

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

Tauana de Souza Mangini

**TAXA E DEFEITOS DE SECAGEM AO AR LIVRE DE QUATRO  
ESPÉCIES PROVENIENTES DE UM SISTEMA AGROFLORESTAL**

**FREDERICO WESTPHALEN, RS**

**2021**

Tauana de Souza Mangini

**TAXA E DEFEITOS DE SECAGEM AO AR LIVRE DE QUATRO ESPÉCIES  
PROVENIENTES DE UM SISTEMA AGROFLORESTAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Rômulo Trevisan

**FREDERICO WESTPHALEN, RS**

**2021**

Tauana de Souza Mangini

**TAXA E DEFEITOS DE SECAGEM AO AR LIVRE DE QUATRO ESPÉCIES  
PROVENIENTES DE UM SISTEMA AGROFLORESTAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Florestal.

**Aprovado em 13 de julho de 2021:**

---

**Rômulo Trevisan, Dr. (UFSM)**  
(Orientador)

---

**Elder Eloy, Dr. (UFSM)**

---

**Luana Candaten, Me.**

**Frederico Westphalen, RS**  
**2021**

# TAXA E DEFEITOS DE SECAGEM AO AR LIVRE DE QUATRO ESPÉCIES PROVENIENTES DE UM SISTEMA AGROFLORESTAL

AUTORA: Tauana de Souza Mangini

ORIENTADOR: Rômulo Trevisan

## RESUMO

Este estudo teve como objetivo avaliar a taxa e defeitos de secagem ao ar livre de quatro espécies provenientes de um sistema agroflorestal. Para tanto, foram amostrados indivíduos com 11 anos de idade de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan, *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub., *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, comumente denominadas de Angico, Canafístula, Eucalipto e Guapuruvu, respectivamente. As toras selecionadas foram encaminhadas até a serraria onde ocorreu o desdobro primário e a mensuração, em todas as tábuas confeccionadas, dos defeitos de encanoamento, arqueamento, encurvamento, rachaduras de topo e presença de nós antes da secagem ao ar livre. Posteriormente, foram selecionadas três tábuas por espécie, destinadas para o acompanhamento da umidade da pilha. A partir da estabilização do teor de umidade os defeitos foram novamente mensurados e a transição, bem como a taxa de secagem constante, foram determinadas por meio de regressões lineares múltipla e simples e de regressões lineares simples, respectivamente. A maior amplitude de transição da taxa de secagem e, da mesma forma, o tempo para estabilização desse índice, ocorreu na Canafístula, seguido de Angico, Guapuruvu e Eucalipto. De maneira geral, apesar do elevado número de tábuas com rachaduras de topo, a Canafístula se destacou entre as espécies do sistema agroflorestal, uma vez que evidenciou baixo índice para os defeitos avaliados, tanto na pré quanto na pós secagem. Em contrapartida, ainda que o Guapuruvu tenha apresentado uma elevada taxa de secagem, o mesmo também exibiu um alto índice de rachaduras de topo, bem como de nós, comprometendo a qualidade do material.

**Palavras-chave:** Qualidade da madeira; Relações água-madeira; Empenamentos; Madeira serrada.

# AIR DRYING RATE AND DEFECTS FOR FOUR SPECIES FROM AN AGROFORESTRY SYSTEM

AUTHOR: Tauana de Souza Mangini

ADVISOR: Rômulo Trevisan

## ABSTRACT

This study aimed to evaluate the rate and defects of outdoor drying of four species from an agroforestry system. For that, individuals with 11 years of age of *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan, *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub., *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* and *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, commonly called Angico, Canafístula, were sampled. Eucalyptus and Guapuruvu, respectively. The selected logs were sent to the sawmill where the primary unfolding occurred and the measurement, in all the boards made, of defects in piping, arching, bending, top cracks and the presence of knots before drying in the open air. Subsequently, three boards per species were selected, intended to monitor the humidity of the pile. From the stabilization of the moisture content, the defects were measured again and the transition, as well as the constant drying rate, were determined by means of multiple and simple linear regressions and simple linear regressions, respectively. The greatest amplitude of transition in the drying rate and, likewise, the time for stabilization of this index, occurred in Canafístula, followed by Angico, Guapuruvu and Eucalipto. In general, despite the high number of boards with top cracks, Canafístula stood out among the species of the agroforestry system, since it showed a low index for the defects evaluated, both in the pre and post drying. In contrast, even though Guapuruvu showed a high drying rate, it also exhibited a high index of top cracks, as well as knots, compromising the quality of the material.

**Keywords:** Wood quality; Water-wood relations; Warping; Lumber

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Teor de umidade médio em função do tempo de secagem ao ar livre e massa específica básica das quatro espécies analisadas.....28

TABELA 2: Análise de variância da regressão com variável *Dummy* (tipo SS1) da taxa de secagem em função do tempo para as quatro espécies analisadas. ....29

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- FIGURA 1: Taxa de secagem em função do tempo para as quatro espécies analisadas (A: todos os dados e B: somente estimados). ..... 30
- FIGURA 2: Transição da taxa de secagem e período para taxa constante em função do tempo para as quatro espécies estudadas (A e B = Angico; C e D = Canafístula; E e F = Guapuruvu; G e H = Eucalipto). ..... 33
- FIGURA 3: Análise dos defeitos em função da condição de secagem para as quatro espécies estudadas (A = Arqueamento; B = Encurvamento; C = IRT pior face; D = IRT 2 face). ..... 34

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	11
MATERIAL E MÉTODOS.....	13
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	16
CONCLUSÕES.....	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	23

**TAXA E DEFEITOS DE SECAGEM AO AR LIVRE DE QUATRO ESPÉCIES  
PROVENIENTES DE UM SISTEMA AGROFLORESTAL**

**AIR DRYING RATE AND DEFECTS FOR FOUR SPECIES FROM AN  
AGROFORESTRY SYSTEM**

**RESUMO**

Este estudo teve como objetivo avaliar a taxa e defeitos de secagem ao ar livre de quatro espécies provenientes de um sistema agroflorestal. Para tanto, foram amostrados indivíduos com 11 anos de idade de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan, *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub., *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, comumente denominadas de Angico, Canafístula, Eucalipto e Guapuruvu, respectivamente. As toras selecionadas foram encaminhadas até a serraria onde ocorreu o desdobro primário e a mensuração, em todas as tábuas confeccionadas, dos defeitos de encanoamento, arqueamento, encurvamento, rachaduras de topo e presença de nós antes da secagem ao ar livre. Posteriormente, foram selecionadas três tábuas por espécie, destinadas para o acompanhamento da umidade da pilha. A partir da estabilização do teor de umidade os defeitos foram novamente mensurados e a transição, bem como a taxa de secagem constante, foram determinadas por meio de regressões lineares múltipla e simples e de regressões lineares simples, respectivamente. A maior amplitude de transição da taxa de secagem e, da mesma forma, o tempo para estabilização desse índice, ocorreu na Canafístula, seguido de Angico, Guapuruvu e Eucalipto. De maneira geral, apesar do elevado número de tábuas com rachaduras de topo, a Canafístula se destacou entre as

espécies do sistema agroflorestal, uma vez que evidenciou baixo índice para os defeitos avaliados, tanto na pré quanto na pós secagem. Em contrapartida, ainda que o Guapuruvu tenha apresentado uma elevada taxa de secagem, o mesmo também exibiu um alto índice de rachaduras de topo, bem como de nós, comprometendo a qualidade do material.

