



**CAROLINA NOGUEIRA XAVIER**

**AVALIAÇÃO DA MADEIRA DE ESPÉCIES EXÓTICAS  
INVASORAS EM UNIDADE DE CONSERVAÇÃO**

**LAVRAS-MG  
2020**

**CAROLINA NOGUEIRA XAVIER**

**AVALIAÇÃO DA MADEIRA DE ESPÉCIES EXÓTICAS INVASORAS EM  
UNIDADE DE CONSERVAÇÃO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Ciência e Tecnologia da madeira para obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. José Reinaldo Moreira da Silva  
Orientador

Prof. Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho  
Coorientador

Prof. Dr. Paulo Fernando Trugilho  
Coorientador

**LAVRAS-MG  
2020**

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

Xavier, Carolina Nogueira.

Avaliação da madeira de espécies exóticas invasoras em  
Unidade de Conservação / Carolina Nogueira Xavier. - 2020.  
168 p. : il.

Orientador(a): José Reinaldo Moreira da Silva.

Coorientador(a): Alexandre Monteiro de Carvalho, Paulo  
Fernando Trugilho.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2020.  
Bibliografia.

1. Qualidade da madeira. 2. Propriedades da madeira. 3.  
Espécies alternativas. I. Silva, José Reinaldo Moreira da. II.  
Carvalho, Alexandre Monteiro de. III. Trugilho, Paulo Fernando.  
IV. Título.

**CAROLINA NOGUEIRA XAVIER**

**AVALIAÇÃO DA MADEIRA DE ESPÉCIES EXÓTICAS INVASORAS EM  
UNIDADE DE CONSERVAÇÃO**

**ASSESSMENT OF WOOD FROM INVASIVE TREES SPECIES IN  
CONSERVATION UNIT**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Ciência e Tecnologia da madeira para obtenção do título de Doutor.

Aprovada em 17 de abril de 2020.  
Dra. Andrea Vanini - Fiocruz  
Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho - UFRRJ  
Dra. Gilmara Pires de Moura Palermo - UFRRJ  
Dr. José Tarcísio Lima - UFLA

Prof. Dr. José Reinaldo Moreira da Silva  
Orientador

Prof. Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho  
Coorientador

Prof. Dr. Paulo Fernando Trugilho  
Coorientador

**LAVRAS-MG  
2020**

## AGRADECIMENTOS

À Deus por iluminar meu caminho, me proteger e colocar pessoas boas na minha vida.

À minha família, em especial aos meus pais Ana Maria e Ubiratan por me ensinarem que a educação é o maior bem que alguém pode ter e que sempre me falaram que o conhecimento ninguém pode tirar de mim. Por abrirem mão de muitas coisas para me proporcionar a conclusão do doutorado, sempre acreditando na minha capacidade, me incentivando. Sem vocês, certamente, não estaria aqui!

Ao Tafarel por dedicar seus finais de semanas e tempo livre para ajudar na tese, pela paciência, dedicação, carinho e amor, por me escutar, por estar perto mesmo longe, por cuidar de mim e me fazer feliz!

À Universidade Federal de Lavras e à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pela oportunidade do ensino público de qualidade proporcionado, instituições onde realizei graduação, mestrado e doutorado e especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, pela oportunidade de realizar o doutorado.

A CAPES, o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao prof. José Reinaldo pela orientação, confiança, e por compartilhar seus conhecimentos.

Aos professores Alexandre Monteiro e Paulo Trugilho pela coorientação no trabalho, pelo apoio, pela disposição em ajudar e esclarecer dúvidas.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira pelo conhecimento compartilhado.

Aos técnicos Claret, Carlos, Heber e Raisa que sempre estavam dispostos a ajudar no que fosse preciso.

À Fiocruz Campus Mata Atlântica pela disponibilização do material, em especial a Andrea Vanini, Renata Moyses, Jailton e a equipe de campo que auxiliaram na retirada das árvores.

Ao Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural da UFLA e a Fapemig pelo fornecimento dos equipamentos e suporte técnico para realização dos experimentos envolvendo microscopia eletrônica, em especial a técnica Aline.

Ao Laboratório de Anatomia da Madeira da UFLA, ao prof Fábio Akira, Uasmin, Jefyne e Paulo Duarte que me auxiliaram na realização do experimento referente à anatomia da madeira.

À equipe do Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira da UFRRJ e ao prof. João Vicente Latorraca que me ajudaram no desdobro das toras.

Aos discentes de Iniciação Científica Amanda, Enzo, Pedro, Raphaelly, Wigor, e a discente de Bic Junior Isabela que durante o doutorado me auxiliaram na realização dos experimentos, ficando até depois do horário quando precisava e até mesmo passando a noite no laboratório me ajudando na secagem da madeira, sem vocês não seria possível conseguir executar uma tese dessa dimensão.

Aos colegas do Laboratório de Usinagem da Madeira, José Jr., Lucas Geovane e Rodrigo Bastos, pelo auxílio na avaliação da qualidade da usinagem.

À rede de amigo que possuo mundo a fora e alguns mesmo longe me ajudaram, no campo e a carregar madeira, Cadu, Everton, Marcondes, Paulo César (PC), Zé Henrique, a revisar meus textos, Keiti Roseani, Michael Douglas e Letícia que foi minha consultora de anatomia da madeira, Lorena que me auxiliou nas elaborações de mapas e nas traduções e Rodrigo Simetti pela ajuda nas análises químicas.

As amigas que fiz em Lavras Cilene, Fabíola, Laura, Livia, Michele (Preta), Pâmela, Poliane (Poli), que me ajudaram na tese, que me fizeram rir, que ouviram meus desabafos, que me acalmaram e diminuíram a angustia do doutorado, isso tudo sempre acompanhado de um bom café.

À Aline, Lara e Julia que nesses últimos dois anos dividiram apartamento comigo pela paciência e pelas conversas.

À todos que em algum momento me ajudaram e mandaram energias positivas durante essa árdua trajetória que é o doutorado.

**MUITO OBRIGADA!!**

## RESUMO

Árvores de espécies exóticas invasoras causam diversos problemas à biota mundial, por exemplo, diminui o índice de riqueza das espécies, tornando-se ameaça à biodiversidade nativa e ao equilíbrio dos ecossistemas em Unidades de Conservação. Para reverter essa situação é necessária a remoção destas árvores das áreas protegidas, um processo oneroso e difícil. É de suma importância para o restabelecimento do equilíbrio do ecossistema a remoção destas árvores. Entretanto, após a retirada das mesmas, surge o impasse relativo à destinação deste material. O não conhecimento sobre as características da madeira torna difícil indicar usos mais adequados, o que acarretará em baixo valor agregado do material. O estudo das propriedades destas madeiras para torná-las uma alternativa de matéria prima para o setor madeireiro é essencial. O objetivo geral do estudo foi subsidiar alternativas de uso das espécies exóticas invasoras, pela avaliação de suas propriedades e indicar o seu potencial para o setor madeireiro. Foram estudadas três espécies exóticas invasoras da mata atlântica: *Artocarpus heterophyllus* Lamarck (Jaqueira), *Syzygium cumini* (L.) Skeels (Jamelão) e *Clitoria fairchildiana* R.A. Howard (Sombreiro). O estudo iniciou com a medição das características dendrométricas das árvores (diâmetro e altura comercial). As árvores foram derrubadas, as toras obtidas avaliadas quanto à qualidade de sua forma e o rendimento do desdobro foi determinado. Após o desdobro das toras, foi desenvolvido programa de secagem por espécie. As propriedades físicas, químicas, mecânicas e anatômicas da madeira foram avaliadas e verificou-se a existência de diferenças na direção medula-casca. Também foi analisada a qualidade da superfície usinada, além de sua relação com as características da madeira, visando à confecção de móveis. As espécies exóticas invasoras avaliadas possuem toras de boa qualidade, com rendimento de desdobro satisfatório, características que propiciam a utilização como madeira serrada. Em relação à secagem, as madeiras analisadas apresentaram baixa tendência a empenamentos e moderada incidência de rachaduras de topo e superfície, além de não apresentarem colapso, as três espécies podem ser agupadas em único programa de secagem. A madeira de Jamelão possui resistência mecânica adequada para uso na construção civil como vigas, caibros e moirões. A madeira de Jaqueira e Jamelão apresentaram boa trabalhabilidade, qualidade da superfície satisfatória e contrações baixas o que as tornam adequadas para produtos com maior valor agregado, como móveis, esquadrias, forros, além de apresentarem dureza adequada para serem utilizadas com pisos. Dentre as três espécies estudadas a madeira de Sombreiro foi a que apresentou menor resistência mecânica e qualidade da superfície (regular), limitando o uso da madeira a produtos de menor valor agregado de uso temporário, como exemplo formas de concreto utilizadas na construção civil. Verificou-se que diversos produtos madeireiros podem ser gerados a partir do material lenhoso das espécies exóticas invasoras. Assim, este material não pode ser visto como resíduo, mas como matéria-prima alternativa para fins madeireiros.

