

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS DE FREDERICO WESTPHALEN
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Tainara dos Santos Piecha

**ANATOMIA E SECAGEM DA MADEIRA DE QUATRO ESPÉCIES DE
UM SISTEMA AGROFLORESTAL**

Frederico Westphalen, RS
2021

Tainara dos Santos Piecha

**ANATOMIA E SECAGEM DA MADEIRA DE QUATRO ESPÉCIES DE
UM SISTEMA AGROFLORESTAL**

Trabalho de conclusão de curso II apresentado ao curso de Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, *Campus* Frederico Westphalen RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheira Florestal**.

Orientador: Prof. Dr. Rômulo Trevisan

Frederico Westphalen, RS, Brasil
2021

Tainara dos Santos Piecha

**ANATOMIA E SECAGEM DA MADEIRA DE QUATRO ESPÉCIES DE
UM SISTEMA AGROFLORESTAL**

Trabalho de conclusão de curso II apresentado ao curso de Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, *Campus Frederico Westphalen RS*), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheira Florestal**.

Aprovado em:

Rômulo Trevisan, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Magda Lea Bolzan Zanon, Dr^a. (UFSM)

Henrique Weber Dalla Costa, Ms. (UFSM)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por estar concluindo essa etapa de minha graduação, a minha família por todo apoio incondicional de sempre, em especial a minha mãe, irmão e pai, que não medem esforços na busca da realização deste meu sonho.

Agradeço ao professor Bráulio Otomar Caron e ao Laboratório de Agroclimatologia da UFSM/FW pela disponibilidade dos materiais para que essa pesquisa viesse a ser realizada.

Aos meus orientadores Rômulo Trevisan e Elder Eloy, por todos seus ensinamentos, conselhos, paciência e ajuda para que essa etapa fosse concluída.

Aos demais amigos por todo apoio e incentivo de sempre, por não me deixarem desistir deste sonho, gratidão Elisiane, Ivone, Luis Paulo, Kauana, Janderson e prof.^a Magda.

Ao auxílio de colegas e amigos do Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais da UFSM/FW, em especial Magda Rosa e Henrique Weber Dalla Costa, por toda ajuda.

Deixo aqui meu mais sincero obrigado e um forte abraço a todos.

RESUMO

ANATOMIA E SECAGEM DA MADEIRA DE QUATRO ESPÉCIES DE UM SISTEMA AGROFLORESTAL

AUTOR: TAINARA DOS SANTOS PIECHA

ORIENTADOR: RÔMULO TREVISAN

A secagem da madeira é um importante processo para conferir qualidade aos produtos de origem florestal e é influenciada pelas características anatômicas intrínsecas às diferentes espécies utilizadas. Desta forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência da anatomia na secagem da madeira de *Parapiptadenia rígida*, *Peltophorum dubium*, *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* e *Schizolobium parahyba* provenientes de um sistema agroflorestal. Para tanto, após a seleção e abate de três árvores de cada espécie, com idade de 9 anos, foi seccionado um torete na região do diâmetro à 1,30 m do solo (DAP) e confeccionados os corpos de prova, com dimensões de 5 x 5 x 15 cm, para análise da secagem e, com 1,5 x 1,5 x 2,0 cm, para as características anatômicas. A anatomia da madeira influencia na secagem das quatro espécies florestais. Os parâmetros anatômicos que mais influenciam na secagem são o diâmetro da fibra, diâmetro do lume da fibra, quanto maiores os valores, maior a intensidade de secagem. Dessa forma, a análise da anatomia das fibras da madeira deve ser considerada nos programas de secagem da madeira.

Palavras-Chave: teor de umidade, fibras, correlação de Pearson.

ABSTRACT

ANATOMY AND DRYING WOOD OF FOUR SPECIES OF AN AGRO-FOREST SYSTEM

AUTHOR: TAINARA DOS SANTOS PIECHA
ADVISOR: RÔMULO TREVISAN

The drying of wood is an important process to confer quality to forest products and is influenced by the anatomical characteristics intrinsic to the different species used. Thus, the present study aimed to evaluate the influence of anatomy on the drying of wood of *Parapiptadenia rigida*, *Peltophorum dubium*, *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* and *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake from an agroforestry system. For this purpose, after the selection and felling of three trees of each species, with 9 years of age, a log was sectioned in the region of the diameter at 1.30 m from the ground (DAP) and specimens were made with dimensions of 5 x 5 x 15 cm, for drying analysis and, with 1.5 x 1.5 x 2.0 cm, for anatomical characteristics. The wood anatomy influences the drying of the four forest species. The anatomical parameters that most influence the drying are the fiber diameter, fiber lumen diameter, the larger the values, the greater the drying intensity. Thus, the analysis of wood fiber anatomy should be considered in wood drying programs.

Keywords: moisture content, fibers, Pearson correlation.