**Palavras-chave:** Qualidade da madeira; Relações água-madeira; Empenamentos; Madeira serrada.

## **ABSTRACT**

This study aimed to evaluate the rate and defects of outdoor drying of four species from an agroforestry system. For that, individuals with 11 years of age of *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan, *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub., *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* and *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, commonly called Angico, Canafístula, were sampled. Eucalyptus and Guapuruvu, respectively. The selected logs were sent to the sawmill where the primary unfolding occurred and the measurement, in all the boards made, of defects in piping, arching, bending, top cracks and the presence of knots before drying in the open air. Subsequently, three boards per species were selected, intended to monitor the humidity of the pile. From the stabilization of the moisture content, the defects were measured again and the transition, as well as the constant drying rate, were determined by means of multiple and simple linear regressions and simple linear regressions, respectively. The greatest amplitude of transition in the drying rate and, likewise, the time for stabilization of this index, occurred in Canafístula, followed by Angico, Guapuruvu and Eucalipto. In general, despite the high number of boards with top cracks, Canafístula stood out among the species of the

agroforestry system, since it showed a low index for the defects evaluated, both in the pre and post drying. In contrast, even though Guapuruvu showed a high drying rate, it also exhibited a high index of top cracks, as well as knots, compromising the quality of the material.

**Keywords:** Wood quality; Water-wood relations; Warping; Lumber

## INTRODUÇÃO

Com o crescimento do setor industrial madeireiro faz-se necessário inovações nas formas e conduções dos plantios. Atualmente, observa-se o interesse na implantação de sistemas agroflorestais (SAF's), os quais envolvem a introdução do componente florestal em interação com o agrícola, por exemplo (CARON et al., 2018). Esses têm sido desenvolvidos com características específicas quanto às espécies utilizadas, ao arranjo temporal e espacial dos componentes e ao objetivo e funcionalidade do sistema (SCHWERZ et al., 2018).

Deste modo, a partir da vasta utilização de peças oriundas de madeira, torna-se necessário emprego de técnicas que, além de agregar valor, proporcionem um aumento na qualidade do produto. Dentre esses, destaca-se a secagem da madeira, a qual tem por objetivo a remoção da água do material de forma gradual, em menor tempo possível e mínima incidência de defeitos (MORETTI et al., 2020).

O processo de secagem é composto por diferentes fases, sendo que a escolha da técnica interfere no tempo, na qualidade e ainda, na obtenção do teor de umidade desejado para o produto final (ZEN et al., 2019; DELATORRE et al., 2020). Dentre todos os métodos, a secagem ao ar livre vem sendo empregada frequentemente, uma

vez que utiliza as condições ambientais de umidade relativa, temperatura e circulação de ventos para evaporação da água presente na madeira (LIEBL et al., 2017).

A técnica possui a vantagem do baixo investimento inicial em máquinas e equipamentos, porém, em contrapartida, demanda um maior tempo de execução quando comparado com outros processos, além do fato de que o teor de umidade final obtido que pode ser limitante para certos usos (SUSIN et al., 2014). Entretanto, cabe salientar que a secagem ao ar livre pode ser utilizada como pré-secagem para posterior finalização em estufa, reduzindo a incidência de defeitos geralmente observados nas fases iniciais do processo (TALGATTI et al., 2020).

Dessa forma, durante a etapa inicial do procedimento, ocorre a repentina perda de umidade superficial e a lenta translocação da umidade interna para a superfície, fazendo com que demande maior tempo para que se alcance a menor porcentagem de água possível no material, quando comparado aos demais métodos, o que explica a ineficácia da técnica em alguns casos (LIEBL et al., 2017; TALGATTI et al., 2018).

Inúmeros fatores contribuem na incidência de defeitos durante e após a secagem, dentre esses destacam-se a orientação anatômica das tábuas no momento do desdobro, sentido estrutural, tipo de grã, lenho de reação, presença de lenho juvenil junto à medula, bem como o uso inadequado dos tabiques ou sarrafos separadores, por exemplo (ZEN et al., 2019; MONTEIRO et al., 2017). As associações de todos esses fatores ocasionam a presença de aspectos negativos nas peças, como rachaduras e empenamentos (MÜLLER et al., 2017).

Assim, devido ao escasso número de trabalhos relacionados à utilização de técnicas de secagem com diferentes espécies oriundas de um SAF, a presente

pesquisa teve por objetivo avaliar a taxa e defeitos de secagem ao ar livre de quatro espécies provenientes de um sistema agroflorestal.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Para o desenvolvimento do trabalho foram abatidos dezesseis indivíduos com 11 anos de idade sendo, cinco de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan, quatro de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub., três de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e quatro de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, comumente denominadas de Angico, Canafístula, Eucalipto e Guapuruvu, respectivamente. Estes foram provenientes de um sistema agroflorestal (SAF) caracterizado por possuir espaçamento de plantio com 12 m entre linhas e 1,5 m entre plantas na linha, localizado em área experimental pertencente à Universidade Federal de Santa Maria, campus de Frederico Westphalen (UFSM/FW).

Em seguida, as toras a partir da altura do toco até 2,5 m de comprimento, confeccionadas com motosserra, foram encaminhadas até a serraria da UFSM/FW, onde a operação de desdobro primário foi realizada com auxílio de uma serra fita vertical com carro transportador. Nas tábuas, com dimensões de 0,0254 x 0,12 x 2,0 m (espessura, largura e comprimento, respectivamente) e obtidas pelo sistema de desdobro tangencial, sucessivo e paralelo ao eixo da casca, foram mensurados os defeitos de arqueamento, encanoamento, encurvamento, rachaduras de topo e presença de nós, de acordo com norma NBR 14806 (ABNT, 2002).

Após esse processo foram selecionadas, de maneira aleatória, três tábuas por espécie, as quais foram redimensionadas em 1,40 m de comprimento e, em seguida, amostradas as extremidades laterais com largura de 5 cm. Essas foram acondicionadas em estufa com circulação de ar forçada a 103 °C até peso constante para determinação

do teor de umidade inicial e massa específica básica de cada espécie. As porções resultantes do procedimento anterior, com 1,30 m de comprimento e denominadas de amostras de controle, foram distribuídas aleatoriamente na pilha e utilizadas para a determinação da umidade durante a secagem ao ar livre por meio de pesagem periódica, durante os meses de novembro de 2019 à janeiro de 2020.

A confecção da pilha horizontal de tábuas, com 70 cm de altura do solo, 95 cm de largura e 3,10 m de comprimento, foi efetuada no pátio da própria serraria, sendo planejada sobre um local nivelado, bem drenado e com boas condições de circulação de ar. Para a separação das camadas de tábuas foram utilizados sarrafos, com dimensões de 0,025 x 0,025 m (espessura x largura), dispostos 0,55 m entre si, bem como para evitar a incidência direta de raios solares e precipitação a pilha foi coberta com material à base de fibrocimento.