**Palavras-chave:** Qualidade da madeira. Jaqueira. Jamelão. Sombreiro.

## ABSTRACT

Invasive trees species proliferate without control and cause several problems to the local biota. This fact decreases the species richness index, causing a threat to biodiversity and the balance of ecosystems in Conservation Units. To reverse this situation, it is necessary to remove these trees from protected areas, an expensive and difficult process. It is importance to restore the balance of the ecosystem and remove these trees. However, after their removal, an outbreak or impasse regarding the destruction of this material. The lack of knowledge about the characteristics of the wood makes it difficult to indicate more appropriate uses, which makes the added value of the material lower. The study of these properties made to show an alternative raw material for the wood sector is essential. General objective was to subsidize alternatives for the use of invasive species, by assessing their properties and indicating their potential for the timber sector. Three invasive species of the Atlantic Forest were studied: *Artocarpus heterophyllus* Lamarck (Jackfruit), *Syzygium cumini* (L.) Skeels (Java plum) and *Clitoria fairchildiana* R.A. Howard (Sombreiro). The study started with the dendrometric characteristics of the trees (diameter and commercial height). The trees were felled, as the logs were evaluated for the quality of their shape and the yield of the breakdown was determined. After the breakdown of the logs, the drying schedule was developed by species. The physical, chemical, mechanical and anatomical properties of the wood were evaluated and differences in the pith-bark direction were verified. The quality of the machined surface was also analyzed, in addition to its relationship with wood resources, allowing the manufacture of furniture. The invasive species evaluated have good quality logs, with satisfactory breakdown performance, characteristics favorable for use as sawn wood. Regarding drying, the analyzed woods showed a low tendency to warp and a moderate incidence of top and surface cracks, in addition to not having collapse, the three species can be plowed in a single drying schedule. Java plum wood has adequate mechanical strength for use in civil construction such as beams, rafters and fences. The Jackfruit and Java plum wood showed good workability, satisfactory surface quality and low contractions, which make them suitable for products with greater added value, such as furniture, frames, ceilings, in addition to presenting adequate hardness to be used with floors. Among the three species studied, Sombreiro wood showed the least mechanical resistance and surface quality (regular), limiting the use of wood to products of lower added value for temporary use, such as concrete forms used in civil construction. It was found that several wood products can be generated from the woody material of invasive species. Thus, this material cannot be seen as waste, but as an alternative raw material for timber purposes.

**Keywords:** Wood quality. Jackfruit. Java plum. Sombreiro.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Áreas protegidas do Município do Rio de Janeiro.....	20
Figura 2 - Exemplar da árvore de Jaqueira utilizada no estudo, localizado no Campus Fiocruz Mata Atlântica, RJ.....	25
Figura 3 - Exemplar da árvore de Jamelão utilizada no estudo, localizado no Campus Fiocruz Mata Atlântica, RJ.....	27
Figura 4 - Exemplar da árvore de Sombreiro utilizada no estudo, localizado no Campus Fiocruz Mata Atlântica, RJ.....	29
Figura 5 - Representação da profundidade máxima do vale ( $R_v$ ), da altura máxima do pico ( $R_p$ ) e altura máxima $R_z$ no perfil de rugosidade. ....	45
Figura 6 - Representação da altura total do perfil ( $R_t$ ), do comprimento de avaliação – cut-off ( $L_c$ ), do comprimento de medição ( $L_m$ ). ....	46
Figura 7 - Área da zona de amortecimento do Parque Estadual Pedra Branca, Campus FioCruz Mata Atlântica e georreferenciamento das árvores estudadas. ....	66
Figura 8 – Esquema de avaliação da conicidade e achatamento da tora. ....	68
Figura 9 - Esquema do desdobro utilizado para obtenção de tábuas e pranchão central das espécies Jaqueira, Jamelão e Sombreiro. ....	69
Figura 10 - Dados dendrométricos das três espécies.....	71
Figura 11 – Frequência das classes de qualidade das toras em relação à conicidade.....	73
Figura 12 - Frequência das classes de qualidade das toras em relação ao achatamento da base e do topo.....	73
Figura 13 - Ensaio de compressão paralela às fibras da madeira de Sombreiro (A), método de montagem para o ensaio de cisalhamento (B), ensaio de dureza Janka paralelo (C) e perpendicular (D) às fibras na madeira de Jamelão, ensaio de flexão estática da madeira de Jamelão (E).....	85
Figura 14 - Plano de corte transversal (A), tangencial (B) e radial (C) da madeira de Jaqueira na objetiva de 10x. Barras: 100 $\mu\text{m}$ .....	87
Figura 15 - Plano de corte transversal (A), tangencial (B) e radial (C) da madeira de Jamelão na objetiva de 10x. Barras: 100 $\mu\text{m}$ .....	89
Figura 16 - Pontoações intervasculares (A) e placa de perfuração (B) na madeira de Jamelão na objetiva de 40x. Barras: 100 $\mu\text{m}$ .....	90
Figura 17 - Plano de corte transversal (A), tangencial (B) e radial (C) da madeira de Sombreiro na objetiva de 10x. Barra de escala de 100 $\mu\text{m}$ . ....	92
Figura 18 - Retrações lineares x umidade das madeiras de Sombreiro, Jamelão e Jaqueira.....	96
Figura 19 - Demarcação das três regiões radiais de amostragem.....	117
Figura 20. Confecções dos corpos-de-prova para secagem drástica. ....	117
Figura 21 - Curva de secagem nas regiões externa, intermediária e central da madeira de Jaqueira. ....	124

Figura 22 - Curva de secagem nas regiões externa, intermediária e central da madeira de Jamelão.....	125
Figura 23 - Curva de secagem nas regiões externa, intermediária e central da madeira de Sombreiro.....	125
Figura 24 - Curva de secagem das madeiras de Jaqueira Jamelão e Sombreiro. ....	126
Figura 25 - Corpo-de-prova para testes de usinagem na madeira de Jaqueira. ....	139
Figura 26 - Rugosímetro Taylor Hobson modelo Surtronic S116. Barra: 5 cm.....	140
Figura 27 - Classificação da qualidade da superfície aplainada da madeira de Jaqueira. ....	144
Figura 28 - Porcentagem das notas atribuídas ao aplainamento na velocidade de avanço de 6 e 15 m*min <sup>-1</sup> nas regiões externa, intermediária e central da madeira de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro.....	146
Figura 29 - Porcentagem das notas atribuídas à moldura de topo e axial nas regiões externa, intermediária e central da madeira de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro.....	148
Figura 30 - Porcentagem das notas atribuídas na fresagem axial sinuosa no início e final da operação nas regiões externa, intermediária e central nas madeiras de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro.....	150
Figura 31 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) das superfícies aplainadas a velocidade de avanço de 6 (A) e 15 (B) m*min <sup>-1</sup> da madeira de Jaqueira na região central. Barras: 200 µm .....	152
Figura 32 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) das superfícies aplainadas a velocidade de avanço de 6 (A) e 15 (B) m*min <sup>-1</sup> da madeira de Jamelão na região intermediária. Barras: 200 µm.....	152
Figura 33 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) das superfícies aplainadas a velocidade de avanço de 6 (A) e 15 (B) m*min <sup>-1</sup> da madeira de Sombreiro na região central. Barras: 200 µm. ....	153
Figura 34 - Dendrograma de agrupamento dos parâmetros de rugosidade, em função da espécie, do sentido de leitura e da velocidade de avanço.....	158
Figura 35 - Comparação do perfil de rugosidade superficial da madeira de Jaqueira, em função das velocidades de avanço de 6 e 15 m*min <sup>-1</sup> , no sentido de leitura paralelo (A) e perpendicular (B) às fibras.....	159
Figura 36 - Comparação do perfil de rugosidade superficial da madeira de Jaqueira, em função do sentido de leitura paralelo e perpendicular, nas velocidades de avanço de 6 m*min <sup>-1</sup> (A) e 15 m*min <sup>-1</sup> (B).....	160

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores estimados para bens e serviços gerados pelas Unidades de Conservação. ....	19
Tabela 2 - Números de registro na Xiloteca do Departamento de Produtos Florestais do Instituto de Florestas da UFRRJ das espécies estudadas. ....	67
Tabela 3 - Classificação da qualidade das toras segundo sua forma. ....	69
Tabela 4 - Valores médios da conicidade e achatamento na base e no topo. ....	72
Tabela 5 - Volume das costaneiras, das toras e das madeiras serradas e rendimento do desdobro. ....	74
Tabela 6 - Correlação entre rendimento, conicidade, achatamento e diâmetro da tora. ....	75
Tabela 7 - Equação para estimar o rendimento do desdobro. ....	75
Tabela 8 - Dimensão dos corpos-de-prova de cada ensaio mecânico. ....	84
Tabela 9 - Célula de carga utilizada e propriedades mecânicas obtidas em cada ensaio. ....	85
Tabela 10 – Valores anatômicos mínimos, médios e máximos dos vasos, dos raios e das fibras, da madeira de Jaqueira, em função da variação radial. ....	88
Tabela 11 - Valores anatômicos mínimos, médios e máximos dos vasos, dos raios e das fibras, madeira de Jamelão, em função da variação radial. ....	90
Tabela 12 - Valores anatômicos mínimos, médios e máximos dos vasos, dos raios e das fibras, da madeira de Sombreiro, em função da variação radial. ....	93
Tabela 13 - Comparação das propriedades físicas da madeira de Jaqueira Jamelão e Sombreiro, em função da variação radial. ....	95
Tabela 14 - Comparação das características químicas da madeira de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro em função da variação radial. ....	98
Tabela 15 - Comparação das propriedades mecânicas da madeira de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro em função da variação radial. ....	101
Tabela 16 - Correlação das propriedades anatômicas com as propriedades físicas, químicas e mecânicas. ....	103
Tabela 17 - Correlação das propriedades físicas com as propriedades químicas e mecânicas. ....	105
Tabela 18 - Correlação das propriedades químicas e mecânicas. ....	106
Tabela 19 - Variáveis para o programa de secagem. ....	118
Tabela 20 - Equações para determinação dos parâmetros do programa de secagem. ....	119
Tabela 21 - Escores atribuídos para as rachaduras de topo e superfície decorrentes do processo de secagem. ....	120
Tabela 22 - Média da densidade básica e umidade inicial nas regiões externa, intermediária e central das madeiras de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro. ....	121
Tabela 23 - Médias do tempo, taxa de secagem e rachaduras em cada região radial para as madeiras de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro. ....	122