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

UFSM/FW....Universidade Federal de Santa Maria Campus de Frederico Westphalen
DAP.....Diâmetro à Altura do Peito
IAWA.....*International Association of Wood Anatomists*
COPANT.....Comissão Panamericana de Normas Técnicas
SAS.....*Statistical Analysis System*
PSF.....Ponto de Saturação das Fibras
T_{Ue}.....Teor de umidade de equilíbrio
SAF.....Sistema Agroflorestral

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise anatômica das amostras de espécies florestais de um sistema agroflorestal.	19
Tabela 2 - Teor de umidade das amostras de espécies florestais nos períodos mais representativos de 40 dias de secagem.	20
Tabela 3 - Coeficiente de correlação de Pearson entre anatomia e secagem da madeira de quatro espécies florestais.	22

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	12
2.1.	OBJETIVO GERAL.....	12
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1	DESCRIÇÃO DAS ESPÉCIES UTILIZADAS NO SISTEMA AGROFLORESTAL .	13
3.2	ANATOMIA E SECAGEM DA MADEIRA	14
4	METODOLOGIA	15
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5.1	ANATOMIA	17
5.2	SECAGEM	18
5.3	CORRELAÇÃO	19
6	CONCLUSÃO	23
_____	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

1 INTRODUÇÃO

Em todo o mundo tem crescido o interesse pela implantação de sistemas agroflorestais (SAFs), sendo que os esforços para a sua difusão no Brasil são consideráveis. Os SAFs envolvem a introdução do componente florestal em interação com o agrícola (CARON et al., 2018) e têm sido desenvolvidos com características específicas quanto às espécies utilizadas, arranjo temporal e espacial, bem como objetivo e funcionalidade do sistema (SCHWERZ et al., 2018). A madeira da maioria destes sistemas é pouco conhecida tecnologicamente, e este fato representa um sério problema para a sua melhor utilização e, conseqüentemente, dinamização da atividade florestal (ELOY et al., 2018).

De maneira geral, a madeira é um recurso florestal de importância ambiental, econômica e social, sendo caracterizada como um material biológico, higroscópico, anisotrópico e heterogêneo. A higroscopicidade refere-se à capacidade de troca de umidade com o meio no qual está inserido, ou seja, em ambientes secos e úmidos perderá e ganhará umidade, respectivamente, até atingir o teor de umidade de equilíbrio. Já a anisotropia caracteriza-se pela variação dimensional assimétrica em relação aos planos anatômicos tangencial, radial e longitudinal em função da variação de umidade do material. Por fim, a heterogeneidade da madeira se deve ao conjunto de componentes anatômicos que desempenham funções particulares, formando indivíduos complexos, com propriedades e características próprias (BRAZ et al., 2015).

Um exemplo, que pode implicar diretamente na utilização final do produto, são os elementos anatômicos como traqueoides, vasos, fibras, parênquima radial e axial, os quais tornam a madeira um material poroso e caracterizam esse material como uma estrutura complexa à passagem dos fluídos líquidos e gasosos (MONTEIRO et al., 2017). Dessa forma, o estudo da anatomia da madeira possibilita a contribuição para a caracterização e diferenciação de espécies vegetais lenhosas, além de fornecer subsídios para entendimento das variações em suas propriedades, crescimento e qualidade do material.

Outro considerável processo na geração de produtos está relacionado com a secagem da madeira, uma vez que esta técnica reduz o risco de ataque que organismos xilófagos, melhora a trabalhabilidade (BATISTA et al., 2013), aumenta as propriedades de resistência e estabilidade dimensional. Dessa forma, a secagem adequada contribui para o aumento da qualidade do produto final, atendendo assim aos padrões exigidos pela indústria (CRISOSTOMO et al., 2016).

Diante do exposto, o conhecimento das espécies para uso agroflorestal deve considerar, além de seus atributos para atendimento dos requisitos de produção, as características de qualidade da madeira. Em função disto, deve-se selecionar espécies de múltiplo propósito para uso em sistema agroflorestais, visando facilitar a sua escolha em diferentes situações. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência da anatomia na secagem da madeira de quatro espécies de um sistema agroflorestal.

2 OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O presente estudo teve como objetivo avaliar a correlação da anatomia com a secagem da madeira de quatro espécies de um sistema agroflorestal

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Descrever a anatomia e a avaliar secagem da madeira das espécies florestais.

Avaliar a correlação de Pearson entre a anatomia e a secagem da madeira.

Determinar o teor de umidade de equilíbrio e teor de umidade final das quatro espécies florestais.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 DESCRIÇÃO DAS ESPÉCIES UTILIZADAS NO SISTEMA AGROFLORESTAL

O *Eucalyptos urograndis* é um híbrido desenvolvido no Brasil, o qual controlado, permite a união das características para a geração segregante de *E. grandis* x *E. uruphylla*. De acordo com Ribeiro et al. (2015) a espécie responde por 11 % dos plantios florestais no país, sendo inicialmente implantado no estado do Espírito Santo em 1979. Entretanto, somente na década de 1990 que a mesma impulsionou o ritmo de crescimento florestal, bem como a qualidade homogênea das florestas plantadas (COSTA, 2011).

A *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan, conhecida popularmente como angico-vermelho, é uma espécie florestal com relevante importância na recomposição de matas ciliares, no reflorestamento misto de áreas degradadas e ocorre naturalmente na Floresta Decidual austral, na Floresta Estacional Semidecidual, avançando em menor escala, na Floresta Ombrófila Mista. Da família das leguminosas (Leguminosae: Mimosoidae), caracteriza-se por ser decidual, tendo entre 20 e 35 m de altura, formando copa corimbiforme, composta por folhagem verde-escura. As árvores podem atingir DAP de até 1,2 m, apresentando uma madeira muito pesada, elástica e bastante durável, mesmo quando exposta, própria para construções rurais, pontes e dormentes ferroviários (SANTOS et al., 2013), bem como carpintaria, sendo sua casca rica em tanino e, por isto, aproveitada em curtumes (SCHUMACHER, 2004).