Para o estudo da influência do tempo na taxa de secagem das tábuas das espécies amostradas, os dados foram submetidos à análise de regressão pelo procedimento *Stepwise* de modelagem utilizando o pacote SAS (*Statistical Analysis System*), sendo o modelo definido por:

$$Tx = f \left( \text{tempo}; \frac{1}{\text{tempo}}; \text{tempo}^2; \frac{1}{\text{tempo}^2}; \ln(\text{tempo}); \frac{1}{\ln(\text{tempo})}; \sqrt{\text{tempo}}; \frac{1}{\sqrt{\text{tempo}}} \right)$$

Onde: Tx = Taxa de secagem das espécies amostradas, %/dia; tempo = tempo de secagem, dias.

O melhor modelo foi selecionado com base no coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ), erro padrão da estimativa ( $S_{xy}$ ), valor de F calculado e análise da distribuição dos resíduos. Após esse procedimento, no modelo escolhido para estimar a

variação da taxa de secagem em função do tempo, foram adicionadas variáveis *Dummy*, que assumiram valores de 0 e 1, conforme o material analisado, da seguinte forma:

$D_i = 1$ , se as tábuas foram provenientes da espécie  $i$ ;

$D_i = 0$ , as tábuas não foram provenientes da espécie  $i$ ;

Com isso, foi possível expressar as regressões individuais ajustadas para as quatro espécies em função de uma regressão linear múltipla, representada pelas variáveis independentes descritas na equação a seguir:

$$T_x = f(X; D_i; D_i.X)$$

Onde:  $T_x$  = Taxa de secagem das espécies estudadas, %/dia;  $X$  = tempo de secagem selecionado pelo procedimento *Stepwise* de regressão, dias;  $D_i$  = *Dummy* (espécies, onde  $i = 1$  Angico; 2 Canafístula; 3 Guapuruvu e 4 Eucalipto);  $D_i.X$  = interação da variável  $D_i$  com a variável  $X$ .

A determinação da transição da taxa de secagem foi realizada, primeiramente, com o auxílio da metodologia adaptada descrita por Ramos et al. (2011) na qual são utilizadas regressões lineares múltipla e simples. Dessa forma, os dados de cada espécie florestal, analisados com auxílio da variável *Dummy*, resultaram em uma regressão linear múltipla com dois pontos de inflexão, os quais foram utilizados para delimitação da zona de transição da taxa de secagem. A partir dessa análise, entre as inflexões encontradas, foi realizada uma regressão linear simples tangenciando a curva dos dados estimados para realçar o início e o final dessa faixa.

O tempo para taxa de secagem constante foi definido por meio de duas regressões lineares simples, uma aplicada para a parte descendente do período de secagem analisado (dias) e outra para a parte em que a mesma se mostrava constante. Os limites das duas distribuições de pontos amostrais foram definidos visualmente em gráfico antes do ajuste das equações. O início da taxa de secagem constante foi determinado pelo cruzamento das duas retas obtidas pelas equações de regressão (TREVISAN et al., 2017).

Os dados referentes aos defeitos das tábuas de cada espécie, nas condições pré e pós secagem ao ar livre, foram submetidos à análise de variância utilizando o pacote estatístico SAS e, no caso de rejeição da hipótese de igualdade de médias, ao teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

As condições climáticas observadas no decorrer dos 68 dias de execução da secagem ao ar livre evidenciaram valores médios de temperatura igual a 23,2 °C e umidade relativa de 69 %, bem como a precipitação total de 272 mm. Com relação ao teor de umidade inicial o Guapuruvu apresentou o maior valor com 155,8 %, seguido da Canafístula (66,8 %), Eucalipto (61,3 %) e Angico (40,0 %), os quais foram reduzindo, conforme o decorrer da secagem, até entre o 42º e 46º dia. Nesse período foi observado um acréscimo dessa característica, resultado da precipitação e umidade no local de estudo, seguido de nova redução até a umidade de equilíbrio, em todas as espécies estudadas (Tabela 1).

## Entra Tabela 1.

Os resultados referentes à espécie de Eucalipto estão em consonância com Duarte et al. (2015), os quais obtiveram um teor de umidade inicial e final de 54,0 e 14,1 %, respectivamente, e um tempo total de secagem igual a 63 dias. Para as demais espécies, devido à escassez de trabalhos, fez-se necessária a comparação das informações com indivíduos pertencentes à mesma família. Assim, os valores citados para Canafístula foram semelhantes aos evidenciados por Moretti et al. (2020) ao estudarem a madeira de Jatobá, com umidade inicial de 50,0 % e, após 36 dias de secagem ao ar livre, de 13,7 %.

Para o Angico, resultados semelhantes foram encontrados por Susin (2018), na madeira de Cumaru submetida a secagem em estufa com circulação de ar à temperatura constante de 60 °C, verificando-se baixo teor de umidade inicial igual a 34,3 % e final de 9,0 %. Já para o Guapuruvu observaram-se valores aproximados aos obtidos pelo mesmo autor ao pesquisar a espécie de Canelão, onde a umidade inicial e final foram iguais a 101,3 % e 8,0 %, respectivamente.

Com relação ao tempo, observa-se que no Angico a secagem ocorreu de maneira mais lenta e gradual quando comparada com as demais, provavelmente por essa espécie possuir a maior massa específica básica entre as estudadas, igual a 0,652 g/cm<sup>3</sup> (Tabela 1). Esse comportamento corrobora com os relatos de Braz et al. (2015) onde os mesmos citaram que quanto maior o valor dessa característica menor a permeabilidade da madeira e, conseqüentemente, mais lenta a secagem do material.

Aliado a isso, percebe-se um comportamento inversamente proporcional entre a massa específica básica e o teor de umidade inicial das quatro espécies analisadas. Para o Angico, a porcentagem de umidade encontrada foi de apenas 40,0 %, enquanto que para o Guapuruvu o resultado correspondente foi de 155,8 % (Tabela 1). Cabe ressaltar que essa variação é oriunda da relação entre massa e volume do material, uma vez que, com porcentagem de água acima de 30 % (Ponto de Saturação das Fibras - PSF), a madeira passa a alterar apenas a sua massa, o que interfere diretamente na densidade dos indivíduos (CANDATEN et al., 2019).

A equação selecionada pelo procedimento *Stepwise* de modelagem de regressão para estimar a taxa de secagem (Tx em %/dia) em função do tempo (dias), representada por  $Tx = -3,2 + 13,4 * (1/LN(\text{tempo}))$ , evidenciou uma variação decrescente e característica da madeira, ou seja, maior remoção de água nos primeiros dias de aplicação do método. No entanto, essa equação não pode ser utilizada para todas as espécies analisadas, pois as variáveis *Dummy*, bem como suas respectivas interações, foram significativas em nível de 5 % de probabilidade de erro (Tabela 2).

Entra Tabela 2.