Tabela 24 - Correlação entre o tempo e a taxa de secagem e as propriedades anatômicas, físicas e químicas da madeira.....	128
Tabela 25 - Parâmetros de secagem para as três espécies estudadas, .....	129
Tabela 26 - Programa de secagem desenvolvido para a madeira de Jaqueira.....	130
Tabela 27 - Programa de secagem desenvolvido para a madeira de Jamelão. ....	130
Tabela 28 - Programa de secagem desenvolvido para a madeira de Sombreiro. ....	131
Tabela 29 - Classificação e notas atribuídas para qualidade da superfície da madeira. ....	140
Tabela 30 – Notas médias, mínimas, máximas e o coeficiente de variação em cada operação de usinagem nas regiões externa, intermediária e central das madeiras de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro. ....	143
Tabela 31 - Correlação entre as notas das operações de usinagem. ....	151
Tabela 32 - Parâmetros de rugosidade na superfície aplainada na $V_f$ de 6 e 15 $m \cdot \text{min}^{-1}$ , leituras paralelas e perpendiculares às fibras, em três regiões da madeira de Jaqueira.....	154
Tabela 33 - Parâmetros de rugosidade na superfície aplainada na $V_f$ de 6 e 15 $m \cdot \text{min}^{-1}$ , leituras paralelas e perpendiculares às fibras, em três regiões da madeira de Jamelão.....	155
Tabela 34 - Parâmetros de rugosidade na superfície aplainada na $V_f$ de 6 e 15 $m \cdot \text{min}^{-1}$ , leituras paralelas e perpendiculares às fibras, em três regiões da madeira de Sombreiro. ....	156
Tabela 35 - Correlação entre densidade aparente, notas atribuídas na avaliação visual e parâmetros de rugosidade obtidos por leituras paralelo e perpendicular às fibras, de madeiras aplainadas na velocidade de avanço de 6 e 15 $m \cdot \text{min}^{-1}$ .....	161
Tabela 36 - Correlação das características anatômicas, notas da avaliação visual para a moldura de topo e aplainamento na velocidade de avanço de 6 $m \cdot \text{min}^{-1}$ e parâmetros de rugosidade obtidos paralelo às fibras.....	163

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL .....	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	17
2.1	Unidades de Conservação .....	17
2.2	Parque Estadual da Pedra Branca.....	19
2.3	Campus Mata Atlântica da Fiocruz.....	21
2.4	Espécies exóticas invasoras em Unidades de Conservação .....	22
2.4.1	Jaqueira - <i>Artocarpus heterophyllus</i> Lamarck .....	25
2.4.2	Jamelão - <i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels.....	26
2.4.3	Sombreiro - <i>Clitoria fairchildiana</i> R.A. Howard.....	28
2.5	Qualidade das toras e rendimento no processo de desdobro .....	30
2.6	Características anatômicas .....	31
2.7	Propriedades físicas.....	32
2.8	Propriedades químicas.....	32
2.9	Propriedades mecânicas .....	33
2.10	Variação radial das características da madeira.....	34
2.11	Água na madeira.....	35
2.12	Propriedades da madeira que influenciam na secagem .....	36
2.13	Programas de secagem .....	38
2.14	Defeitos de secagem.....	39
2.15	Secagem drástica.....	40
2.16	Usinagem da madeira .....	41
2.17	Qualidade da superfície usinada da madeira .....	42
2.18	Qualificação da superfície usinada da madeira .....	43
2.19	Rugosidade da madeira .....	43
2.20	Parâmetros de rugosidade.....	44
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>47</b>
	<b>CAPÍTULO 1: AVALIAÇÃO DA CONICIDADE E ACHATAMENTO DAS TORAS E DO RENDIMENTO NO DESDOBRIO .....</b>	<b>63</b>
1	INTRODUÇÃO .....	65
2	MATERIAL E MÉTODOS .....	66
2.1	Área de estudo e amostragem das árvores.....	66
2.2	Determinação da conicidade e do achatamento das toras .....	68
2.3	Desdobro das toras e rendimento .....	69
2.4	Análises estatísticas.....	70
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	71
3.1	Características dendrométricas.....	71
3.2	Qualidade das toras .....	72
3.3	Rendimento do desdobro.....	74
4	CONCLUSÕES.....	76
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>76</b>
	<b>CAPÍTULO 2: AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES ANATÔMICAS, FÍSICAS, QUÍMICAS E MECÂNICAS NO SENTIDO MEDULA-CASCA .....</b>	<b>78</b>
1	INTRODUÇÃO .....	80
2	MATERIAL E MÉTODOS .....	81
2.1	Determinação das características anatômicas.....	81
2.2	Determinação das propriedades físicas .....	82

2.3	Determinação das propriedades químicas .....	83
2.4	Determinação das propriedades mecânicas.....	84
2.4	Análises estatísticas.....	86
3	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	87
3.1	Características anatômicas .....	87
3.1.1	Jaqueira - <i>Artocarpus heterophyllus</i> .....	87
3.1.2	Jamelão - <i>Syzygium cumini</i> .....	89
3.1.3	Sombreiro - <i>Clitoria fairchildiana</i> .....	91
3.2	Propriedades físicas.....	94
3.3	Propriedades químicas.....	97
3.4	Propriedades mecânicas .....	100
3.5	Correlação das propriedades anatômica, físicas, químicas e mecânicas .....	103
4	<b>CONCLUSÕES</b> .....	106
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	107
	<b>CAPÍTULO 3: EFEITO DAS PROPRIEDADES ANATÔMICAS, FÍSICAS E QUÍMICAS NA SECAGEM DA MADEIRA DE ESPÉCIES EXÓTICAS INVASORAS E ELABORAÇÃO DE PROGRAMA DE SECAGEM</b> .....	114
1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	116
2	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	117
2.1	Confecção dos corpos-de-prova .....	117
2.2	Elaboração do programa de secagem pelo método de secagem drástica .....	118
2.3	Determinação dos defeitos de secagem pelo método de secagem drástica .....	120
2.4	Análises estatísticas.....	120
3	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	121
3.1	Avaliação da densidade básica, umidade, tempo, taxa de secagem e rachaduras .....	121
3.2	Correlação entre tempo, taxa de secagem e as propriedades anatômicas, físicas e químicas da madeira.....	126
3.3	Programa de secagem.....	129
4	<b>CONCLUSÕES</b> .....	131
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	132
	<b>CAPÍTULO 4: QUALIDADE DA SUPERFÍCIE USINADA DAS MADEIRAS DE ESPÉCIES EXÓTICAS INVASORAS</b> .....	135
1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	137
2	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	138
2.1	Operações de Usinagem.....	138
2.1.1	Aplainamento .....	138
2.1.2	Moldura de topo e axial “parada” .....	138
2.1.3	Fresagem axial sinuosa .....	139
2.3	Rugosidade da madeira .....	140
2.4	Análise microscópica .....	141
2.5	Análises estatísticas.....	141
3	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	142
3.1	Avaliação visual .....	142
3.2	Análise microscópica .....	151
3.3	Rugosidade .....	153
3.4	Correlação entre rugosidade e avaliação visual .....	160
3.5	Correlação das características anatômicas, da avaliação visual e da rugosidade .....	162
4	<b>CONCLUSÕES</b> .....	164

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	165
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>167</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

No Brasil as áreas protegidas estão regidas pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), instituído pela Lei Federal 9.985/2000. As Unidades de Conservação são áreas com características naturais relevantes. Elas possuem a finalidade de assegurar a representatividade de amostras significativas e ecologicamente viáveis das diferentes populações, hábitat e ecossistemas do território nacional, preservando o patrimônio biológico existente (BRASIL, 2000).

A problemática encontrada atualmente nas Unidades de Conservação (UC) é a ameaça à biodiversidade e o desequilíbrio do ecossistema pela proliferação de espécies exóticas invasoras. Sua agressividade de propagação inibe o crescimento das espécies nativas. Espécies exóticas invasoras estão associadas a extinções recentes de diferentes táxons e são consideradas grande ameaça para a conservação da flora e fauna nativa (BELLARD et al., 2016; SPATZ et al., 2017). Invasões por espécies exóticas são a quarta maior causa de extinção de plantas, sendo associado a quase 30% do número total de espécies classificadas como extintas na lista vermelha da União Internacional para a Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais (IUCN) (BELLARD et al., 2016).

As espécies exóticas invasoras contribuem para a homogeneização da paisagem, reduzem a biodiversidade e alteram o funcionamento do ecossistema de maneira indesejável (CARDINALE et al., 2012; GAERTNER, RICHARDSON; PRIVETT, 2011). A crescente perda de biodiversidade vem sendo caracterizada como um dos maiores dilemas contemporâneos e a necessidade de conservação desse patrimônio surge como um grande desafio (OLIVEIRA et al., 2018).

Ações que visam à remoção das espécies exóticas invasoras são necessárias para o restabelecimento do equilíbrio da biodiversidade. Segundo o guia de orientação para o manejo de espécies exóticas invasoras em unidades de conservação federais do ICMBio (2019) a forma mais comum de destinação do material lenhoso de árvores suprimidas é deixado no campo para decomposição.

Assim, estudo de alternativas para o uso do material lenhoso oriundo das espécies exóticas invasoras faz-se necessário. Uma opção que se mostra viável, é o uso madeireiro, como por exemplo, móveis, esquadrias, pisos, construção civil.

Portanto, o objetivo geral do presente trabalho foi determinar as características dendrométicas da árvore, rendimento no processamento primário e as propriedades da madeira de três espécies exóticas invasoras em Unidades de Conservação, *Artocarpus*



*heterophyllus* Lamarck (Jaqueira), *Syzygium cumini* (L.) Skeels (Jamelão) e *Clitoria fairchildiana* R.A. Howard (Sombreiro), visando subsidiar o seu potencial de uso no setor madeireiro.

