surgimento de rachaduras da seção transversal de toretes de *Eucalyptus* usando imagens digitais, a fim de gerar informação que permita controlar tais defeitos e agregar valor à produtos florestais madeireiros.

## 2 Revisão de literatura

### 6.1 Secagem da Madeira

A secagem é uma das etapas fundamentais para a fabricação de vários produtos. É um processo em que ocorre a retirada de umidade de materiais porosos saturados (KOWALSKI, 2003), como a madeira, que, além de porosa, é um material heterogêneo, higroscópico e anisotrópico (JANKOWSKY, 2005). Esta possui elevado teor de umidade no momento do abate, que desde então passa a reduzir de maneira espontânea e lenta, levando em conta à espécie vegetal, as condições do ambiente, as dimensões que a peça apresenta e a forma como estão armazenadas (MARTINS, 1988). A secagem da madeira é um processo extremamente importante, pois além de proporcionar economia no transporte devido à redução de sua massa, reduz as contrações da madeira, aumenta sua resistência, melhora suas propriedades mecânicas, além de aumentar sua resistência ao ataque de organismos xilófagos (BARBOSA et al, 2005; JANKOWSKY, 1990). Assim, a etapa da secagem, além de viabilizar a utilização do produto, agrega valor ao mesmo. Porém, para se garantir um alto padrão de qualidade é necessário preparar a madeira de maneira correta, além de controlar o processo de forma a manter as condições do meio de secagem compatíveis com as características do material (ELEOTERIO et al, 2015).

### 6.2 Tipos de água existentes na madeira

A água está presente na madeira nas formas líquida (água livre) e água presa. A água livre é a primeira a deixar a madeira e está presente nas cavidades celulares e intercelulares, na forma líquida ou em forma de vapor e é difícil de ser removida (SKAAR, 1984). Quando uma árvore perde toda a sua água livre, ela atinge o ponto de saturação das fibras (PSF) (SKAAR, 1972). Este ponto é considerado como estando entre 28 e 32% de umidade em relação a massa seca da madeira dependendo da espécie estudada. Por motivos práticos, o PSF é considerado como sendo 30% para todas as espécies. A madeira continua a secar até atingir a temperatura que é baixa o suficiente para entrar em equilíbrio com o ar atmosférico (SIAU, 1984) e é chamado de umidade de equilíbrio (UE).

O ponto de saturação das fibras possui grande importância na ciência da madeira, uma vez que está relacionado com mudanças em suas propriedades. Foi definido primeiramente como a umidade na qual os lumens das células estão vazios de toda a água na forma de líquido (TIEMANN, 1906), e posteriormente definido como umidade correspondente às mudanças abruptas nas propriedades físicas da madeira como contração, resistência mecânica, condutividade elétrica, entre outras (STAMM, 1964). Porém, estudos recentes apontam que durante a secagem, água na forma líquida ainda pode estar presente nos lumens durante a saída da água das paredes celulares de outras partes da mesma amostra, mostrando que as contrações na madeira não começam necessariamente no PSF (HERNANDEZ & PONTIN, 2006).

### 6.3 Defeitos decorrentes da secagem

A secagem da madeira é uma etapa de crítica importância na sua indústria, uma vez

que é fonte potencial da degradação da mesma (KOLLMAN & CÔTÉ, 1968). Os defeitos que surgem durante a secagem podem trazer danos econômicos significativos, provocando uma consequente exploração seletiva, e diminuindo o número de espécies utilizadas (MARTINS, 1988). Entre os defeitos causados pela secagem estão os empenos, as rachaduras, o colapso e o endurecimento superficial (ANDRADE, 2000).

Entre os tipos de rachadura podem ser citadas as rachaduras superficiais e as rachaduras de topo, que ocorrem na seção transversal dos toretes e estão associadas com as tensões de crescimento (BELTRAME et al, 2015). A presença acentuada de rachaduras de topo pode causar grandes prejuízos à indústria, principalmente de serraria, em específico, durante o processo de destopo, fazendo com que o rendimento seja reduzido significativamente.