Dessa forma, com vistas a analisar as diferenças das taxas de secagem entre as espécies detectadas na análise de variância, os dados foram plotados em função do tempo, ajustando-se à equação selecionada pelo procedimento *Stepwise*. A Figura 1

mostra os valores desse índice, estimados pelo modelo abaixo descrito, para as quatro espécies estudadas.

$$Tx = -2,3 + 9,66 \cdot 1/LN(\text{tempo}) + 1,06D1 - 4,35D1 \cdot 1/LN(\text{tempo}) + 0,65D2 - 1,87D2 \cdot 1/LN(\text{tempo}) - 5,39D3 + 21,29D3 \cdot 1/LN(\text{tempo})$$

Sendo: Tx = Taxa de secagem das espécies estudadas, %/dia; Di = *Dummy* (espécies);

Di.1/LN(tempo) = interação espécies (*Dummy*) com a variável 1/LN(tempo).

Entra Figura 1.

Durante os primeiros 30 dias de secagem ao ar livre a perda de umidade foi mais rápida e acentuada e, conseqüentemente, as taxas de secagem foram mais elevadas (Figuras 1A e 1B). O mesmo foi reportado por Braz et al. (2015), ao conduzirem a secagem da madeira de *Tectona grandis* e *Acacia mangium* ao ar livre, onde a maior perda de umidade, para as duas espécies, ocorreu nas primeiras semanas.

Essa variação decorre em função da presença de água livre contida nas cavidades da madeira (acima do PSF), sendo mantida por forças capilares fracas o que facilita a evaporação e resulta em elevadas perdas nas primeiras semanas de secagem (BRAZ et al., 2015; MONTEIRO et al., 2018; NASCIMENTO et al., 2019). Já abaixo do PSF a evaporação ocorre de maneira mais lenta e gradual, pois nessa etapa da secagem encontra-se a denominada água higroscópica, a qual está localizada nas paredes celulares e ligada por pontes de hidrogênio às moléculas polares de celulose. Devido a isso e, aliado com a necessidade de energia para a ruptura dessa ligação, o

processo de remoção é dificultado, pois o mesmo é resultante da combinação entre a difusão de umidade pelas paredes e lumens das células (JESUS et al., 2016).

A maior faixa de transição da taxa de secagem entre as espécies estudadas, com amplitude igual a 21 dias (Figura 2C), bem como o maior tempo para estabilização desse índice de 38 dias (Figura 2D) foram evidenciados na madeira de Canafístula. Nas demais, a transição ocorreu entre 18, 17 e 13 dias para Angico, Guapuruvu e Eucalipto, respectivamente, enquanto o tempo para atingir a taxa constante foi semelhante e situou-se entre o 33º e 34º dia (Figura 2A, 2B, 2E, 2F, 2G e 2H).

Entra Figura 2.

Tais taxas de secagem são influenciadas pelas condições de temperatura, umidade relativa e circulação dos ventos no local em que o material está disposto e tendem a estabilizar no decorrer do processo (PARK et al., 2014; ZEN et al., 2019). Assim, a redução e o equilíbrio desse índice, provavelmente, ocorrem a partir de um determinado momento em que a troca de calor não é mais compensada aliada com uma diminuição da superfície molhada devido à redução da pressão parcial de vapor de água (PARK et al., 2014).

Dentre os defeitos estudados, o único que não apresentou incidência pré e pós secagem, em todas as espécies analisadas, foi o encanoamento. Com relação ao arqueamento (Figura 3A) pode-se observar que, de maneira geral, houve um aumento desde o desdobro até o final da exposição das tábuas ao ar livre, sendo os maiores

valores evidenciados para o Angico. Tal espécie, juntamente com o Eucalipto pós secagem, apresentaram médias superiores a 0,5 %, limite máximo estabelecido pela Norma para Classificação de Madeira Serrada de Folhosas (IBDF, 1983), para esse defeito.

Entra Figura 3.

O aumento do arqueamento entre as etapas de processamento da madeira também foi relatado por Susin et al. (2014), Talgatti et al. (2018) e Zen et al. (2019) e pode ser explicado devido à disposição das tábuas na pilha, uma vez que as mesmas não possuem restrições laterais para impedir essa deformação (SOUZA et al., 2012).

Tal explicação pode ser melhor elucidada com a análise do encurvamento (Figura 3B), onde o processo de secagem resultou em uma redução de 47 % no empenamento das tábuas de Angico ao final do experimento. Essa tendência também foi obtida por Zen et al. (2019), em que a porcentagem desse empenamento decresceu com a execução da secagem de *Eucalyptus* spp. Dessa forma, a ação de peso na parte superior das pilhas e/ou das próprias peças, bem como o correto empilhamento e alinhamento dos sarrafos separadores (LIEBL et al., 2017; ZEN et al., 2019) minimizam a incidência desse defeito. Além disso, fatores como as proporções de lenho tardio e juvenil, a orientação do corte e as tensões ocasionadas pelo desdobro também explicam o encurvamento, uma vez que o mesmo pode se manifestar no momento do

corte e ainda, ser intensificado pelo processo de secagem (LIEBL et al., 2017; ZEN et al., 2019).

A porcentagem das tábuas que apresentaram rachaduras de topo, para as quatro espécies estudadas, foi de 30 % pré e 42 % pós secagem, ou seja, houve um aumento desse defeito com a exposição da madeira ao ar livre (Figuras 3C e 3D). A elevação dos valores foi decorrente das espécies de Canafístula, a qual apresentou uma porcentagem de tábuas defeituosas de 76 % para a melhor face (Figura 3D) e Eucalipto de 15 % para pior face (Figura 3C), o que está de acordo com Dittmann et al. (2017), Liebl et al. (2019) e Zen et al. (2019) para *Eucalyptus* spp. O aparecimento desse defeito pode ser explicado pelo gradiente de umidade, uma vez que, a madeira tende a secar mais rapidamente nas regiões contíguas da tábua, fazendo com que as fibras das partes mais externas alcancem umidade menor do que as internas, gerando tensões de secagem e, conseqüentemente, o aparecimento de rachaduras (SUSIN et al., 2014; MARCHESAN et al., 2015).

A presença de nós nas tábuas das quatro espécies foi verificada em 42 % do total, com destaque para a Canafístula, a qual não apresentou esse defeito, e Eucalipto, com apenas 27 % do material avaliado e índice de 2,1 nós/m<sup>2</sup>. De outra forma, as maiores incidências foram observadas no Guapuruvu, com aparecimento em 75 % do total das amostras e índice de 8,9 nós/m<sup>2</sup>, bem como no Angico, com 68 % e 5,7 nós/m<sup>2</sup>, o que diminui o valor agregado, a qualidade das peças e restringe o uso da madeira (DITTMANN et al., 2017).

## CONCLUSÕES

Com base nos resultados alcançados para a madeira serrada das espécies estudadas, conclui-se que, além de demonstrar um decréscimo gradual, a maior amplitude de transição da taxa de secagem, bem como o tempo para estabilização desse índice, ocorre na Canafístula, seguido de Angico, Guapuruvu e Eucalipto.