Esta tese foi dividida em quatro capítulos: o primeiro capítulo enfatizou classificar as toras em relação a sua forma e quantificar o rendimento no processamento primário. O segundo capítulo teve como objetivo avaliar as características anatômicas, as propriedades físicas, químicas e mecânicas das madeiras na direção medula-casca. O terceiro capítulo possui o objetivo de verificar o efeito das propriedades anatômicas, físicas e químicas na secagem da madeira e elaborar programas de secagem para as espécies exóticas invasoras. O quarto capítulo teve como objetivo avaliar a qualidade da superfície da madeira processada mecanicamente das espécies exóticas invasoras e sua interação com as propriedades da madeira.

A partir dos resultados gerados desta pesquisa espera-se agregar informações técnico-científicas que possam auxiliar na definição da utilização da madeira oriunda de espécies exóticas invasoras nas próprias Unidades de Conservação, nos centros de exposição, nos programas de educação ambiental, dentre outros. Contribuir com a criação de alternativas que minimizem o problema atualmente encontrado com as espécies exóticas invasoras nas Unidades de Conservação. Aproximar as Unidades de Conservação da comunidade do seu entorno e alertar para o problema das espécies exóticas invasoras.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Unidades de Conservação

As primeiras discussões no Brasil para a criação de áreas protegidas iniciaram-se no Século XIX. Estas iniciativas eram inspiradas em experiências internacionais, especialmente dos Estados Unidos e Europa (TRAPAZZON; MELLO, 2015). Em 1861, o Rio de Janeiro, decretou as Florestas da Tijuca e das Paineiras, como área de preservação ambiental (GARVÃO; DO NASCIMENTO, 2018).

No Capítulo I, artigo 10 da Constituição de 1934, ficou definido como responsabilidade da União “proteger belezas naturais e monumentos de valor histórico e artístico”. Pela primeira vez, a proteção da natureza figurava como um princípio fundamental para o qual deveriam concorrer a União e os Estados. (MEDEIROS, 2006). Ainda no ano de 1934 foi criado o Código Florestal pelo Decreto 23793/1934, foi o primeiro instrumento de proteção brasileiro a definir tipologias de áreas a serem protegidas. Declarava de “interesse comum a todos os habitantes do país” o conjunto das florestas existentes e demais formas de vegetação, classificando-as em quatro tipologias: protetoras, remanescentes, modelo e de rendimento. Em 1965 foi instituído através da Lei nº 4771 de 15/09/1965 um novo Código Florestal que extinguiu as quatro tipologias de áreas protegidas previstas no Código anterior, substituindo-as por Parque Nacional e Floresta Nacional, Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal (MEDEIROS, 2006).

Em 1979 o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF) em conjunto com a Fundação Brasileira para Conservação da Natureza (FBCN) desenvolveu estudo intitulado “Plano do Sistema de Unidades de Conservação do Brasil” (IBDF/FBCN, 1979), que apontava a necessidade de promover maior ordenação no processo de criação de áreas protegidas e de sua reorganização sob a forma de um sistema único e integrado (WETTERBERG, 2004). A segunda versão do documento foi revisada e lançada em 1982 (IBDF/FBCN, 1982).

No artigo 225, parágrafo 1º, inciso III da Constituição Federal de 1988 incumbe ao Poder Público definir, em todas as unidades da Federação, espaços territoriais e seus componentes a serem especialmente protegidos, sendo a alteração e a supressão permitidas somente através de lei, vedada qualquer utilização que comprometa a integridade dos atributos que justifiquem sua proteção.

Em 1989 após debates envolvendo técnicos do governo e representantes de entidades civis, a Fundação Pró-Natureza (Funatura) entregou ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) a proposta de anteprojeto de lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (MERCADANTE, 2001).

No ano de 2000 foi instituída a Lei Federal 9.985/2000 que implantou o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), e definiu as Unidades de Conservação (UC) como sendo locais que possuem características naturais relevantes e tem como objetivo assegurar a representatividade das amostras de diferentes populações, habitats e ecossistemas do território nacional e das águas jurisdicionais, e assim preservar o patrimônio biológico existente.

A gestão das Unidades de Conservação pode ser federal, estadual ou municipal. Elas são divididas em duas categorias, sendo as de proteção integral como as Estações Ecológicas, Reservas Biológicas, Parques, Monumentos Naturais, Refúgios de Vida Silvestre, que tem o objetivo de preservar a natureza, em que se admite apenas o uso indireto dos seus recursos naturais. As de uso sustentável como as Áreas de Proteção Ambiental, Áreas de Relevante Interesse Ecológico, Florestas Nacionais, Reservas Extrativistas, Reservas de Fauna, Reservas de Desenvolvimento Sustentável, Reservas Particular do Patrimônio Natural, cuja finalidade é compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais (BRASIL, 2000).

Segundo dados consolidados em janeiro de 2020 (MMA, 2020) existem 777 Unidades de Conservação de proteção integral e 1.669 de uso sustentável. O Brasil possui 2.506.199 km<sup>2</sup> de área de proteção ambiental, o que equivale a 29% da sua área territorial protegida por Unidades de Conservação.

Além de conservar as riquezas naturais, as Unidades de Conservação promovem o desenvolvimento social e econômico, gerando empregos e oportunidades de negócios na região de seu entorno. Este retorno financeiro é pouco conhecido, divulgado e discutido com a sociedade, e é responsável pelo baixo investimento nas Unidades de Conservação (MEDEIROS et al., 2011). Os mesmos autores realizaram estudo dos múltiplos bens e serviços gerados pelas Unidades de Conservação de grande potencial econômico para sociedade brasileira, conforme apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores estimados para bens e serviços gerados pelas Unidades de Conservação.

Bens e serviços	Valor estimado (R\$)
Produção de madeira em toras na Floresta Amazônica por concessão florestal	1,2 a 2,2 bilhões/ ano
Produção de borracha em 11 Reservas Extrativistas	16,5 milhões/ ano
Produção de castanha-do-pará em 17 Reservas Extrativistas	39,3 milhões/ ano
Visitação em 67 Parques Nacionais	1,6 a 1,8 bilhões/ ano
Estoque de carbono	2,9 a 5,8 bilhões/ ano
ICMS Ecológico repassada aos municípios pela existência de Unidades de conservação (em 2009)	402,7 milhões/ano

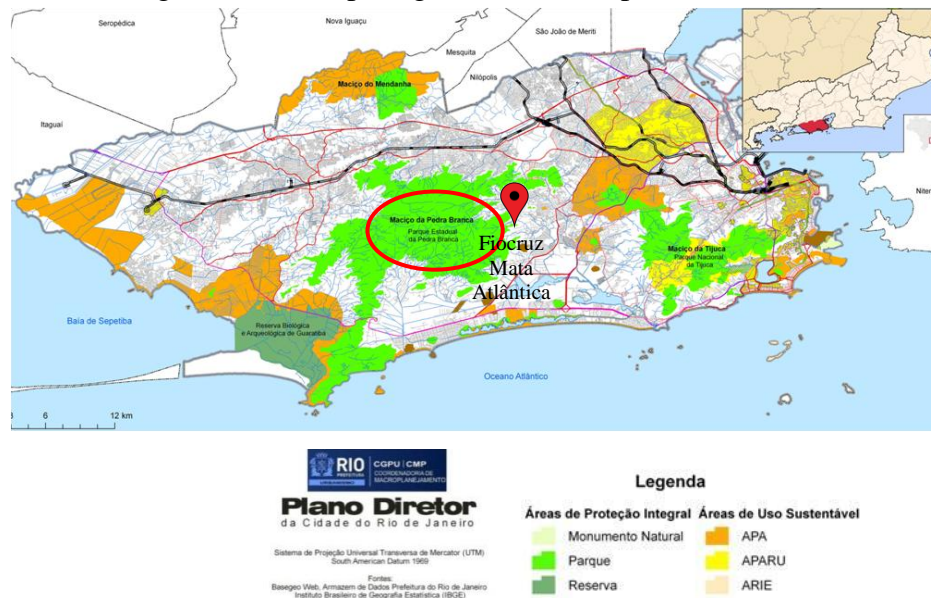
Fonte: (Medeiros et al., 2011)

Em relação aos usos da água, 80% da hidroeletricidade do país vêm de fontes geradoras que têm pelo menos um tributário a jusante de Unidades de Conservação, 9% da água para consumo humano foi diretamente captada em Unidades de Conservação e 26% foi captada em fontes a jusante de Unidades de Conservação. Na agricultura e irrigação 4% da água utilizada foi captada de fontes dentro ou a jusante de Unidades de Conservação. Nas bacias hidrográficas e mananciais com maior cobertura florestal, o custo do tratamento da água para abastecimento público é menor que aqueles com baixa cobertura florestal (MEDEIROS et al., 2011).

## 2.2 Parque Estadual da Pedra Branca

O Parque Estadual da Pedra Branca foi criado em junho de 1974, pela Lei n.º 2.377. Ele está localizado no Maciço da Pedra Branca, sendo a maior área de cobertura de Mata Atlântica urbana do país e uma das maiores florestas urbana do mundo, com 12.492 ha (GENTILE et al, 2018). Ocupa aproximadamente 10% da área total do Município do Rio de Janeiro (Figura 1). Nele encontra-se o Pico da Pedra Branca, com 1.024 metros de altitude, que é o ponto culminante do município do Rio de Janeiro (FIOCRUZ, 2009). O nome do maciço é devido à formação calcária, de coloração branca, presente no local. O parque tem papel central no equilíbrio hídrico e climático da cidade do Rio de Janeiro, além de proteger cerca de 50% da Mata Atlântica carioca (CASTRO, 2015).

Figura 1 - Áreas protegidas do Município do Rio de Janeiro.



Fonte: [http://www.camara.rj.gov.br/planodiretor/pd2009/executivo\\_09/Mapa03AreasProtegidas.jpg](http://www.camara.rj.gov.br/planodiretor/pd2009/executivo_09/Mapa03AreasProtegidas.jpg). Acesso em setembro de 2016.