A maioria dos defeitos ou problemas que se desenvolvem em produtos madeireiros durante e depois da secagem podem ser classificados nas categorias de ruptura do tecido da madeira, empenamento, teor de umidade irregular e descoloração. As contrações da madeira são a principal causa de rupturas do tecido e distorção da forma. Essas contrações podem ser causadas pela tensão de secagem, que são formados quando a camada superficial da peça atinge algum ponto abaixo do PSF e começa a contrair antes da camada interna. Se as tensões de secagem excederem a resistência da madeira, rachaduras de topo e superficiais podem aparecer (TARMIAN et al, 2009).

#### 6.4. Tensões existentes na madeira

Como já falado anteriormente, a madeira é um material biológico e heterogêneo que possui como característica a presença de várias tensões que se formam durante o seu desenvolvimento e sua secagem. Uma das mais importantes é a tensão de crescimento, que têm sua origem no desenvolvimento da parede secundária das fibras, originando-se na fase de deposição da lignina nas células, o que provoca expansão e retração, havendo tração no sentido longitudinal e compressão no centro do tronco (CARDOSO, 2004).

As tensões nas partes externas dos fustes são de suma importância para evitar que os mesmos se quebrem quando submetidos a ventos fortes ou mesmo algum outro esforço lateral (VITAL, 2008). Contudo, essas tensões são responsáveis por grande parte dos defeitos que surgem na madeira. Essas deformações surgem devido à modificação do estado de equilíbrio existente durante o crescimento (FERRAND, 1983). As tensões de secagem acontecem quando a parte mais externa de uma peça de madeira atinge valores abaixo do ponto de saturação das fibras e começa a contrair antes que a parte interior esteja pronta para contrair. Estas tensões são fortemente influenciadas pela temperatura e umidade relativa do ar em que a madeira está sendo seca (MCMILLEN, 1963; TARMIAN, 2009).

#### 6.5 Análise de defeitos

A avaliação de defeitos em toras tem sido feita por métodos padronizados por instituições como a Norma Para Medição e Classificação de Toras de Madeiras de Folhosas (IBDF 1983), divulgados por trabalhos como de VITAL (2008). Porém, a atualização dessas técnicas é necessária para que acompanhem os rápidos dos avanços tecnológicos e se tome o devido proveito das ferramentas criadas por tais avanços.

Um exemplo dessas técnicas são as análises de imagens. Estas abrangem técnicas que

permitem identificar características, extrair e interpretar informações dessas imagens (GAVA, 2011). Para identificar madeira e espaços vazios também se pode citar as Redes Neurais Artificiais. Estas redes são modelos computacionais inspirados pelo sistema nervoso de seres vivos, e tem a capacidade de adquirir e manter conhecimento (baseado em informações) e pode ser definido com um conjunto de unidades de processamento representada por neurônios artificiais, interligados por várias interconexões (DA SILVA et al, 2016).

Análises digitais já são empregadas para análise de defeitos em tábuas por meio de redes neurais (RUZ et al, 2015), e em toretes por meio de tomografia de raio X (CONNERS, 1983; QUOIRIN, 2004).

### 3 Materiais e métodos

#### 3.1 Coleta do Material

Selecionou-se 6 árvores de uma espécie híbrida de *Eucalyptus urophylla* (clone VM07) provenientes de um reflorestamento clonal pertencente a uma empresa localizada na cidade de Montes Claros, no estado de Minas Gerais. O espaçamento dentro do plantio era de 2x3.

Depois do abate das árvores, foram retirados três toretes da base e três toretes do topo de cada árvore com 0,5m de comprimento cada para monitorar os defeitos de secagem, totalizando 36 toras.. Depois de cortadas, as toras foram identificadas com informação sobre árvore e posição no fuste. Logo, o material foi levado ao Laboratório de Produtos Florestais da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) para secagem em galpão coberto.

#### 3.2 Avaliação da Secagem

A secagem ocorreu a temperatura ambiente e em galpão coberto e sem paredes para que a circulação de ar acontecesse de forma natural, como metodologia adotada por Rezende et al. (2010) e Zanuncio et al. (2015). As toras levaram 6 meses em média para atingir a umidade de equilíbrio (UE). Até lá, as toras foram pesadas utilizando uma balança eletrônica com 10kg de capacidade, de duas a três vezes por semana. Foram organizadas no chão, separadas por árvore, com espaços padronizados entre cada tora para favorecer a circulação de ar e garantir que secagem ocorresse da forma mais natural possível.