De maneira geral, apesar do elevado número de tábuas com rachaduras de topo, a Canafístula se destaca entre as espécies que integram o SAF estudado, uma vez que evidencia baixo índice para os defeitos avaliados, tanto na pré quanto na pós secagem. Em contrapartida, ainda que o Guapuruvu apresente uma elevada taxa de secagem, o mesmo também exibe um alto índice de rachaduras de topo, bem como de nós, comprometendo a qualidade do material.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR- 14806: madeira serrada de eucalipto**. Rio de Janeiro, 2002.

BRAZ, R. L.; DUARTE, A. P. C.; OLIVIERA, J. T. da S.; MOTTA, J. P.; ROSADO, A. M. Curva característica de secagem da madeira de *Tectona grandis* e *Acacia mangium* ao ar livre. **Floresta e Ambiente**, v.22, n.1, p.117-123, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.037913>.

CANDATEN, L.; BANDERA, E.; MANGINI, T. de S.; ZANCHETTA, L. da S.; TREVISAN, R. Massa específica básica, aparente saturada e teor de umidade da madeira de *Myrcianthes Pungens* (O. Berg) D. Legrand. **Enciclopédia Biosfera**, v.16, n.29, p.1026-1035, 2019. [http://dx.doi.org/10.18677/EnciBio\\_2019A85](http://dx.doi.org/10.18677/EnciBio_2019A85).

CARON, B. O.; ELLI, E. F.; BEHLING, A.; ELOY, E.; SCHMIDT, D.; STOLZLE, J. Growth of tree species and sugarcane production in agroforestry systems. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.90, n.2, p.2425-2436, 2018. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820170313>.

DELATORRE, F. M.; CUPERTINO, G. F. M.; SANTOS JR, A. J. dos; SILVA, A. M. da; DIAS JR, A. F.; CARVALHO, A. M. de. Behavior of Ingá wood (*Inga edulis* Mart) against machining tests. **Research, Society and Development**, v.9, n.8, 2020. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5119>.

DITTMANN, L. R.; SOUZA, J. T. de; BALDIN, T.; TALGATTI, M.; MENEZES, W. M. de. Métodos de empilhamento e qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus dunnii* e *Araucaria angustifolia* após secagem ao ar livre. **Scientia Agraria Paranaensis**, v.16, n.2, p.260-264, 2017.

DUARTE, M. M.; TREVISAN, R.; SUSIN, F.; ZEN, L. R.; VALERIUS, J. Drying curve and defects of *Eucalyptus* sp. wooden submitted to air drying. **Spanish Journal of Rural Development**, v.5, n.3, p.161-170, 2015. <https://dx.doi.org/10.5261/2015.gen3.14>.

IBDF - INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Norma para classificação de madeira serrada de folhosas**. Brasília, 1983. 67p.

JESUS, A. G.; MODES, K. S.; SANTOS; L. M. H.; BENTO, A. R.; JESUS, M. G. de; Comportamento das madeiras de três espécies amazônicas submetidas à secagem ao ar. **Nativa**, v.4, n.1, p.31-35, 2016. 10.31413/nativa.v4i1.3244.

LIEBL, O.; LOIOLA, P. L.; ZEN, L. R.; KLITZKE, R. J.; ROCHA, M. P. da. Influência dos parâmetros dimensionais da pilha na qualidade da madeira de *Eucalyptus* spp. submetida à secagem ao ar. **Floresta e Ambiente**, v.24, 2017. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.105514>.

MARCHESAN, R.; TECCHIO, M. M.; LOIOLA, P. L.; JUIZO, C. G. F.; ROCHA, M. P. da; KLITZKE, R. J. Avaliação das técnicas de anelamento e inserção de sabre em plantios de *Eucalyptus grandis* visando a qualidade da madeira serrada. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v.45, n.4, p.695-704, 2015. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v45i4.35776>.

MONTEIRO, T. C.; LIMA, J. T.; HEIN, P. R. G.; SILVA, J. R. M. da; TRUGILHO, P. F.; ANDRADE, H. B. Efeito dos elementos anatômicos da madeira na secagem das toras de *Eucalyptus* e *Corymbia*. **Scientia Forestalis**, v.45, n.115, p.493-505, 2017. 10.18671 / scifor.v45n115.07.

MONTEIRO, T. C.; LIMA, J.; SILVA, J.; ZANUNCIO, A. J.; BARAÚNA, E.. Water flow evaluation in *Eucalyptus* and *Corymbia* short logs. **Floresta e Ambiente**, v.25, n.2, 2018. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.065917>.

MORETTI, S. D. A.; SANTOS, C. M. M. dos; MASCARENHAS, A. R. P.; OLIVEIRA, J. P. de; ANJOS, S. P. dos. Avaliação do processo de secagem ao ar livre da madeira de jatobá na Amazônia. **Research, Society and Development**, v.9, n.9, 2020. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7258>.

MÜLLER, B. V.; ROCHA, M. P. da; KLITZKE, R. J.; SILVA, J. R. M. da; CUNHA, A. B. da.. Produção de madeira serrada com cinco espécies de eucalipto resistentes à geadas. **Advances in Forestry Science**, v.4, n.4, p.195-201, 2017. 10.34062/afs.v4i4.5231.

NASCIMENTO, T. M.; MONTEIRO, T. C.; BARAÚNA, E. P.; MOULIN, J. C.; AZEVEDO, A. M. Drying influence on the development of cracks in *Eucalyptus* logs. **Bio-resources**, v.14, n.1, p.220-233, 2019. 10.15376 / biores.14.1.220-233.

PARK, K. J. B.; PARK, K. J.; ALONSO, L. F. T.; CORNEJO, F. E. P., FABBRO, I. M. Secagem: fundamentos e equações. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.16, n.1, p.93-127, 2014. 10.15871 / 1517-8595 / rbpa.v16n1p93-127.

RAMOS, L. M. A.; LATORRACA, J. V. de F.; PASTRO, M. S.; SOUZA, M. T. de; GARCIA, R. A.; CARVALHO, A. M. de. Variação radial dos caracteres anatômicos da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e idade de transição entre lenho juvenil e adulto. **Scientia Forestalis**, v.39, n.92, p.411-418, 2011.

SCHWERZ, F.; MEDEIROS, S. L. P.; ELLI, E. F.; ELOY, E.; SGARBOSSA, J.; CARON, B. O. Plant growth, radiation use efficiency and yield of sugarcane cultivated in agroforestry systems: An alternative for threatened ecosystems. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.90, n.4, p.3265-3283, 2018. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820160806>.

SOUZA, J. T.; TREVISAN, R.; DENARDI, L.; STANGERLIN, D. M.; VIVIAN, M. A.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Qualidade da madeira serrada proveniente de árvores

dominantes e médias de *Eucalyptus grandis* submetidas à secagem. **Cerne**, v.18, n.1, p.167-174, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602012000100020>.

SUSIN, F. **Caracterização e secagem da madeira de 12 espécies amazônicas**. 2018. (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

SUSIN, F.; SANTINI, E. J.; STANGERLIN, D. M.; MORAIS, W. W. C.; MELO, R. R. Taxa de secagem e qualidade da madeira serrada de *Hovenia dulcis* submetida a dois métodos de secagem. **Floresta e Ambiente**, v.21, n.2, p.243-250, 2014. <https://doi.org/10.4322/floram.2014.016>.