O Parque Estadual da Pedra Branca fazia parte do chamado Sertão Carioca, a zona rural do município do Rio de Janeiro, que abrigava uma população de perfil rural agrícola com forte relação de dependência dos recursos naturais locais para garantir seu sustento (FERNANDES, 2016).

A ocupação da região iniciou-se com a doação das terras sesmarias, ocorrendo atividades agrícolas, principalmente o cultivo de cana-de-açúcar, mas também havia criação de gado e cultivo de mandioca. Após o declínio da cana-de-açúcar, entrou em destaque o cultivo de café, o qual foi o segundo momento de grande desmatamento, entre os séculos XVIII e XIX (DRUMMOND, 1997). Com a crise do café, no final do século XIX e início do século XX, as grandes propriedades locais foram subdivididas (MOTA, 2009), diversificando as atividades rurais da região. Em Vargem Grande, as matas de brejos serviram a indústrias de cestos e tamancos. Nas encostas, a exploração das capoeiras para lenha e carvão teve grande importância para o abastecimento dos fogões domésticos do Rio de Janeiro até 1940 (OLIVEIRA, 2005). Em Campo Grande e Guaratiba houve a substituição do café pelo cultivo da laranja nas encostas mais baixas, enquanto que em praticamente todas as encostas altas do Maciço da Pedra Branca foram plantados bananeiras que persistem até hoje (COSTA, 2002).

Em 1759 e 1811 houve os primeiros deslizamentos de terra em decorrência da ocupação e devastação das encostas (COSTA, 2002). Foram tomadas medidas pelo governo de desapropriação de propriedades particulares e a nomeação de um administrador responsável para recuperar as áreas degradadas das encostas da Floresta da Tijuca. Contudo, o

principal motivo foi a preocupação com o abastecimento hídrico da zona urbana e não os deslizamentos de terra (DRUMMOND, 1997).

No Maciço da Pedra Branca também houve a preocupação com os mananciais que abasteciam a cidade. Em 1908 ocorreu a desapropriação, pela União, da área do manancial do Camorim, para o estabelecimento de uma Floresta Protetora da União e ampliação do açude e dos sistemas de tratamento e distribuição de água (COSTA, 2002).

Com esse histórico de ocupação e exploração da região, ainda existem entremeadas na vegetação do parque espécies que foram implantadas pelo homem e que hoje causam ameaça a espécies nativas.

### 2.3 Campus Mata Atlântica da Fiocruz

A Fundação Oswaldo Cruz contribui há mais de um século para a pesquisa do conhecimento de doenças, promoção da saúde, desenvolvimento científico com base em organismos de diversas espécies. Está qualificada como sede de diversos centros e serviços de referência da Organização Mundial de Saúde e do Ministério da Saúde (FIOCRUZ, 2009).

Em novembro de 2015, a União efetivou a doação permanente da área da antiga colônia Juliano Moreira para desenvolver o Campus Fiocruz Mata Atlântica de acordo com o processo n° 04967.020486/2013-68. A área do Campus possui 500 ha, situado na fronteira entre um ecossistema natural de Mata Atlântica e modificações antrópicas que passam do ecossistema natural simplificado até o adensamento urbano da cidade do Rio de Janeiro. Destaca-se sua importância frente as suas condições de conservação da biodiversidade da Mata Atlântica e aos serviços ambientais que em conjunto com o Parque da Pedra Branca prestam ao Município do Rio de Janeiro. Assim, a implantação do Campus Fiocruz Mata Atlântica teve como objetivo promover ocupação sustentável que permita o equilíbrio entre as necessidades de expansão e de preservação do patrimônio ambiental e cultural (FIOCRUZ, 2009).

Em maio de 2016 foi criada a Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica (EFMA) pela Portaria 522/2016-PR, a primeira Estação Biológica do município do Rio de Janeiro e a primeira a acolher a pesquisa em biodiversidade e saúde no país. Localizada em parcela do Campus Fiocruz da Mata Atlântica, a qual está sobreposta ao Parque Estadual da Pedra Branca e sua zona de amortecimento, na Zona Oeste do Município do Rio de Janeiro. Possui como propósito apoiar, estimular e acolher, no seu perímetro e área de influência, a pesquisa,

a inovação, a educação e a disseminação e divulgação de conhecimentos sobre a complexidade socioambiental e a relação entre biodiversidade e saúde.

#### 2.4 Espécies exóticas invasoras em Unidades de Conservação

A Convenção Internacional sobre Diversidade Biológica (CDB, 1992) é o principal pacto internacional construído com o objetivo de orientar a agenda sobre biodiversidade (BENSUSAN, 2014; PRATES; IRVING, 2015). De acordo com definição adotada pela CDB na sexta Conferência das Partes (COP-6, 2002), uma espécie é considerada exótica (ou introduzida) quando situada em um local diferente ao de sua distribuição natural por causa de introdução voluntária ou involuntariamente, por ações humanas. Se a espécie exótica consegue se reproduzir e gerar descendentes férteis, com alta probabilidade de sobreviver no novo hábitat, ela é considerada estabelecida. Caso a espécie estabelecida expanda sua distribuição no novo hábitat, ameaçando a diversidade biológica nativa, ela passa a ser considerada uma espécie exótica invasora.

Por meio do Decreto nº 2 de 1994, o Brasil estabeleceu um compromisso legal com o texto da CDB, comprometendo-se a adotar e aplicar no seu território as ações e princípios da CDB. No âmbito das espécies exóticas invasoras, o país deve impedir que sejam introduzidas, controlar ou erradicar espécies exóticas que ameacem os ecossistemas, hábitats ou espécies (Artigo 8 da CDB). Esse artigo foi transposto para a Lei de Crimes Ambientais (Lei 9.605/98) e é expressa no Artigo 61, que considera crime ambiental a disseminação de doença ou praga ou espécies que possam causar dano à agricultura, à pecuária, à fauna, à flora ou aos ecossistemas.

A introdução de espécies exóticas invasoras pode ser uma das maiores ameaças aos ambientes nativos e as estratégias para prevenir ou reduzir invasões são pouco eficazes (GAERTNER et al., 2017; ZENNI; ZILLER 2011). A pesquisa básica sobre invasões biológicas prepondera sobre manejo e controle (ZENNI et al., 2016).

Na 10ª Conferência das Partes da Convenção sobre Diversidade Biológica (COP-10) foram estabelecidas as 20 Metas de Aichi para implementação no período 2011-2020. A meta nove estabelece que até 2020 espécies exóticas invasoras e seus vetores terão sido identificadas e priorizadas, espécies prioritárias terão sido controladas ou erradicadas, e medidas de controle de vetores terão sido tomadas para impedir sua introdução e estabelecimento. Uma meta pós-2020 deve seguir ações já em andamento e já exigido pela legislação existente. Por exemplo, a remoção de espécies exóticas de áreas protegidas na

categoria de proteção estrita, unidades de conservação de proteção integral, já obrigatório pela Lei Federal 9.985/2000, a lógica é que as espécies exóticas invasoras são uma das principais causas de extinção de espécies nativas, portanto, devem ser excluídas de áreas estabelecidas para a conservação de espécies nativas (DECHOUM et al., 2018).

O desafio é identificar espécies que representam ameaças significativas à biodiversidade, para determinar a natureza da resposta e, em seguida, ações de concerto para aliviar problemas no local. Planos de gestão devem especificar as técnicas apropriadas para prevenir, erradicar ou controlar espécies exóticas invasoras para que os ecossistemas possam ser efetivamente conservados (DECHOUM et al., 2018).

Em 2007, foi elaborado um relatório pelo programa global de espécies invasoras (GISP) para descrever o panorama sobre o impacto da invasão biológica nas Unidades de Conservação em todas as regiões do mundo. Ao todo, 487 Unidades de Conservação, em 106 países, foram identificadas com a presença de espécies invasoras e 326 espécies invasoras foram listadas nestas áreas. O estudo apontou que praticamente todos os ecossistemas do globo apresentam espécies invasoras, mesmo zonas remotas como montanhas de elevada altitude e ilhas subantárticas desabitadas. Dado a grande lacuna de conhecimento, a presença de espécies invasoras em estado de latência e as mudanças climáticas globais, foi previsto que o número de espécies invasoras e de Unidades de Conservação infestadas deverá crescer muito nos anos seguintes ao estudo (GISP, 2007).

Cabe às instituições gestoras das Unidades de Conservação desenvolver e implementarem programas de comunicação continuados com a comunidade, para apoiar as ações de controle das espécies exóticas invasoras e garantir que as Unidades de Conservação brasileiras conservem sua biodiversidade nativa e os processos ecossistêmicos dos quais elas dependem, conforme seus objetivos de criação e manejo (SAMPAIO; SCHMID, 2014).

Em 82% das 240 Unidades de Conservação Federais estudadas por Dechoum et al. (2018) há presença de espécies exóticas invasoras. Sampaio e Schmid (2014) verificaram que a maior parte das espécies exóticas invasoras concentra-se no bioma Mata Atlântica.

Rocha et al. (2018) estudaram a ocorrência e o impacto de espécies exóticas vegetais em unidades de conservação (UCs) estaduais de Minas Gerais. Foram consultados 13 planos de manejo de UCs das categorias parque estadual e estação ecológica. A existência de espécies exóticas foi descrita em 11 UCs estaduais de Minas Gerais (10 parques estaduais e 1 estação ecológica). Foram identificadas 106 ocorrências de 72 espécies exóticas nos planos de manejo das UCs estudadas. Justo et al. (2019) identificaram 87 espécies exóticas invasoras



com 770 registros em UCs da Região Sul do Brasil, das quais 54% foram espécies de plantas e 46% espécies de animais.