Depois da estabilização das massas, foram obtidas as massas secas de cada tora secando-as em estufa a temperatura de  $103 \pm 2$  ° C. As classes de diâmetro foram secas uma de cada vez para evitar diferenças de tempo de secagem. As massas secas foram utilizadas para calcular a umidade de cada tora na data de cada pesagem. Essa informação nos permitiu produzir curvas de secagem.

#### 3.3 Quantificação de rachaduras

A avaliação de defeitos de secagem foi feita durante os seis meses de secagem duas vezes por semana com o objetivo de obter informações sobre intensidade de rachaduras da seção transversal no ponto de saturação das fibras (PSF) e na umidade de equilíbrio (UE). O PSF foi considerado como 30% de umidade e a UE (Umidade de Equilíbrio) como 12% de

umidade por questões práticas.

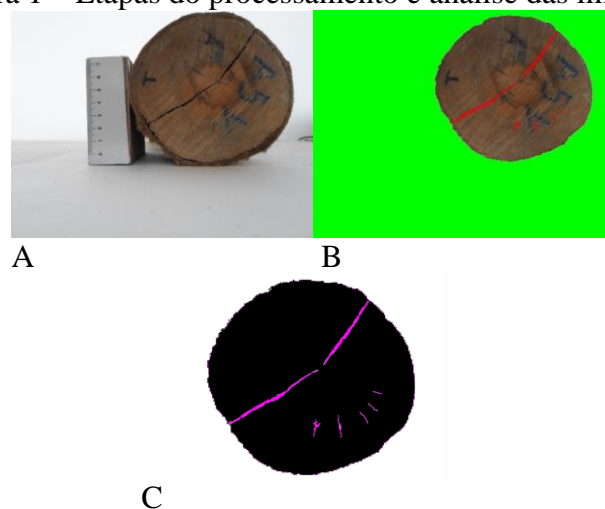
Durante toda a secagem, foram obtidas fotos da base e do topo de cada torete três vezes por semana. As fotos eram classificadas por data. Logo, com as informações de curva de secagem foi possível identificar as datas em que cada peça atingiu o PSF e a UE, e com essa informação selecionou-se apenas as fotos que referiam-se a esses estágios.

Para quantificar a porcentagem de área afetada por rachaduras na base e no topo de cada tora utilizou-se o software NeuroDIC. Este software foi originalmente desenvolvido com o objetivo de quantificação do volume de madeira contido em uma pilha partindo da classificação de fotografias digitais dessas pilhas usando redes neurais artificiais. Aqui, o mesmo software foi usado para identificar a proporção de rachaduras na seção transversal de toretes de *Eucalyptus* também a partir de imagens digitais desses toretes.

O programa utilizado é capaz de reconhecer uma imagem digital (foto da seção transversal do torete) como uma matriz de pixels. Cada pixel possui seu valor numérico que representa a refletância da radiação solar do objeto fotografado. Assim, a imagem é primeiramente classificada com base no que se quer distinguir dentro da imagem. Para este estudo, se classificou em cada imagem as regiões “vazio”, onde não haviam objetos de interesse, “madeira”, que se refere à área da foto onde se reconhece este material e “rachaduras”, que se refere a área da foto onde se pode observar rachaduras da seção transversal no torete. Logo, são definidas as entradas, variáveis necessárias para que a rede classifique a imagem. Aqui, as entradas foram valores numéricos correspondentes aos tons de azul, verde e vermelho. A RNA identifica cada um dos valores de cada tom e classifica nas classes predefinidas (vazio, madeira e rachaduras). Após a fase de treinamento da rede, o software pode reconhecer as regiões das fotos de mesmo padrão.

A fotos obtidas e utilizadas para o treinamento da RNA possuíam muitos ruídos, que impediam a rede de reconhecer as classes definidas. Assim, utilizou-se o software Adobe Photoshop para editar as imagens de forma que isso facilitasse o reconhecimento das classes por parte do NeuroDIC. O fundo de cada foto (vazio) foi preenchido pela cor verde e as rachaduras pela cor vermelha (Figura 1, A e B).

Figura 1 – Etapas do processamento e análise das imagens.



A: Foto antes de ser editada ou processada. B: Foto editada usando o Adobe Photoshop. C: Resultado da classificação feita pelo NeuroDIC.