TALGATTI, M.; SILVEIRA, A. G. da; BALDIN, T.; SOUZA, J. T. de; SANTINI, E. J. Outdoor drying and sawing quality of *Eucalyptus grandis* clones. **Scientia Agraria Paranaensis**, v.17, n.2, p.197-204, 2018.

TALGATTI, M.; BALDIN, T.; ROSSO, S. OLIVEIRA, L. H.; VALCORTE, G. Secagem da madeira de *Hovenia dulcis* e *Eucalyptus tereticornis* em forno micro-ondas com diferentes potências de temperatura. **Advances in Forestry Science**, v.7, n.3, p.1121-1128, 2020. 10.34062/afs.v7i3.10153.

TREVISAN, R.; ROSA, M. HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. S.; GATTO, D. A. Dimensões das fibras e sua relação com a idade de transição entre lenho juvenil e adulto de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Ciência Florestal**, v.27, n.4, p.1385-1393, 2017. <https://doi.org/10.5902/1980509830220>.

ZEN, L. R.; MONTEIRO, T. C.; SCHAEFFER, W. KAMINSKI, J. M.; KLITZKE, R. J. Secagem ao ar livre da madeira serrada de eucalipto. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v.7, n.2, p.291-298, 2019. <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v7n2.zen>.

TABELA 1: Teor de umidade médio em função do tempo de secagem ao ar livre e massa específica básica das quatro espécies analisadas.

TABLE 1: Average moisture content as a function of outdoor drying time and basic specific mass of the four species analyzed.

Tempo (dias)	Angico		Canafístula		Guapuruvu		Eucalipto	
	Tu	$\sigma$	Tu	$\sigma$	Tu	$\sigma$	Tu	$\Sigma$
0	40,0	$\pm 5,8$	66,8	$\pm 8,2$	155,8	$\pm 19,9$	61,3	$\pm 7,5$
5	30,6	$\pm 1,3$	51,9	$\pm 7,6$	101,4	$\pm 12,1$	44,2	$\pm 7,9$
8	26,9	$\pm 1,4$	46,8	$\pm 6,7$	84,1	$\pm 8,7$	38,2	$\pm 7,2$
11	22,9	$\pm 0,8$	40,4	$\pm 5,8$	60,6	$\pm 4,3$	30,6	$\pm 6,7$
14	21,7	$\pm 1,0$	37,7	$\pm 4,9$	48,6	$\pm 3,3$	27,4	$\pm 5,1$
18	16,4	$\pm 0,7$	30,3	$\pm 3,7$	26,3	$\pm 5,9$	19,2	$\pm 3,0$
21	13,9	$\pm 1,0$	26,0	$\pm 3,2$	16,5	$\pm 6,3$	15,3	$\pm 1,7$
27	14,5	$\pm 1,5$	23,6	$\pm 2,5$	14,9	$\pm 3,7$	15,3	$\pm 0,7$
29	13,3	$\pm 1,5$	19,9	$\pm 4,1$	11,8	$\pm 3,7$	13,7	$\pm 0,5$
33	11,6	$\pm 1,4$	17,0	$\pm 3,3$	8,8	$\pm 3,0$	11,8	$\pm 0,6$
36	11,7	$\pm 1,4$	16,2	$\pm 3,0$	9,4	$\pm 2,6$	12,1	$\pm 0,6$
42	11,0	$\pm 1,6$	13,9	$\pm 2,3$	8,2	$\pm 2,3$	10,0	$\pm 2,4$
46	13,9	$\pm 2,1$	15,2	$\pm 2,1$	11,9	$\pm 1,9$	12,3	$\pm 2,7$
48	12,3	$\pm 1,9$	14,1	$\pm 2,0$	10,0	$\pm 2,2$	11,2	$\pm 2,5$

53	12,3	±1,9	13,7	±1,9	9,2	±2,3	11,0	±2,8
57	11,4	±1,8	12,8	±1,9	8,2	±2,3	10,0	±3,0
60	11,5	±2,2	12,8	±1,4	9,3	±2,3	10,3	±3,1
64	11,6	±1,9	12,5	±1,6	9,2	±2,1	10,5	±2,8
68	11,4	±1,8	12,2	±1,6	8,9	±2,1	10,2	±2,7
$M_{eb}$	0,652	±0,012	0,488	±0,079	0,277	±0,039	0,509	±0,028

Sendo: Tu = teor de umidade de base seca, em %;  $M_{eb}$  = massa específica básica, em g/cm<sup>3</sup>;  $\sigma$  = desvio padrão da média.

Where: Tu = moisture content of dry base, in %;  $M_{eb}$  = basic specific mass, in g / cm<sup>3</sup>;  $\sigma$  = standard deviation of the mean.

TABELA 2: Análise de variância da regressão com variável *Dummy* (tipo SS1) da taxa de secagem em função do tempo para as quatro espécies analisadas.

TABLE 2: Analysis of variance of the regression with *Dummy* variable (type SS1) of the drying rate as a function of time for the four analyzed species.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Modelo	7	692,3	98,9	166,4	<,0001**
1/LN(tempo)	1	378,8	378,8	637,4	<,0001**
D1	1	26,7	26,7	44,9	<,0001**
D2	1	14,4	14,4	24,2	<,0001**
D3	1	52,6	52,6	88,5	<,0001**
D4	0	0	0	0	0
D1.1/LN(tempo)	1	46,1	46,1	77,6	<,0001**
D2.1/LN(tempo)	1	54,7	54,7	92,0	<,0001**
D3.1/LN(tempo)	1	118,9	118,9	200,2	<,0001**

D4.1/LN(tempo)	0	0	0	0	0
Erro	220	130,7	0,594	-	-
Total	227	823,1	-	-	-

Sendo: FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; Di = *Dummy* (espécies estudadas, onde i = 1 Angico; 2 Canafístula; 3 Guapuruvu e 4 Eucalipto); Di.1/LN(tempo) = interação espécies (*Dummy*) com a variável 1/LN(tempo); \*\* = significativo ao nível de 1 % de probabilidade de erro.

Where: FV = source of variation; GL = degrees of freedom; SQ = sum of squares; QM = average square; F = calculated F value; Prob.> F = level of probability of error; Di = *Dummy* (studied species, where i = 1 Angico; 2 Canafístula; 3 Guapuruvu and 4 Eucalipto); Di.1 / LN (time) = species interaction (*Dummy*) with variable 1 / LN (time); \*\* = significant at the level of 1% probability of error.