No Estado do Rio de Janeiro existem atualmente 55 UCs, sendo 19 federais e 36 estaduais. Dentre as espécies exóticas invasoras destaca-se a Jaqueira, a espécie foi registrada em 11 UCs (Parque Nacional da Tijuca; Estação Ecológica Nacional de Tamoios; Reserva Biológica União; Parque Estadual Da Ilha Grande; Parque Estadual Cunhambebe; Parque Estadual da Pedra Branca; Parque Estadual dos Três Picos; Parque Estadual Serra da Tiririca; Parque Estadual do Grajaú; Parque Estadual da Chacrinha; Área de Proteção Ambiental de Mangaratiba) (ROCHA; ROCHA, 2019).

O Campus Fiocruz Mata Atlântica, localizado na zona de amortecimento do Parque Estadual da Pedra Branca possui área de 500 ha, sendo 300 ha compostos por floresta. Foi realizado levantamento das espécies arbóreas invasoras na área de recuperação ecológica do Campus e obtiveram como resultados 806 indivíduos arbóreos invasores de 16 espécies exóticas. Destas apenas cinco espécies compõem 80% dos indivíduos invasores, que são o Jamelão (49%), a Amendoeira (9,7%), a Jaqueira (8,68%), a Mangueira (6,66%) e o Sombreiro (6,33%) (FIOTEC - BNDES Mata Atlântica, 2016).

Espécies exóticas invasoras são legalmente reconhecidas como um problema ambiental no Brasil para o qual estratégias de manejo e gestão são necessárias. Apesar de existirem decretos e leis federais mais amplos que façam referência ao tema, nenhum instrumento legal de maior força, como um decreto ou uma lei, institui uma política nacional específica para o tema, ou uma lista de espécies de referência para as diferentes regiões (ZENNI et al., 2016). Os mesmos autores ainda relatam que após a publicação da Resolução CONABIO 05 de 2009 (Estratégia Nacional para Espécies Exóticas Invasoras) não houve iniciativa de implantação da estratégia nacional por parte do Ministério do Meio Ambiente. Por conta disso, alguns estados da Federação têm assumido, ao menos parcialmente, o compromisso pelo governo federal. Alguns Municípios e Estados instituíram lista oficial de espécies exóticas invasoras por meio de resoluções e portarias.

As espécies Jaqueira, Jamelão e Sombreiro estão inclusas na lista de espécies vegetais exóticas invasoras no Município do Rio de Janeiro, segundo a Resolução SMAC n° 544, de 28 de março de 2014 da Secretaria Municipal de Meio Ambiente.

As espécies Jaqueira e Jamelão estão incluídas na lista oficial das espécies exóticas invasoras do Município de Bauru-SP e no Estado de Santa Catarina, respectivamente pela Resolução n° 11 de 2007 da Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Bauru-SP e Resolução n° 8, de 14 de setembro de 2012 em Santa Catarina/CONSEMA.

Nos Estados do Rio Grande do Sul e Paraná o Jamelão é reconhecido como espécie exótica invasora, de acordo com a Portaria IAP nº 074/2007 e a Portaria nº 79/2013 do Rio Grande do Sul/SEMA.

#### 2.4.1 Jaqueira - *Artocarpus heterophyllus* Lamarck

A espécie *Artocarpus heterophyllus* (Lamk.) conhecida popularmente como Jaqueira pertence à família Moraceae é uma frutífera exótica, originária da Índia. A Jaqueira é considerada uma árvore de grande porte, atinge mais de 10 m de altura, é monóica e exibe cauliflora (Figura 2) (CRANE et al., 2002). Espécie perenifólia, com floração de outubro a janeiro (BARBOSA, 2016). Os indivíduos dessa espécie frutificam durante todo o ano, com grande parte frutificando preferencialmente nos meses de verão (dez-fev) (CUNHA et al., 2006).

Figura 2 - Exemplar da árvore de Jaqueira utilizada no estudo, localizado no Campus Fiocruz Mata Atlântica, RJ.



Fonte: Do autor (2020).

Sua introdução em solos brasileiros iniciou-se nas grandes navegações, em que o rei de Portugal determinou que a Índia deveria enviar à metrópole e às suas colônias as plantas de interesse utilitário para viabilizar seu cultivo (FERRÃO, 1993). O primeiro registro da entrada da Jaqueira no Brasil foi em janeiro de 1683, sendo a chegada na província da Bahia (DEAN, 2002). No Rio de Janeiro os primeiros registros da introdução de

*A. heterophyllus* foram em 1862, na tentativa de recuperar áreas degradadas pela cana e produção de café (CONTI et al., 2008; DEAN, 2002).

A espécie foi amplamente utilizada para fins paisagísticos pelo francês Auguste Glaziou, contratado por D. Pedro II, em meados do século XIX (SANTOS et al., 2008). Alguns autores relatam o potencial medicinal da Jaqueira, por exemplo, antibacteriano, antiviral, antifúngica (HALEEL, RASHID; KUMAR, 2018), inflamação (BURCI et al., 2019) e antidiabético (AJIBOYE et al., 2016).

A Jaqueira não é mais utilizada para paisagismo, pois diversos estudos realizados no país apontam essa espécie como invasora, apresentando alta densidade de indivíduos, eficiência na regeneração e alelopatia, afetando a biota nativa (FABRICANTE et al., 2012; GEISELER, 2014; SILVA, 2014,). Adicionalmente, a Jaqueira está listada entre as espécies invasoras nas Unidades de Conservação federais do Brasil (SAMPAIO; SCHIMIDT, 2014).

No Inventário da Cobertura Arbórea da Cidade do Rio de Janeiro (SMAC, 2015) a Jaqueira ocupa a quinta posição no índice de valor de importância, os autores atribuíram esse resultado ao grande número dessa espécie no Parque Estadual da Pedra Branca, no Parque Nacional da Tijuca, em áreas antropizadas, bordas de florestas e áreas perturbadas que ocorrem reboleiras e grandes indivíduos isolados.

Os gestores das Unidades de Conservação estão buscando ações de controle e, ou exclusão desta espécie. A espécie possui potencial invasivo especialmente em bordas de floresta e ambientes antropizados (SANTANA, 2020). A invasão da Jaqueira ocorre de forma agressiva e sabe-se que a mesma possui ação alelopática, o qual é definido como fenômeno químico-ecológico, em que metabólitos secundários produzidos pela espécie vegetal são liberados e interferem na germinação e/ou no desenvolvimento de outras espécies no mesmo ambiente (PERDOMO; MAGALHÃES, 2007).

Na Indonésia a madeira de Jaqueira é utilizada para confecção de navios, classificada como madeira forte e durável conforme os requisitos estabelecidos para a confecção de embarcações (THAIB et al., 2019). Na Índia a madeira da Jaqueira é utilizada no tingimento de tecido (SAMANTA; AGARWAL; DATTA, 2009).

#### 2.4.2 Jamelão - *Syzygium cumini* (L.) Skeels

A espécie *Syzygium cumini* (L.) Skeels, cuja sinonímia científica é *Eugenia jambolana* Lam. e *Syzygium jambolanum* DC, é conhecida popularmente como jambolão, azeitona, azeitona-roxa, jamelão, azeitona doce ou jambul. É uma espécie frutífera exótica de origem

indiana com folhas simples e frutos de coloração roxo escuro, pertencente à família Myrtaceae (Figura 3). Tem sua copa densa e larga, por esse motivo é amplamente cultivada como árvore ornamental e para sombra (LORENZI et al., 2006). Pode atingir altura de até 20 m, possui floração entre setembro e novembro (LORENZI et al., 2003) e frutificação de janeiro a maio (VIZZOTTO; FETTER, 2009).

Figura 3 - Exemplar da árvore de Jamelão utilizada no estudo, localizado no Campus Fiocruz Mata Atlântica, RJ.



Fonte: Do autor (2020).

É tradicionalmente utilizada na medicina indiana, sendo a casca, os frutos, as sementes e as folhas aproveitadas para esta finalidade (SHRIKANT BASLINGAPPA et al., 2012). No Brasil é utilizada para o tratamento de diabetes e administradas em preparações farmacêuticas (MIGLIATO et al, 2009).

Possuem em seus constituintes taninos, alcalóides, carboidratos, flavonóides, esteróis, glicosídeos em diferentes partes da árvore (BANDIOLA et al, 2017). Apresenta propriedades hipoglicêmicas (RAZA et al, 2017), antiinflamatórias (ULLA et al., 2017), antioxidantes, antibacterianos, antidiabéticos, antiobesidade, anticancerígenos, diuréticos, antialérgicos, antifúngicos, gastroprotetores, antidiarreicos e neuroprotetores (AGARWALA et al., 2019).

O estudo realizado por Sampaio e Schimidt (2014) em 313 Unidades de Conservação federais do Brasil apresentou lista de 106 espécies invasoras, dentre as quais encontra-se o Jamelão. A espécie possui potencial invasivo de risco moderado (SANTANA, 2020).

Algumas características propiciam a espécie ser considerada invasora, como por exemplo, ser uma planta bastante rústica, adaptando-se bem em qualquer tipo de solo, inclusive naqueles impróprios para cultivo comercial de outras frutíferas (DONADIO, 2007). O Jamelão é uma espécie poliembriônica, em que uma única semente pode conter vários embriões (CAVALCANTI, 2010). Dessa forma, reproduzindo-se e adaptando-se facilmente nos novos ambientes.

Ramanantoandro et al (2016) relatam que *Syzygium cumini* pode ser uma madeira alternativa para substituir espécies de alto valor agregado em Madagascar, entretanto estudos sobre a estética e as propriedades mecânicas são necessários. Na Índia a madeira do gênero *Syzygium* é utilizada para construção, móveis, pisos, postes, sendo a espécie *Syzygium cumini* a de maior importância (WANGKHEM; SHARMA; SHARMA, 2020).