A espécie *Peltophorum dubium*, pertencente a família Fabaceae e conhecida como canafístula e angico-amarelo, pode ser considerada uma espécie pioneira de crescimento rápido, com grande potencial para reflorestamento (SILVA et al., 2017). De modo geral, é uma espécie nativa brasileira de ampla importância por sua utilização como planta ornamental, medicinal, na construção civil, naval e na recuperação de áreas degradadas (OLIVEIRA et al., 2008).

Já o *Schizolobium parahyba* (Vellozo) Blake, também pertence a família Fabaceae e vulgarmente denominado como guapuruvu, é uma espécie nativa da Mata Atlântica, heliófila, pioneira, que ocorre naturalmente desde o estado da Bahia até o Rio Grande do Sul, sendo comum em vegetação secundária e com potencial para uso na recuperação de matas ciliares. Por seu rápido crescimento a madeira pode ser empregada na construção civil e para caixotaria em geral e, a casca, na medicina popular por possuir propriedades terapêuticas adstringentes (CARVALHO, 2003; CONEGLIAN et al., 2016). O guapuruvu, também é visto como fonte promissora de pasta para celulose, despertando interesse a seu respeito (LORENZI, 1992).

3.2 ANATOMIA E SECAGEM DA MADEIRA

A caracterização anatômica da madeira pode ser dividida em macro e microscopia. Na primeira são observadas propriedades organolépticas perceptíveis como cor, odor, brilho, grã e textura; bem como anatômicas que englobam os tipos de parênquima, raios, poros, camadas de crescimento, fibras, tipos de placas de perfurações entre outras variáveis. Já na microscopia, são estudadas lâminas (histológicas e de macerado) contendo partes seccionadas do lenho, que dão princípio aos estudos anatômicos (LOPES, 2013).

O estudo da estrutura do lenho pode ser caracterizado pelo arranjo e quantidade proporcional de diferentes tipos de células, como fibras, traqueoides, vasos, parênquima axial e raios, os quais influenciam as diversas propriedades da madeira (SILVA et al., 2007). Um exemplo clássico pode ser evidenciado na massa específica desse material, a qual pode variar entre gêneros, espécies de um mesmo gênero, entre árvores dentro de uma mesma espécie e entre diferentes partes da mesma árvore, tanto no sentido longitudinal quanto no radial (SETTE JUNIOR et al., 2012).

Tendo em vista essa vasta diferenciação do lenho, a secagem da madeira torna-se uma aliada e uma etapa importante para a transformação da madeira em produtos de maior valor agregado, conferindo melhoria em várias propriedades, tais como aumento da resistência mecânica, redução da anisotropia (contração e inchamento), aumento da resistência a organismos xilófagos, entre outras (SANTOS, 2002; BATISTA; KLITZKE; ROCHA, 2012; ELEOTÉRIO et al., 2014).

O estudo da água presente no tronco da árvore é indispensável por se tratar de um parâmetro que afeta o comportamento do material durante as fases de processamento, secagem e preservação (SOUSA, 2012). Para isso, faz-se imprescindível o conhecimento dos dois principais tipos de água presentes na madeira. Durante o processo de secagem, a primeira água a ser liberada do material é denominada água livre ou de capilaridade, a qual ocupa o lúmen das células e espaços vazios, sendo retida por fracas ligações intercelulares (BRAZ et al., 2015). A segunda designa-se água impregnada, água de adesão ou higroscópica, contida nas paredes celulares das células (SOUZA, 2012).

O ponto de saturação das fibras (PSF), situa-se entre 20 e 35 % na maioria das espécies, e abaixo desse valor toda a umidade está absorvida pela fibra (ANANANIAS et al., 2013). O PSF é alcançado quando a parede celular se encontra completamente saturada e sem a presença de água livre nos lumens, ou seja, quando toda água livre é retirada da madeira (BRAZ et al., 2015).

4 METODOLOGIA

As madeiras das quatro espécies florestais: *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan, *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub., *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* e *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, foram obtidas de um sistema agroflorestal localizado na Universidade Federal de Santa Maria campus de Frederico Westphalen (UFSM/FW), Rio Grande do Sul a 27° 22" S; 53° 25" W, a 480 m de altitude. De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante da região é Cfa, caracterizado como sub-úmido subtemperado, com uma temperatura média anual de 18,8 °C e temperatura média do mês mais frio do 13,3 °C.

Para cada espécie selecionada, foram amostradas três árvores com aproximadamente nove anos de idade e os corpos de prova foram retirados da região do diâmetro à altura do peito (DAP) à 1,30 m do solo. A análise anatômica seguiu com a preparação de blocos com as dimensões de 1,5 cm radialmente x 1,5 cm tangencialmente x 2,0 cm transversalmente, na região do alburno e orientados para obtenção dos planos anatômicos transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial, totalizando 36 corpos de prova.

A avaliação histológica foi realizada de acordo com a norma técnica IAWA (1989), onde os corpos de prova foram amolecidos por fervura em água e, posteriormente, testados e cortados em micrótomo de deslizamento, com espessura de 18 micrometros. Finalizada a talha dos materiais, utilizou-se a dupla coloração, com Azul-de-Astra e Safranina, desidratação em série alcóolica (30 %, 50 %, 70 %, 90 % e 100 %) e montadas lâminas permanentes utilizando meio de montagem permanente tipo Entellan.