Em seguida, aplicou-se a RNA que mostrou melhores resultados para a análise de todas as fotos. O NeuroDIC fornece a proporção, em cada foto, de vazio, madeira e rachadura, além de uma imagem evidenciando como cada classe foi reconhecida pelo mesmo (Figura 1, C). Usando a informação das proporções da área coberta em cada foto por cada classe, foi possível calcular a porcentagem coberta por rachaduras usando a Equação (1).

$$AR(\%) = \frac{PR}{PM + PR} \times 100 \quad (1)$$

Em que: AR(%) = Porcentagem de área coberta por rachaduras PR = Proporção da área da foto coberta rachaduras. PM = Proporção da área da foto coberta por madeira.

Este cálculo foi feito para fotos da base e no topo de cada torete nas datas referentes ao PSF e à UE para posterior análise estatística e comparação dos resultados.

## 2.4 Análise Estatística

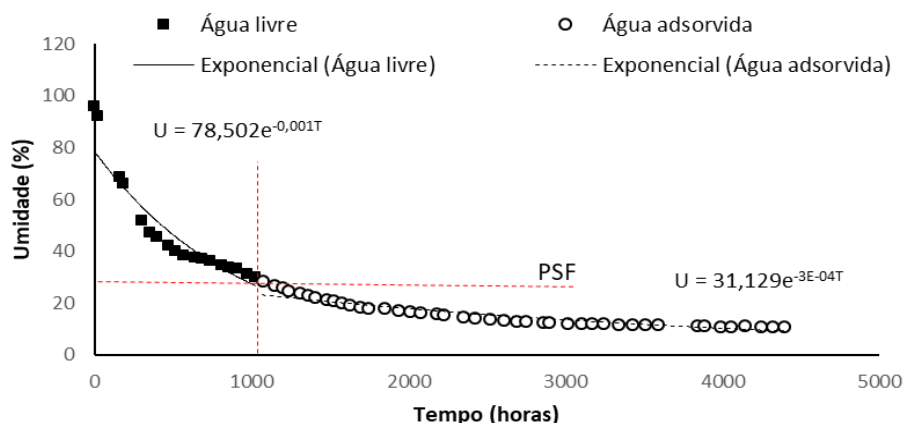
Com os resultados de porcentagem de área coberta por rachaduras, foi feita a análise estatística com ajuda do software estatístico R, considerando os valores nos dois estágios de secagem (água livre e água adsorvida) e os valores da base e do topo dos toretes (2x2) usando valores médios para cada repetição (árvores) como delineamento inteiramente casualizado. Logo, foi feito teste de normalidade dos resíduos com o teste de Shapiro-Wilk a  $p < 0,005$  de significância. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e, por fim, aplicou-se o teste de Tukey também a  $p < 0,005$ .

## 4 Resultados parciais/finais

### 4.1 Secagem

Os toretes iniciaram a secagem com 96,01% de umidade, em média, e levaram cerca de 1.024 horas (43 dias) para atingir o ponto de saturação das fibras e 3.239 horas (135 dias) para atingir a umidade de equilíbrio. Com esses valores é possível notar que a secagem foi mais lenta entre o PSF e a UE, o que é reforçado pela Figura 2, que mostra a curva de perda de umidade em função do tempo. Nesta figura se nota uma maior inclinação da curva durante a perda de água livre, enquanto a curva que se refere à saída de água adsorvida é menos acentuada. Foram utilizadas linhas de tendência exponencial para evidenciar mais essa diferença, uma vez que representam bem as curvas de secagem, especialmente para a água livre. Zanuncio et al. (2015) também utilizou modelos de regressão exponencial para estudar a umidade da madeira e outras variáveis como diâmetro e densidade em diferentes tempos de secagem.