#### 2.4.3 Sombreiro - *Clitoria fairchildiana* R.A. Howard

A espécie *Clitoria fairchildiana* R.A. Howard com sinonímia científica de *Clitoria racemosa* Lindl. é nativa da região Amazônica, popularmente conhecida como faveira, sombreiro ou palheteira. É uma espécie arbórea de médio a grande porte, pertencente à família Fabaceae e subfamília Papilionoideae. Possui copa frondosa, atingindo altura de 6 a 12 m (Figura 4), com floração no verão e frutificação em maio-julho quando se inicia a queda das folhas. Produz anualmente grande quantidade de sementes viáveis. Um quilograma contém aproximadamente 1.800 sementes (LORENZI, 1992).

A espécie é utilizada em programas de arborização, pois confere sombreamento, e por isso um dos seus nomes populares é Sombreiro. Outra característica da espécie é sua rusticidade e seu rápido crescimento. Desta forma é utilizada nos reflorestamentos heterogêneos destinados à reconstituição da vegetação e recuperação de áreas degradadas (LORENZI, 1992).

Figura 4 - Exemplar da árvore de Sombreiro utilizada no estudo, localizado no Campus Fiocruz Mata Atlântica, RJ.



Fonte: Do autor (2020).

É necessário conhecimento técnico e científico para indicar espécies para plantio, visto que em muitos lugares o Sombreiro foi plantado aleatoriamente pela população ou técnicos sem conhecimento apropriado, por conferir bom sombreamento. Contudo, apesar de ser uma espécie nativa do Brasil, ao ser introduzido fora da Floresta Ombrófila Densa na Amazônia a espécie transforma-se em exótica regional, ou seja, não é nativa daquela região ou bioma. O Sombreiro está listado entre as espécies invasoras nas Unidades de Conservação federais do Brasil (SAMPAIO; SCHIMIDT, 2014).

A espécie possui potencial invasivo devido à alta produção de sementes, o alto poder germinativo e rápido crescimento (SANTANA, 2020). Outra característica que pode facilitar o estabelecimento da espécie em regiões diferentes das originais é seu potencial efeito alelopático observado em estudo realizado por Soares et al (2002). O mesmo autor enfatiza que essa espécie é recomendada como pioneira em modelos de restauração de áreas degradadas. Porém, deve-se tomar cuidado, visto que os efeitos fitotóxicos observados ocorrerem no campo, o Sombreiro poderá comprometer o desenvolvimento normal do processo sucessional pela inibição do desenvolvimento radicular das sementes que estão no banco de sementes natural do ambiente. Este fato ocorre atualmente nas Unidades de Conservação Brasileiras e hoje há a problemática da invasão biológica de diversas espécies inclusive as que são nativas do Brasil, como o Sombreiro.

## 2.5 Qualidade das toras e rendimento no processo de desdobro

A qualidade da tora leva em consideração a forma do tronco, defeitos ou anormalidades visíveis na superfície rolante e em suas extremidades e seu volume líquido (VITAL, 2008). O mesmo autor relata que a classificação da qualidade das toras é imprescindível em empresas integradas para o encaminhamento das toras nos processos de industrialização, como exemplo, laminação, madeira serrada, dormentes, painéis, celulose e etc. A qualidade da tora quanto a sua forma pode ser em relação à conicidade e ao achatamento. A conicidade é a forma do tronco quando há afilamento do diâmetro no sentido base-topo (NASSUR et al., 2013). O achatamento é uma medida do desvio da forma circular da tora (VITAL, 2008), ou seja, quanto mais achatada menos circular será a tora. Estes parâmetros afetam o rendimento do processo de desdobro, que é a relação percentual entre o volume produzido de madeira serrada e o volume utilizado em tora.

Em toras de *Eucalyptus* sp. (JUIZO et al., 2014), de *Araucaria angustifolia* com diâmetro maior que 28 cm (BONATO JUNIOR et al., 2017) e de espécies amazônicas (SANTOS et al., 2019) maiores índices de conicidade, reduziu o rendimento em madeira serrada. A conicidade aumenta a produção de resíduos e diminui o rendimento (VITAL, 2008).

O achatamento acentuado da seção transversal das toras dificulta a confecção do bloco quadrado na operação de desdobro, diminui o rendimento de madeira serrada, o que gera maiores quantidades de resíduos (VITAL, 2008).

Além da qualidade da tora em relação à forma, outro fator que pode afetar o rendimento da madeira serrada é o diâmetro da tora. As toras das espécies *Araucaria angustifolia* (BONATO JÚNIOR et al., 2017), *Pinus* (MANHIÇA et al., 2012), *Cambará* (*Qualea* sp.) (MELO et al., 2016) e *Eucalyptus* sp. (CARVALHO et al., 2019) apresentam influência do diâmetro no rendimento do desdobro, em que maiores diâmetros proporcionaram maiores rendimentos.

O rendimento é um dos parâmetros que pode servir de base para os gestores das serrarias avaliarem o seu desempenho, por revelar com relativa transparência se as operações estão sendo executadas corretamente no empreendimento (ROCHA, 2002).

Uma ferramenta que pode auxiliar no processo de desdobro é a modelagem. Apesar de reconhecida a importância do uso de modelos matemáticos no processamento industrial para previsão do rendimento e do volume de resíduos gerados no desdobro e desenrol de madeira, eles ainda têm sido pouco utilizados no Brasil (DANIELLI, 2013). A modelagem é uma

ferramenta de grande importância na área florestal, sendo desenvolvida e utilizada principalmente para realizar previsões de produtividade florestal, estimativas hipsométricas, volumétricas e de biomassa (VALÉRIO et al., 2007).

O uso de modelos para estimativa do rendimento de serrarias pode gerar informações importantes para a composição destes e a formação de sistemas para se conhecer o rendimento futuro de uma floresta em termos de volume de produto final, proporcionando estratégias mais ousadas e seguras, visando os mercados de tais produtos (SOUZA et al., 2007).

## 2.6 Características anatômicas

Trevisan et al. (2017) realçam a importância do conhecimento das características anatômicas da madeira como, por exemplo, as dimensões dos vasos e das fibras, as quais desempenham papel fundamental em processos fisiológicos e de sustentação da árvore.

As fibras têm como função a sustentação mecânica das árvores e também se correlacionam com as características físicas e químicas da madeira, contribuindo na aplicação e uso final da madeira (FERREIRA et al., 2010). Maiores proporções de fibras garantem maior resistência mecânica à madeira (LONGUI et al., 2014). Para o setor de celulose, fibras mais largas são menos flexíveis podendo ocorrer problemas durante o colapso (achatamento) das fibras na formação do papel, reduzindo a resistência do papel à tração (BENITES et al., 2018).

Os vasos são responsáveis pelo transporte de água e nutrientes, são estruturas ocas que aumentam a permeabilidade da madeira (PANSIN; DE ZEEW, 1980). Assim, maior frequência e diâmetro dos elementos de vasos resultam em boa resposta à secagem (SHAHVERDI et al., 2013) e tratamentos conservantes (TAGHIYARI, 2012). Os vasos com elevada dimensão e com paredes delgadas proporcionam baixa resistência mecânica à madeira (CHIMELO, 2007).

Em relação às células dos raios, estas são estruturas frágeis por causa de suas finas paredes celulares (GRICAR; ELER, 2015), madeiras com maior altura e largura dos raios provavelmente terá resistência mecânica inferior, não sendo apropriada para fins estruturais.

Dessa forma, o estudo da anatomia da madeira contribui para o entendimento das demais propriedades da madeira e seu comportamento na qualidade do produto final.



## 2.7 Propriedades físicas

As propriedades físicas estão relacionadas com a qualidade da madeira. Dentre as propriedades físicas destacam-se a densidade e a estabilidade dimensional da madeira.

As variações da densidade estão vinculadas às mudanças na proporção dos vasos e das espessuras das paredes celulares das fibras (OLIVEIRA; SILVA, 2003). Além da relação entre anatomia e densidade também existe alta relação entre diversas características da madeira. Geralmente, aumentando-se a densidade, aumenta a resistência mecânica e durabilidade natural da madeira. Em sentido inverso, o aumento da densidade diminui a permeabilidade a soluções preservantes e de acabamentos (CARDIN, 2011). Observa-se que quanto maior a densidade, maior será o valor de retratibilidade, e mais difícil será a colagem e aplicação de acabamentos nessa peça (SOUZA et al., 2009).

A estabilidade dimensional da madeira pode ser caracterizada pela contração ou inchamento da madeira, quando em contato com a água, e está relacionada à capacidade da madeira em absorver água higroscópica (BATISTA et al., 2010; DELUCIS et al., 2013). Esse mecanismo ocorre devido às interações existentes entre moléculas de água e hidroxilas presentes nos polissacarídeos da madeira, através das ligações de hidrogênio (OLIVEIRA et al., 2010). A instabilidade dimensional e os elevados coeficientes de anisotropia são características que limitam as aplicações da madeira (TRIANOSKI, 2012). A estabilidade dimensional é uma das principais causas de desperdícios de recursos no processamento da madeira, especialmente espécies de rápido crescimento (MANHIÇA et al., 2013).

## 2.8 Propriedades químicas

Na composição química da madeira estão presentes a lignina, a celulose, a hemicelulose, as cinzas e os extrativos. Para determinar o potencial de novos produtos, é necessário avaliar as diferentes substâncias químicas componentes da madeira, pois seus constituintes são relacionados às suas propriedades e também aos seus produtos (VIDAURRE et al., 2018). Madeiras com menores quantidades de lignina, extrativos e cinza são geralmente indicadas para a produção de polpa celulósica, enquanto madeiras com altos teores de lignina são indicadas para produção de combustíveis sólidos derivados da madeira (LEHTO et al., 2014).