A maceração foi realizada de acordo com as recomendações de Franklin (1945), adotando-se a forma de palitos, submetidos à fervura durante 45 min em uma solução de ácidos. Para a coloração da pasta de células lenhosas, aplicou-se Safranina, seguido de serie alcóolica (50%) e o mesmo meio de montagem anteriormente mencionado para lâminas permanentes.

Para cada parâmetro anatômico foram realizadas 75 medições seguindo norma técnica COPANT (1973). Com base nas seções histológicas, foram avaliados o diâmetro dos vasos, frequência dos vasos, altura dos raios e largura dos raios. No material de macerado foram medidos o comprimento, largura e o diâmetro dos lúmens das fibras. Para os cálculos de espessura da parede celular das fibras foi utilizada a equação: $Cwt = (Fw \times Lw) / 2$, em que: Cwt = espessura da parede celular (μm); Fw = largura da fibra (μm); Lw = largura do lúmen. E a para fração da parede celular, a equação: $Cwf = (2 \times Cwt) / Fw \times 100$, em que: Wt = espessura

da parede (μm); F_w = largura da fibra (μm); L_w = largura do lúmen; C_{wf} = fração da parede celular (%).

Nas avaliações de secagem da madeira foram utilizados pranchões centrais contendo a medula, os quais foram dimensionados logo após a derrubada das árvores e confeccionados 25 corpos de provas, para cada material de estudo, com as dimensões de 5 cm radialmente x 5 cm tangencialmente x 15 cm transversalmente. Em seguida, esses foram mensurados em balança eletrônica de precisão para a determinação do peso verde das amostras e dispostos em estufa de circulação forçada, adaptada para monitoramento de perda de umidade, utilizando auxílio de termo-higrômetro e desumidificador de ar. Com isso, obteve-se o monitoramento e o controle da temperatura e umidade relativa do ar e, conseqüentemente, da secagem das amostras.

A perda de umidade dos materiais foi monitorada por um período de 40 dias, sendo os corpos de prova pesados duas vezes ao dia na primeira semana e uma vez nos dias seguintes. Os teores de umidade de base seca foram calculados utilizando a equação: $TU_{bs} = (P_u - P_s / P_s) * 100$, em que: TU_{bs} : teor de umidade de base seca em %; P_u : peso úmido, em g; P_s : peso seco, em g. Já o teor de umidade de equilíbrio foi obtido conforme metodologia elaborada por SIMPSON (1971).

Após o período de 40 dias, com início em maio de 2017 e término em junho de 2017 para a secagem, os corpos de prova, estabilizados no teor de umidade de equilíbrio médio de $12,6 \pm 3,5\%$, foram submetidos a estufa com circulação de ar forçada, à temperatura de $103\text{ }^\circ\text{C}$, para secagem a 0%. Posteriormente, os materiais foram retirados e pesados em uma balança eletrônica de precisão para determinação da massa seca.

Para a montagem e análise estatística dos dados foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado. Os dados foram submetidos à análise estatística através do *Software* “*Statistical Analysis System*” (SAS 2003), em que se procedeu com a análise de variância, teste F, análise de verificação da normalidade dos dados, a qual foi realizada pelo teste Shapiro-Wilk e a heterocedasticidade pelo teste de Bartlett, correlação de Pearson, e teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANATOMIA DA MADEIRA

A partir da análise do teste de médias, pode-se observar que as quatro espécies florestais apresentaram diferença entre si em todos parâmetros anatômicos avaliados. A madeira de *S. parahyba* possui os maiores valores de diâmetro das fibras (35,1 μm) e diâmetro dos vasos (187,1 μm), assim como, as maiores dimensões dos raios (256,4 μm e 38,2 μm), tanto em altura (256,4 μm) quanto em largura (38,2 μm). Em contrapartida, possui os menores valores para a frequência dos vasos (1,8 poros/ mm^2) e de fração parede das fibras (21,6 μm), sendo caracterizado como a espécie de maior porosidade entre as estudadas (Tabela 1). Estes resultados corroboram com os descritos por Nisgoski et al. (2012), que encontraram para *S. Parahyba*, um valor médio de diâmetro de vaso de 202,20 μm e de frequência de vaso de 2,02 poros/ mm^2 .

Tabela 1 - Análise anatômica da madeira das quatro espécies florestais.

Table 1 - Anatomical analysis of the wood of the four forest species.

Espécie	Comprimento de fibra	Diâmetro de fibra	Diâmetro de lume	Espessura da parede	Fração parede
<i>P. rigida</i>	872,6 ^{116,2} a	13,4 ^{2,8} c	5,7 ^{1,6} b	3,9 ^{0,8} b	57,8 ^{6,7} ab
<i>P. dubium</i>	690,2 ^{134,9} b	21,8 ^{5,9} b	8,1 ^{4,3} b	6,8 ^{2,0} a	64,0 ^{13,8} a
<i>E. urograndis</i>	850,1 ^{160,7} a	12,9 ^{2,7} c	5,9 ^{2,0} b	3,5 ^{0,9} b	55,2 ^{9,5} b
<i>S. parahyba</i>	882,1 ^{178,4} a	35,1 ^{6,1} a	27,6 ^{5,9} a	3,7 ^{1,1} b	21,6 ^{6,5} c