Figura 2 – Curva de secagem do material. Perda de umidade em função do tempo



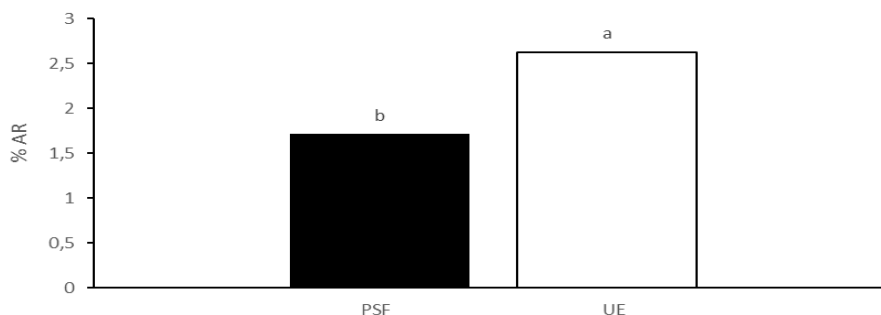
Em que: U= Umidade, T= tempo.

O resultado obtido é devido ao fato de que, até o PSF, a água é mantida na madeira por forças relativamente fracas, estão presentes dentro do lúmen das células e, por isso, são retiradas de maneira rápida e fácil. Após atingir o ponto de saturação das fibras, as moléculas de água nas paredes celulares são mais difíceis de serem removidas, gastando mais tempo para isso, uma vez que estão ligadas à madeira por forças mais fortes (Skaar, 1988).

#### 4.2 Rachaduras

A partir do teste de Tukey obteve-se médias para a porcentagem de área coberta por rachadura em cada foto. Para o PSF, a média foi de 1,71% de rachaduras por foto, enquanto que para a UE o valor médio encontrado foi de 2,63% (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Comparação estatística dos valores rachaduras para PSF e UE.



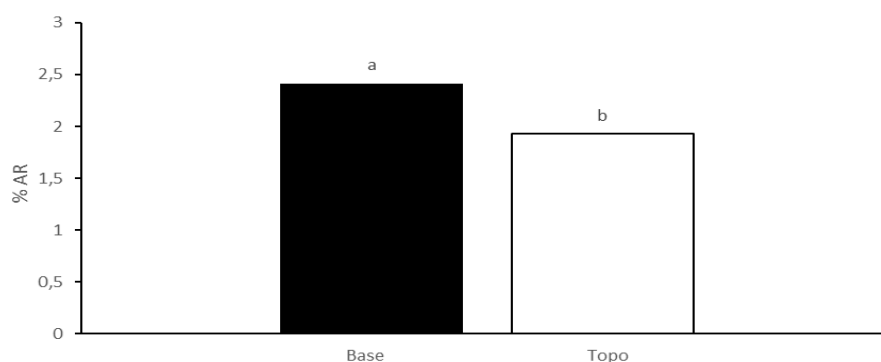
O valor médio de área coberta por rachaduras na umidade de equilíbrio foi estatisticamente maior que a porcentagem média de área coberta por rachaduras no PSF. É importante ressaltar, porém, que ao subtrair o valor encontrado para rachaduras na UE pelo valor encontrado no PSF, que a maior parte das rachaduras detectadas na UE já haviam surgido durante a saída de água livre. Assim, o maior valor no final da secagem se deve ao aumento dessas rachaduras ou ao surgimento de outras.

O fato do surgimento das rachaduras da seção transversal ter se mostrado significativo durante a saída de água livre pode possivelmente estar associado com as tensões de crescimento. Essas podem ser descritas como tensões mecânicas e deformações que são formadas durante o crescimento das árvores nas camadas do câmbio do fuste da madeira de uma variedade de espécies (ARCHER, 1987; MATTHECK AND KLUBLER, 1995; RICHTER 2014). Entre essas espécies, as pertencentes ao gênero *Eucalyptus* é as vezes referida como tendo altos níveis de tensões de crescimento (BELTRAME et al., 2015). O mesmo autor encontrou uma alta correlação entre tensões de crescimento e taxa de rachaduras de topo, deixando claro que tensões de crescimento aliviadas durante o abate ou serragem podem ser a causa do surgimento de rachaduras já no estágio inicial da secagem e a consequente desvalorização da peça de madeira.