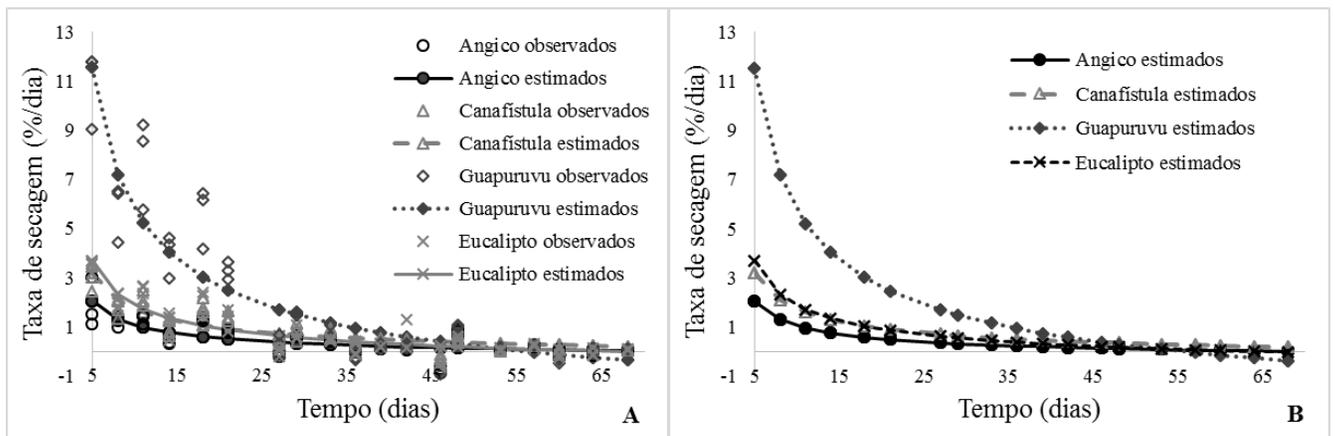


FIGURA 1: Taxa de secagem em função do tempo para as quatro espécies analisadas (A: todos os dados e B: somente estimados).

FIGURE 1: Drying rate as a function of time for the four species analyzed (A: all data and B: only estimated).