Espécie	Diâmetro de vaso	Frequência de vaso	Altura de raio	Largura de raio
<i>P. rigida</i>	89,1 ^{13,5} c	6,6 ^{1,7} b	132,9 ^{31,4} c	19,3 ^{3,2} c
<i>P. dubium</i>	123,9 ^{21,1} b	4,0 ^{1,3} c	189,5 ^{45,9} b	25,1 ^{7,0} b
<i>E. urograndis</i>	86,6 ^{23,5} c	14,8 ^{2,2} a	168,9 ^{60,8} b	13,5 ^{3,5} d
<i>S. parahyba</i>	187,1 ^{43,4} a	1,8 ^{0,9} d	256,4 ^{47,3} a	38,2 ^{5,8} a

Onde: Letras minúsculas nas colunas comparam as espécies; Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

A espécie *P. dubium* apresentou os maiores valores de espessura da parede das fibras (6,8 μm), assim como a maior fração parede das fibras (64,0 μm), não diferenciando do *P. rigida* para esta variável. Contudo, foram observados os menores valores de comprimento das fibras (690,2 μm). Da mesma forma, a espécie *E. urograndis* apresentou os maiores valores de

frequência dos vasos (14,8 poros/mm²) quando comparado com as demais, sendo que apresentou semelhanças estatística com a espécie *P. rigida* para todas as características anatômicas das fibras e do diâmetro dos vasos (Tabela 1). Resultados semelhantes foram relatados por Ammon, (2011), que observou o valor médio de frequência de vaso de 14,15 poros/mm² para espécies de *Eucalyptus* sp.

O comprimento de fibra da espécie de *E. urograndis* (850,1 µm) situou-se na faixa de valores encontrados na literatura a qual varia de 750 a 1400 µm (Silva et al., 2007). Em contrapartida, para o diâmetro de fibra (12,9 µm), observou-se valores inferiores aos da literatura, em que Silva et al., (2007) relatou o valor médio de 15,7 µm para a espécie de *E. grandis*.

Para a *P. rigida* foram encontrados valores de espessura da parede das fibras de 3,9 µm, diâmetro do vaso de 89,1 µm e frequência de vaso de 6,6 vasos/mm², sendo estes inferiores as médias relatadas por Muniz e Marchiori (2008) de 5 µm, 120 µm e 10 vasos/mm², respectivamente para a mesma espécie.

5.2 SECAGEM

O teor de umidade inicial variou de 66,67 % para a espécie *P. rigida* a 190,90 % para o *S. parahyba*. Em contrapartida, o teor de umidade final variou de 9,66 % para o *S. parahyba*, a 34,89 % para *P. dubium*, resultando em uma média final de 17,02 % entre as espécies estudadas (Tabela 2). Já o teor de umidade de equilíbrio (TUE) médio para os materiais em estudo foi de 12,6 ± 3,5, semelhante ao encontrado por Fioresi et al. (2014) que relataram um valor médio de 14,9 % para espécies de *Eucalyptus* sp.

Tabela 2 - Teor de umidade da madeira das quatro espécies florestais ao longo dos períodos de secagem.

Table 2 - Moisture content of the wood of the four forest species over the drying periods.

Espécie	Dias de secagem						
	0	0,5	1	1,5	2,5	5	7,5
<i>P. rigida</i>	66,67	64,96	63,57	59,06	55,92	45,43	35,91
<i>P. dubium</i>	127,80	125,98	122,20	115,17	107,77	96,29	83,26
<i>E. urograndis</i>	85,49	84,34	79,49	71,64	63,90	50,72	36,94
<i>S. parahyba</i>	190,89	183,62	176,09	174,09	148,57	115,55	79,02
	10	15	20	25	30	35	40
<i>P. rigida</i>	30,75	23,27	19,15	16,45	14,69	14,34	12,32

<i>P. dubium</i>	76,80	64,63	56,25	48,97	43,53	39,39	34,89
<i>E. urograndis</i>	30,24	21,18	17,11	14,83	13,37	13,10	11,19
<i>S. parahyba</i>	61,09	31,99	18,77	13,41	11,53	12,42	9,65

A relação resistência/umidade pode distinguir-se entre as diferentes espécies e suas propriedades (Alan et al., 2010), corroborando com o resultado encontrado no presente trabalho, em que a *P. dubium*, obteve a menor taxa de secagem em comparação as outras espécies. Em contraponto, o *S. parahyba* apresentou a maior taxa, alcançando o TUE aos 30 dias secagem. Já as espécies de *P. rigida* e *E. urograndis* atingiram igualmente o TUE aos 40 dias, estando de acordo com Eleotério et al., (2014) os quais afirmam que a espécie de *E. urograndis*, de forma geral é de difícil secagem quando comparada as demais, pois seca lentamente e com elevada propensão a defeitos.

5.3 CORRELAÇÃO

A partir da análise da correlação de Pearson, foi possível observar que a anatomia da madeira influenciou na secagem das espécies estudadas. Este resultado é importante para a análise com maior precisão das variáveis anatômicas no processo de secagem, demonstrando que ambas propriedades possuem uma correlação significativa.

Os maiores coeficientes de correlação de Pearson entre anatomia e secagem foram observados para as variáveis diâmetro da fibra (0,77), diâmetro do lume (0,76) e espessura da parede celular (0,73).