O posterior surgimento de rachaduras durante a saída de água adsorvida ocorreu possivelmente devido às fortes mudanças nas propriedades físicas e mecânicas da madeira (SIAU 1984; STAMM 1964). Algumas células podem não resistir às contrações e isso pode causar ruptura da parede celular, causando rachaduras não só na seção transversal da peça, como também na superfície rolante, área do torete não analisada neste estudo. Outra possível causa das rachaduras durante a saída da água adsorvida são as tensões de secagem, que estão ligadas à linha de transição do PSF. Essas tensões são causadas pela diferença de gradiente de umidade entre a camada exterior e a camada central das peças de madeira e promove variações nas direções tangencial, radial e longitudinal. Quando a resistência da madeira é excedida por estas tensões de secagem, se torna possível a ocorrência de rachaduras superficiais, principalmente na direção tangencial, onde os raios, estruturas anatômicas mais frágeis, são quebrados (TARMIAN et al. 2009).

Quando analisadas as rachaduras na base e no topo das toras, foi possível notar, a partir do teste de Tukey (Gráfico 2), um valor estatisticamente maior para as rachaduras que ocorreram na base dos toretes.

Gráfico 2 – Comparação estatística dos valores rachaduras para base e topo



Esse resultado se deve, possivelmente, ao fato de que a base dos toretes tende a ter uma área e diâmetro maior que o topo dos mesmos, pelo formato cônico das árvores.

## 5 Considerações parciais/finais

As rachaduras da seção transversal surgiram em maior intensidade durante a saída da água livre. A base dos toretes apresenta maior quantidade de rachaduras do que no topo dos mesmos. O NeuroDIC foi útil na quantificação de defeitos na seção transversal das toras por meio de imagens digitais.

Essas informações, agregadas as de outros estudos na área, são capazes de servir como base para o desenvolvimento de técnicas de controle de defeitos que deterioraram a madeira. Assim, mais estudos que envolvam vários tipos de defeitos devem ser feitos para aumentar o conhecimento dos fenômenos que envolvem a secagem desse material, e, conseqüentemente, contribuir para o desenvolvimento do setor florestal na região e no país.

## Referências

- ANDRADE, A. **Indicação de programas para a secagem convencional de madeiras**. Tese de Mestrado, Universidade de São Paulo, Piracicaba, p.72, 2000.
- ARCHER, R.R. Growth stresses and strains in trees vol 1. Springer-Verlag, 1987
- AROLA, R.A. **NBR 11941**: 2003 Madeira–Determinação da densidade básica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- BARBOSA C.G., LIMA J.T., DA SILVA ROSADO S.C., Trugilho P.F. Elaboração De Programa De Secagem Para Madeiras De Clones De Híbridos De Eucalyptus spp. **Cerne**, Lavras. v.1, p40-8, 2005.
- BELTRAME R., PERES M.L.D., LAZAROTTO M., GATTO D.A., SCHNEID E & HASELEIN C.R.. Tensão de crescimento e sua relação com as rachaduras de topo em toras de Eucalyptus spp, 2015.
- CARDOSO JÚNIOR, A. A. **Tensões de crescimento em Eucalyptus e suas relações com espaçamento idade e material genético**. 2004. 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.
- CONNERS, R.W. et al. Identifying and locating surface defects in wood: Part of an automated lumber processing system. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, n. 6, p. 573-583, 1983.
- DA SILVA, I.N. et al. **Artificial Neural Networks: A Practical Course**. Springer, 2016.
- ELEOTERIO, J.R., BAGATTOLI, T.R., HORNBURG, K.F. AND DA SILVA, C.M.K.,

Secagem drástica de madeiras de Eucalyptus e Corymbia fornece informações para a elaboração de programas de secagem. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v.84, p.451-457, 2015.

ENGELUND E.T., THYGESEN L.G., SVENSSON S. & HILL C.A. A critical discussion of the physics of wood–water interactions. *Wood Science and Technology*, v.47, p.141-161, 2013.

FERRAND, J.C.H. Growth stresses and silviculture of eucalyptus, **Australian Forest Research**, Melbourne, v.13, n.1, p.75 – 81, 1983.

GAVA, M.; GARCIA, J.N. Análise digital de imagens para estudo das deformações por retração radial da madeira de Eucalyptus sp. CONGRESSO IBERO-LATINO AMERICANO DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO, 2011, Coimbra.

GONÇALEZ, J.C. et al. Características tecnológicas das madeiras de Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden e Eucalyptus cloeziana F. Muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 3, p. 329-341, 2006.

HERNÁNDEZ, R.E. AND PONTIN, M. Shrinkage of three tropical hardwoods below and above the fiber saturation point. **Wood and fiber science**, v.3, p.474-483, 2006.