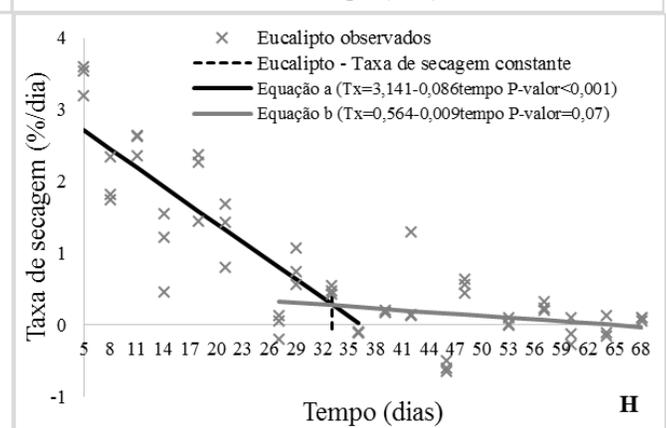
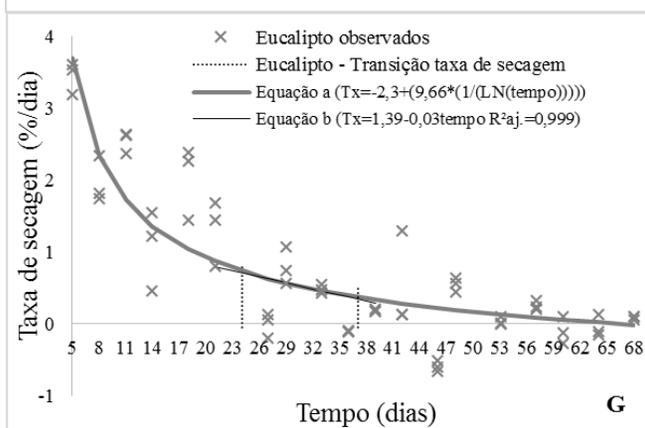
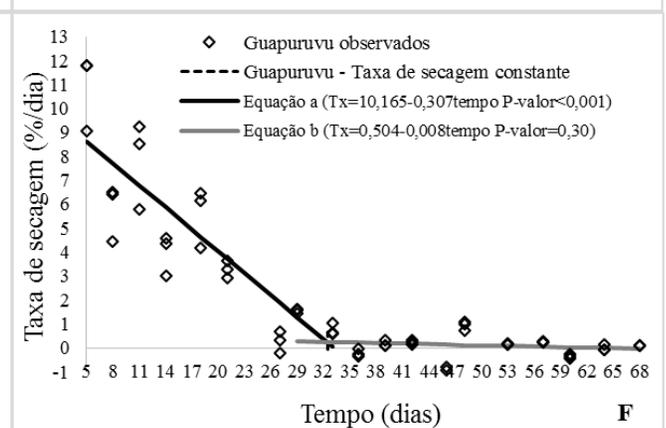
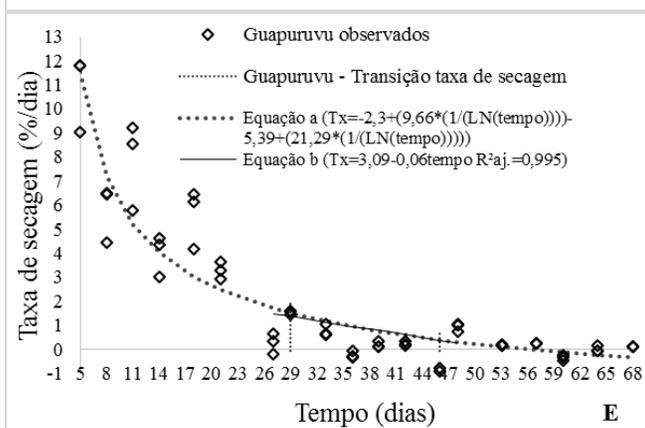
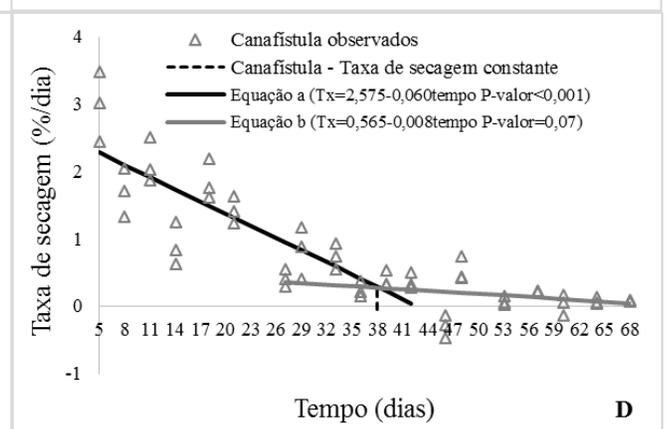
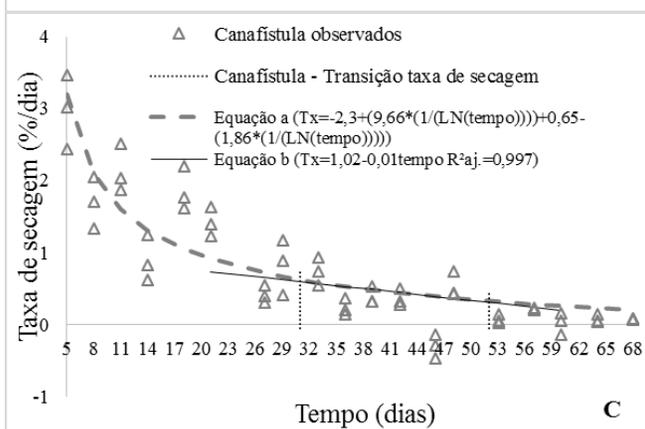
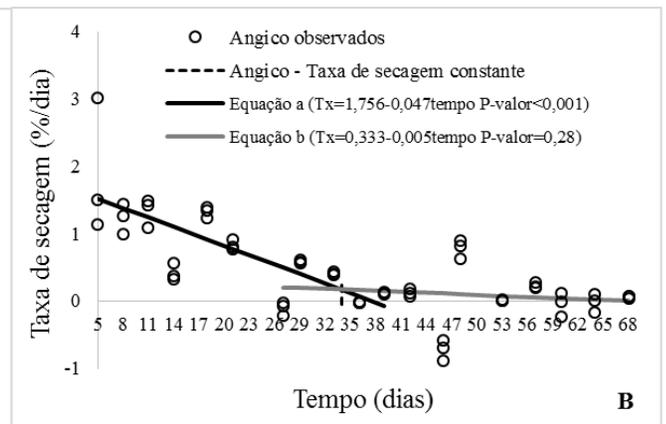
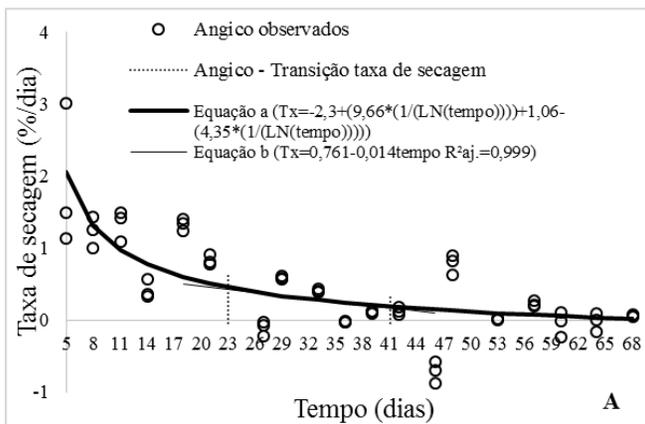
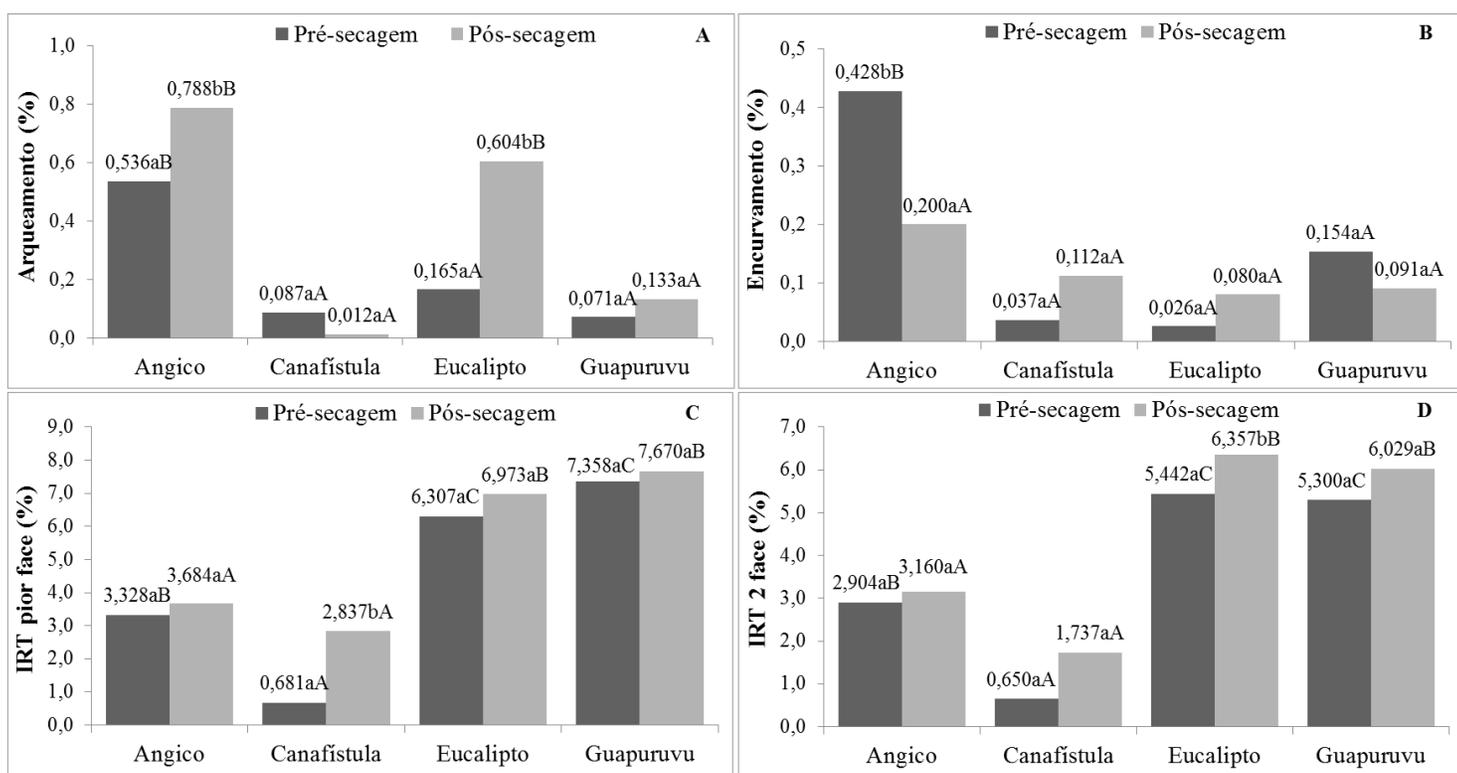


FIGURA 2: Transição da taxa de secagem e período para taxa constante em função do tempo para as quatro espécies estudadas (A e B = Angico; C e D = Canafístula; E e F = Guapuruvu; G e H = Eucalipto).

FIGURE 2: Transition from drying rate and period to constant rate as a function of time for the four species studied (A and B = Angico; C and D = Canafistula; E and F = Guapuruvu; G and H = Eucalyptus).



Em que: Letras minúsculas comparam as condições pré e pós secagem e letras maiúsculas comparam as espécies dentro de cada condição, de acordo com o teste de Tukey a 5 % de probabilidade de erro.

Where: Lower case letters on the line compare the pre and post drying conditions and upper case letters on the column compare the species within each condition, according to the Tukey test at 5% probability of error.

FIGURA 3: Análise dos defeitos em função da condição de secagem para as quatro espécies estudadas (A = Arqueamento; B = Encurvamento; C = IRT pior face; D = IRT 2 face).

FIGURE 3: Analysis of defects as a function of drying condition for the four studied species (A = Bending; B = Curving; C = IRT worst face; D = IRT 2 face).