O comprimento da fibra apresentou uma correlação significativa e inversamente proporcional a partir do sétimo dia de secagem, em que, quanto maior o comprimento da fibra, menor foi a secagem do material. Já para o diâmetro da fibra, a correlação foi diretamente proporcional até o décimo quinto dia de secagem.

Tabela 3 – Coeficiente de correlação de Pearson entre anatomia e secagem da madeira de quatro espécies florestais.

Table 3 – Pearson correlation coefficient between wood anatomy and drying of four forest species.

Variável Anatômica	Dias de secagem						
	0	0,5	1	1,5	2,5	5	7,5
CF	-0,02 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	-0,21*
DF	0,77*	0,77*	0,76*	0,72*	0,76*	0,74*	0,69*
DL	0,76*	0,75*	0,74*	0,71*	0,73*	0,68*	0,57*
EPC	0,07 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,36*
FPC	-0,59*	-0,58*	-0,57*	-0,54*	-0,55*	-0,49*	-0,39*
DV	0,64*	0,63*	0,63*	0,57*	0,63*	0,61*	0,56*
FV	-0,53*	-0,52*	-0,53*	-0,49*	-0,56*	-0,60*	-0,62*
AR	0,61*	0,60*	0,60*	0,54*	0,59*	0,59*	0,52*
LR	0,66*	0,64*	0,65*	0,62*	0,66*	0,63*	0,60*

Variável Anatômica	Dias de secagem						
	10	15	20	25	30	35	40
CF	-0,30*	-0,41*	-0,43*	-0,46*	-0,46*	-0,46*	-0,46*
DF	0,58*	0,29*	0,09 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	-0,01 ^{ns}
DL	0,41*	0,04 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	-0,26*	-0,28*	-0,25*	-0,29*
EPC	0,50*	0,69*	0,72*	0,73*	0,72*	0,72*	0,72*
FPC	-0,14 ^{ns}	0,23*	0,42*	0,47*	0,49*	0,47*	0,49*
DV	0,46*	0,21*	0,05 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,03 ^{ns}
FV	-0,60*	-0,45*	-0,33*	-0,27*	-0,26*	-0,29*	-0,26*
AR	0,44*	0,19 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-0,02 ^{ns}
LR	0,50*	0,24*	0,07 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,01 ^{ns}

Onde: CF = Comprimento de Fibra; DF = Diâmetro de Fibra; DL= Diâmetro do Lume; EPC= Espessura da Parede Celular; FPC = Fração da Parede Celular; DV = Diâmetro do Vaso; FV = Frequência de Vaso; AR = Altura de Raio e LR = Largura do Raio.

Where: CF = Fiber Length; DF = Fiber Diameter; DL = Lume Diameter; ESP = Cell Wall Thickness; CPF = Cell Wall Fraction; DV = Vessel Diameter; VF = Vessel Frequency; AR = Radius Height and LR = Radius Width.

* = Correlação de Pearson significativa; ^{ns} = Correlação de Pearson não significativa.

A frequência dos vasos se correlaciona de forma inversamente proporcional a secagem, ou seja, quanto maior a quantidade de vasos por mm² menor é a velocidade de retirada da água da madeira. Isso ocorre pelo fato de que, quanto maior a quantidade de vasos, menor será o diâmetro de lumens, o que pode ser constatado na Tabela 1 para as espécies *E. urograndis* e *S. parahyba*.

O *E. urograndis* apresentou a maior frequência de vaso (14,8 vasos/mm²), em contrapartida menores valores de diâmetro de vaso (86,6 µm), o que justifica a secagem mais lenta, sendo estes valores semelhantes aos encontrados por Zanuncio et al. (2018), de 13,9

vasos/mm² e 90,1 µm, respectivamente. Já para o *S. parahyba* foi observada situação inversa, apresentando o maior diâmetro de vaso e a menor frequência de vaso, sendo relatada uma secagem mais rápida, justificando esta correlação inversamente proporcional.

Para o espessamento da parede e a fração parede de fibra, a espécie de *P. dubium* obteve os maiores valores. Estas características anatômicas da madeira influenciaram na redução da taxa de secagem. Isso foi comprovado pela correlação de Pearson, pois quanto maior o espessamento da parede e a fração parede, maior foi a dificuldade da retirada de umidade da madeira. Esta situação ocorre por que quanto maior a fração parede, maior será a densidade da madeira, demonstrando assim que a anatomia tem influência sobre estas variáveis e a retirada de água do material (SETTE JÚNIOR et al., 2012; ZANUNCIO et al., 2016).

A espécie de *S. parahyba* obteve o maior diâmetro de vaso e uma menor fração parede das fibras o que pode explicar sua maior taxa de secagem, quando comparado com as demais espécies (SKKAR, 1972; ENGELUND et al., 2013). Isso se deve ao fato de possuir menor proporção de parede para a passagem de líquidos, e conseqüentemente, ter maior porosidade em seu lenho, facilitando a retirada da água da madeira, corroborando com o observado por Kollmann e Côté (1968); Tarmian e Perré (2009). Para Derome et al. (2012) materiais que apresentam uma maior fração da parede, têm um menor volume de espaços vazios para estocar umidade. Este maior volume de fibras reduz a passagem da água e, conseqüentemente, diminui a velocidade de secagem.