IBDF. Norma para classificação de madeira serrada de folhosas. Brasília, DF: Brasileira; p.67, 1983.

JANKOWSKY, I. P. Fundamentos de secagem de madeiras, 1990.

JANKOWSKY, I. P.; SANTOS, G. R. V. dos. Drying behavior and permeability of Eucalyptus grandis lumber. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v. 7, n. 1, p. 17-21, 2005.

KOLLMAN F.F.P. & CÔTÉ W.A.. Principles of wood science and technology: solid wood. **Allen & Unwin**, 1968.

KOWALSKI, S.J. **Thermomechanics of Drying Processes** . Springer Science & Business Media. v.8, 2003.

MATHECK C., KUBLER H. Wood – **The Internal Optimization of Trees**. Springer Series in Wood Science. Springer-Verlag, New York, 1995.

McMILLEN, J.M. Stresses in wood during drying. **Madison**, Forest Products laboratory, p.52 1963.

PINHEIRO, M. A., Influência das Dimensões da Madeira na Secagem e nas Propriedades do Carvão Vegetal. Dissertação (Pós-Graduação em Ciências Florestais). Universidade Federal de Viçosa, 2013.

QUOIRIN, NILTON SERGIO RAMOS. Diagnóstico de defeitos em madeira por tomografia de raios x. **Master's Degree (in Portuguese), Federal University of Paraná, Curitiba**,

2004.

REZENDE R.N., LIMA J.T., SILVA J.R.M.D., NAPOLI A., ANDRADE, H.B. & FARIA A... R. 2010. Air drying of logs from an Eucalyptus urophylla clone for carbonization use. *Cerne*, v.16, p.565-572, 2010.

RICHTER, C. Biotically and Abiotically Induced Wood Characteristics; Cracks–Form and Causes. **Tropical Forestry Handbook**, p. 1-31, 2014.

RUZ, G. A.; ESTEVEZ, P. A.; PEREZ, C. A. A neurofuzzy color image segmentation method for wood surface defect detection. **Forest products journal**, 2005.

SANTOS, G. R. V. Otimização da secagem da madeira de Eucalyptus grandis (Hill ex Maiden). 2002. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SEVERO, E.T.D. Efeito da temperatura e da velocidade do ar na secagem de madeira serrada de Pinus Elliottii. 2013.

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

SIAU, J. F. **Transport processes in wood.** Springer Science & Business Media, 2012.

SILVA, J.C.; OLIVEIRA, J.T.S.. Avaliação das propriedades higroscópicas da madeira de Eucalyptus saligna Sm., em diferentes condições de umidade relativa do ar. **Revista Árvore**, 2003.

SIMPSON W & TENWOLDE A. Wood handbook: Wood as an engineering material. *USDA Forest Service General Technical Report FPL-GTR-113*, Madison, 1999.

SKAAR C. Wood-water Relations. Springer-Verlag, 1988.

SKAAR, C. Water in wood. Syracuse. Wood Science Series, v.4, 1972.

SKAAR, C. Wood-water relationships, 1984.

STAMM, A.J. Wood and cellulose science. Wood and cellulose science, 1964.

TARMIAN A, SEPEHER A & RAHIMI S. Drying stress and strain in tension wood: A conventional kiln schedule to efficiently dry mixed tension/normal wood boards in poplar. *Drying Technology*, v.27, p.1033-1040, 2009.

TENORIO C, MOYA R, QUESADA-PINEDA H.J. 2012. Kiln drying of acacia mangium wood: colour, shrinkage, warp, split and check in dried lumber. *Journal of Tropical Forest*

Science. 2012 1:125-39.

TIEMANN, H.D. Effect of moisture upon the strength and stiffness of wood .US Dept. of Agriculture, Forest Service, vol.63, 1906.

VITAL, B.R. Planejamento e operação de serrarias. **Viçosa, MG: UFV**, p.211, 2008.

ZANUNCIO A.J.V., CARVALHO A.G., DA SILVA L.F., LIMA J.T., TRUGILHO P.F. & DA SILVA J.R.M. Predicting moisture content from basic density and diameter during air drying of Eucalyptus and Corymbia logs. Maderas. Ciencia y tecnología, v.17, p.335-344, 2015.