O fato da espécie de *P. dubium* não ter alcançado o TUE como as demais, pode ser explicado, pois apesar de possuir um diâmetro de vaso maior, a mesma apresenta uma maior fração parede e a frequência de vasos é relativamente baixa, quando comparado aos outros materiais em estudo. Dessa forma, apesar dos vasos terem uma influência na secagem, facilitando o transporte da água dentro a madeira, as perdas de umidade ocorrem principalmente por difusão de fibras no sentido transversal e longitudinal (SKAAR, 1972), explicando a alta correlação existente entre o diâmetro da fibra com a secagem da madeira.

Para os parâmetros de altura e largura do raio, o *S. parahyba* foi o que obteve maiores valores, o que pode explicar o fato da secagem mais rápida quando comparado aos demais materiais, e assim alcançado o ponto de saturação de fibras (PSF) e o TUE de maneira mais rápido em comparação as demais espécies. A altura e largura de raio influenciaram de forma positiva a secagem da madeira até 10 e 15 dias de secagem, respectivamente, sendo que a partir desses períodos, a influência foi inversamente proporcional.

Assim, levando em consideração os resultados obtidos no presente estudo, recomenda-se que a anatomia da madeira deva ser considerada durante o desenvolvimento de programas

de secagem, pois seu conhecimento torna-se imprescindível na geração de produtos de boa qualidade e que atendam os padrões exigidos pela sociedade.

6 CONCLUSÃO

A partir do presente estudo pode perceber que a espécie de *S. parahyba* pode ser uma boa alternativa para cultivar de pequenas propriedades rurais, pois foi observado um ótimo desenvolvimento do indivíduo, além de ter uma secagem rápida e sem defeitos consideráveis, com a metodologia utilizada, visto que a maioria não possui estufas para secagem da madeira, assim, podendo ter como alternativa a secagem ao ar livre.

A anatomia da madeira influencia na secagem da madeira das espécies florestais.

O teor de umidade de equilíbrio médio para as quatro espécies florestais é de $12,6\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

O teor de umidade médio final da madeira é de 17,02 %, variando entre 9,66 % (*S. parahyba*), 11,19 % (*E. urograndis*), 12,32 % (*P. rigida*) e 34,89 % (*P. dubium*).

Os maiores coeficientes de correlação de Pearson são observados para o elemento anatômico fibra. As variáveis que apresentam os maiores valores são o diâmetro da fibra, o diâmetro do lume e a espessura da parede celular. Quanto maiores os seus valores, maior a intensidade de secagem, influenciando de forma diretamente proporcional, exceto para a espessura da parede celular que influenciou de forma inversamente proporcional.

A partir dos dados observados, conclui-se que a análise das fibras da madeira deve ser levada em consideração durante os programas de secagem da madeira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAN, V. M. et al. Resistência da madeira de canafístula (*Peltophorum dubium* (SPRENG.) TAUB.) ao psf e a umidade de equilíbrio. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 01, n. 01, p.11-24, 2010.

AMMON, R. de A. **Anatomia do lenho de dez espécies de Eucalyptus L'Hér.** 2011. 64 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.

ANANIAS, R. A. et al. Testing New In-Kiln Meter for Monitoring Lumber Moisture Content during Drying. **Drying Technology**, [s.l.], v. 31, n. 3, p.277-281, 17 fev. 2013. Informa UK Limited.

BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; ROCHA, M. P. Proposta De Programa De Secagem Para A Madeira De “Guajará” (*Micropholis venulosa* Mart. etEichler) Pierre, SAPOTACEAE. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 03, n. 01, p.22-32, 2012.

BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; ROCHA, M. P. Qualidade da secagem convencional conjunta da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus* ssp. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 3, n. 25, p.711-719, out. 2013.

BRAZ, R. L. et al. Curva Característica de Secagem da Madeira de *Tectona grandis* e *Acacia mangium* ao Ar Livre. **Floresta e Ambiente**, [s.l.], v. 22, n. 1, p.117-123, mar. 2015. FapUNIFESP (SciELO).

CARON, BO; ELLIEF; 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.

CARVALHO, P.E.R. Espécies arbóreas brasileiras: recomendações silviculturais de espécies florestais. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica; Colombo: EMBRAPA/CNPF, 2003. v.1, 1039p.

CONEGLIAN, A. et al. Initial growth of *Schizolobium parahybae* in Brazilian Cerrado soil under liming and mineral fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 10, p.908-912, ago. 2016.

COPANT. **Comissão Panamericana de Normas Técnicas:** descrição macroscópica, microscópica e geral da madeira – esquema I de recomendação. Colômbia, 1973. 19p. (COPANT 30).

COSTA, J. A. **Qualidade da madeira de *Eucalyptus urograndis* plantado no Distrito Federal, para produção de celulose Kraft.** 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Engenharia Florestal, Universidade de Brasília - Faculdade de Tecnologia, Brasília, 2011.

CRISÓSTOMO, M. C.; GOUVEIA, F. N.; COSTA, A. F. Relação entre o teor de umidade e a constante dielétrica de espécies de madeira da amazônia durante o processo de secagem. **Revista Árvore**, [s.l.], v. 40, n. 1, p.181-187, fev. 2016. Fap UNIFESP (SciELO).
DEROME, D.; ZILLIG, W.; CARMELIET, J. Variation of measured cross-sectional cell dimensions and calculated water vapor permeability across a single growth ring of spruce wood. **Wood Science And Technology**, [s.l.], v. 46, n. 5, p.827-840, 19 out. 2011. Springer Science and Business Media LLC.

ELEOTÉRIO, J. R. et al. Efeito da espécie e da condição de secagem na formação de defeitos na madeira serrada de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p.41-47, 2014.
Eloy, E; Silva, DA; Caron, BO; Elli, EF; Schwerz, F. Effect of age and spacing on biomass production in forest plantations. **Revista Árvore**. V.42, n.2, p. 1-11, 2018

ENGELUND, E. T. et al. A critical discussion of the physics of wood–water interactions. **Wood Science And Technology**, [s.l.], v. 47, n. 1, p.141-161, 14 out. 2012. Springer Nature..

FIORESI, T. et al. Umidade de equilíbrio da madeira na região norte do Rio Grande do Sul em diferentes estações do ano. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 05, n. 01, p.34-41, 2014.

FRANKLIN, G.L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood: resin composites, and a new macerating method for wood. *Nature*, v.155, p.51, 1945.

IAWA COMMITTEE. International Association of Wood Anatomists. List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Leiden, v.10, p. 220-332, 1989.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ, of wood science and tec Whn.Aol. oPgryin: cispolleisd wood. New York: Springer, 1968. v.1. 592p.

LOPES, O. P. **Anatomia e identificação da madeira de genótipos de *Eucalyptus* ssp. plantados no estado de Minas Gerais.** 2013. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** Nova Odessa: Editora Plantarum, 1992. 368p.

MONTEIRO, T. C. et al. Efeito dos elementos anatômicos da madeira na secagem das toras de *Eucalyptus* e *Corymbia*. **Scientia Forestalis**, [s.l.], v. 45, n. 115, p.493-505, 1 set. 2017. Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais (IPEF).

MUNIZ, G. I. B.; MARCHIORI, J. N. C. Anatomia da madeira de duas leguminosas mimosoideas da floresta estacional de misiones - argentina. **Balduinia**, Santa Maria, v. 01, n. 17, p.23-28, abr. 2008.

NISGOSKI, S. et al. Características anatômicas da madeira e índices de resistência do papel de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake proveniente de plantio experimental. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 94, p.203-211, jun. 2012.

OLIVEIRA, L. M.; DAVIDE, A. C.; CARVALHO, M. L. M. teste de germinação de sementes de *Peltophorum dubium* (sprengel) taubert - fabaceae. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 3, p.1-7, abr. 2008.

RIBEIRO, Elaino Paula et al. Análise inicial do super clone de eucalipto adubado com lodo de efluente suíno. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [s.l.], v. 35, n. 84, p.399-407, 31 dez. 2015. Embrapa Florestas.

SANTOS, F. E. V.; CALDEIRA, M. V. W.; KUNZ, S.H. Qualidade de mudas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan produzidas em diferentes substratos com lodo de esgoto e casca de arroz. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal - Enflo**, [s.l.], v. 1, n. 2, p.55-62, 31 out. 2013. Universidad Federal de Santa Maria.

SANTOS, G. R. V. **Otimização da secagem da madeira de *Eucalyptus grandis* (HILL ex MAIDEN)**. 2002. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SAS INSTITUTE. Getting started with the SAS Learning Edition. Cary, 2003. 200 p.

SCHUMACHER, M. V.; CECONI, D. E.; SANTANA, C. A. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de mudas de angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 01, p.149-155, 2004.

SCHWERZ, F, MEDEIROS, SLP, ELLI, EF, ELOY, E, SGARBOSSA, J; CARON, BO. 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. <<http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201820160806>>

SETTE JUNIOR, C. R. et al. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa-mg, v. 36, n. 6, p.1183-1190, 04 jun. 2012.

SILVA, G. H. et al. Aspects of *Peltophorum dubium* Sprengel (Taubert) seeds in an aerial seed bank. **Journal Of Seed Science**, [s.l.], v. 39, n. 1, p.32-40, mar. 2017. Fap UNIFESP (SciELO).

SILVA, J. C. et al. Influência da idade e da posição radial nas dimensões das fibras e dos vasos da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista árvore**, Viçosa, v. 31, n. 6, p.1081-1090, jun. 2007.

SIMPSON, W.T. 1971. Equilibrium moisture content prediction for wood, **Forest Products Journal**, 21(5): 48-49.

SKAAR, C. **Water in wood**. Syracuse: Syracuse University Press, 1972. 218p.

SOUSA, R. M. L. **Avaliação Experimental da Estabilidade Dimensional de Elementos em Pinho Bravo e Madeira Tratada Termicamente.** 2012. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Minho, Azurém, 2012.

TARMIAN, A.; PERRÉ, P. Air permeability in longitudinal and radial directions of compression wood of *Picea abies* L. and tension wood of *Fagus sylvatica* L. *Holzforschung*, v.63, n.3, p.352-356, 2009.

ZANUNCIO, A. J. V. et al. Anatomical, ultrastructural, physical and mechanical wood properties of two-year-old *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* CLONES. **Revista Árvore**, [s.l.], v. 42, n. 2, p.1-8, 2 jul. 2018. FapUNIFESP (SciELO).

ZANUNCIO, A. J. V. et al. Relationship between the anatomy and drying in *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla* WOOD. **Revista Árvore**, [s.l.], v. 40, n. 4, p.723-729, ago. 2016. Fap_UNIFESP (SciELO).