A lignina é um polímero complexo e altamente amorfo, presente na célula das paredes e entre as células individuais e está intimamente associada à celulose e hemicelulose dentro

das paredes celulares e fornece rigidez às células (RAHMAN et al. 2018). Entre as células, a lignina serve como um agente de ligação para manter as células individuais unidas (RAY et al. 2009). O elevado conteúdo de lignina e a qualidade desta macromolécula favorecem a produção de carvão vegetal, pois contribui para maiores rendimentos durante a pirólise (ARAÚJO et al., 2016).

A Holocelulose é a proporção de madeira que inclui a celulose e a hemicelulose, madeiras com altos níveis de celulose ou hemicelulose (ou ambas) tendem a possuir maior teor de holocelulose (RAHMAN et al. 2018). Altos teores de holocelulose proporcionam alto rendimento na polpa celulósica para a produção de papel (MOKFIENSKI et al., 2008).

Os extrativos possuem baixo peso molecular e são tipicamente associados à biodegradabilidade, cor e inflamabilidade da madeira (POLETTI, 2016), maiores quantidades de extrativos é um indicador de durabilidade natural da madeira (THULASIDAS; BHAT, 2007). O teor de extrativos extraídos por álcool e tolueno inclui gorduras, resinas, ceras e outros como as gomas da madeira (SAFFIAN et al. 2014). O teor de extrativos extraídos em água fria e quente determina componente como tanino, amido, açúcar, pectina e compostos fenólicos (JAMALUDIN, 2006). O tipo de extrativos e sua quantidade na madeira podem exercer interferência nas reações de polimerização do adesivo ou gerar uma reação entre o extrativo da madeira e o adesivo (LIMA et al. 2007). A presença de extrativos pode dificultar o procedimento de branqueamento da massa celulósica, além de dificultar a impregnação do licor de cozimento na madeira (DIAS; SIMONELLI 2013).

A cinza é um elemento inorgânico que não queima, mesmo quando aquecida a 575 ° C e está relacionada à quantidade de minerais presentes, como a sílica (RAHMAN et al. 2018). O teor de cinzas pode exercer influência sobre a usinagem, visto que este pode acarretar desgaste nas ferramentas devido às substâncias inorgânicas como os óxidos e a sílica (PANSHIN; DE ZEEUW 1980, IWAKIRI 2005).

## 2.9 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas da madeira estão associadas às características de elasticidade e resistência. Podem ser definidas a partir do seu comportamento quando uma força externa é aplicada. O comportamento é variável de acordo com o tipo de força que é aplicada à madeira e o sentido de aplicação (PANSHIN; DE ZEEUW, 1980).

A resistência da madeira significa a habilidade que o material tem de resistir a forças externas ou cargas, tendendo a alterar sua forma (ROCHA et al., 1988). A resistência

mecânica é uma das mais importantes propriedades da madeira como material construtivo, sendo o fator primordial na construção de casas, pontes e demais construções de madeira (OLIVEIRA, 1997).

É necessária a determinação das propriedades mecânicas para realizar o correto dimensionamento de estruturas de madeira, como pontes, galpões e residências (DADZIE; AMOAH, 2015). A avaliação das características mecânicas da madeira garante segurança e qualidade ao produto final (ATHANÁZIO-HELIODORO, 2015).

O módulo de elasticidade (MOE) mede a rigidez dos materiais, e em conjunto com o módulo de ruptura (MOR) são parâmetros importantes na caracterização da madeira (PINTO, 2007). Embora o MOE não proporcione informações completas da madeira, altos valores deste parâmetro indicam alta resistência e baixa capacidade de deformação do material, qualificando-o para fins construtivos (KLOCK, 2000).

Dentre os ensaios mecânicos da madeira que visa mensurar a rigidez e resistência destaca-se o ensaio de compressão paralela às fibras. Ela possui uma boa correlação com as demais propriedades mecânicas da madeira, sendo um dos parâmetros na classificação estrutural do material (ATHANÁZIO-HELIODORO, 2015).

É importante determinar a dureza do material devido a influencia na trabalhabilidade da madeira e em uso para pisos (BORTOLETTO JUNIOR, 1993; TSOUMIS, 1991).

## 2.10 Variação radial das características da madeira

O estudo do comportamento das variações radiais da madeira é essencial para sua utilização industrial, em seus mais diversos setores. A partir do conhecimento dessas variações e de suas intensidades podem ser de grande relevância para melhor definição da forma de processamento da madeira, minimização de seus defeitos e acrescentar maior rendimento do produto (DE JESUS ; SILVA, 2020).

As camadas mais próximas à medula são formadas pela madeira juvenil, com características diferentes das camadas perto da casca, que formam a madeira adulta. A densidade, o comprimento dos traqueídes, a espessura da parede celular, o conteúdo de celulose, a resistência e a rigidez são maiores na madeira adulta, quando comparados com a madeira juvenil (BENDTSEN, 1978).

Em relação às propriedades físicas, a densidade apresenta padrões de variações no sentido medula-casca. Silva et al. (2004), Foelkel; Mora; Menochelli (1992) e Silva (2002)

em seus estudos verificaram que para a maioria das espécies do gênero *Eucalyptus* o padrão de variação da densidade é crescente no sentido medula-casca.

Estudos do comportamento da contração entre madeira juvenil e adulta em folhosas são escassos, mas em coníferas a contração da madeira juvenil é menor. Na prática isso implica, por exemplo, se uma peça de madeira é cortada de tal forma que ela tenha uma porção de madeira juvenil e uma de madeira adulta, uma região contrairá mais que a outra durante a secagem, resultando em empenamentos, fendas e torções. Essa situação gera uma desvalorização do produto no mercado (VIDAURRE et al., 2012).

Na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* usinada Silva; Lima; Trugilho (2007) verificaram que para as operações de usinagem de perfilagem axial sinuosa e moldura axial parada, a região central, próxima a medula, apresentou-se com melhor qualidade de superfície usinada.

Neste sentido, a caracterização da madeira tendo em vista a variação radial, é fundamental como subsídio ao entendimento de sua qualidade. Visto que, madeiras mais homogêneas se comportam melhor nas operações de processamento e refletindo maior uniformidade nas demais propriedades tecnológicas (OLIVEIRA; HELLMEISTER; TOMAZELLO FILHO, 2005).

## 2.11 Água na madeira

Existem dois tipos de água que normalmente são removidas durante o processo da secagem da madeira, que são a água livre e a água de adsorção. Sua relação com a madeira é complexa, apresenta variações de seu estado físico, direção de fluxo e também na forma em que é movimentada a superfície da madeira (ENGELUND et al., 2013).

A água livre é aquela que ocupa as cavidades das células e espaços intercelulares, incluindo vasos e canais resiníferos, apresenta-se na fase líquida ou em forma de vapor, sendo retida por fracas ligações capilares (SKAAR, 1972). Sua retirada, quando conduzida corretamente, ocasiona apenas redução da massa de madeira, ocorrendo quando a madeira se encontra em umidades entre o ponto de saturação das fibras (PSF) e o máximo teor de umidade (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968).

A água de adsorção encontra-se impregnada na parede celular abaixo do PSF, sendo retida por ligações de hidrogênio (SKAAR, 1972). Por ser mantida na madeira por ligações mais fortes, sua retirada é mais difícil de acontecer (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

A movimentação da água na madeira do interior para o exterior ocorre de formas e direções diferentes, movendo-se das zonas com alta umidade para zonas com baixa umidade (SIMPSON, 1991). Ao realizar a secagem da madeira, o ar exterior circula sobre a superfície úmida, secando-a e cria-se atração capilar da água livre nas cavidades celulares.

A água livre move-se acima do PSF através das cavidades celulares presentes na madeira do interior para a superfície, por meio das diferenças de tensão de capilaridade, baseado na lei de Hagen-Poiseuille (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968). Em um capilar, como é o caso dos vasos na madeira, o movimento de água livre é definido pelas diferenças de tensão e forças existentes na superfície do menisco dentro deste capilar (MELLADO, 2007).

A movimentação da água de adsorção ocorre por difusão abaixo do PSF (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968). Segundo os mesmos autores a difusão é um processo mais lento, no qual ocorrem, simultaneamente, a difusão de vapor através das cavidades celulares e a difusão de água adsorvida nas paredes celulares da madeira.

Siau (1971) considera que a direção estrutural é um fator que influencia a velocidade de movimentação da água na madeira, ressaltando que o coeficiente de difusão é maior na direção longitudinal que na transversal. O fluxo de umidade longitudinal é de 10 a 15 vezes maior que no transversal (radial ou tangencial) sendo que esse fluxo é de 20% a 50% maior no sentido radial que no tangencial (MARTINS, 1988).

## 2.12 Propriedades da madeira que influenciam na secagem

Diversos fatores podem influenciar na secagem da madeira. Os fatores inerentes as características da madeira são a densidade, a umidade, a anisotropia, a estrutura anatômica e os componentes químicos.

O vaso é a principal estrutura responsável pela movimentação de líquidos e gases na madeira das folhosas (SIAU, 1971; KEDROV, 2012; ENGELUND et al., 2013). A permeabilidade axial está diretamente relacionada à sua distribuição, ao seu diâmetro e ao conteúdo deles (KOLLMANN; KUENZI; STAMM, 1975). Estes podem ser solitários ou múltiplos, comunicam com os adjacentes por meio de pares de pontuações (PANSHIN; ZEEUW, 1980), e auxiliam na passagem dos fluidos entre eles (KEDROV, 2012). Madeiras com porosidade difusa, a água movimentava-se com velocidade dez vezes menor que em outra com porosidade em anel, devido à maior variação na largura dos poros (RAVEN et al., 2001).

Os tilos são estruturas presentes nos vasos de algumas espécies, que são excrescência de células do parênquima adjacentes que entram no lume dos vasos num formato de bolha

(MURMANIS, 1975). A presença de tilos restringe o movimento de água na madeira (BOND; HAMNER, 2002).

Baraúna et al. (2014) encontraram correlação positiva entre o comprimento de fibras e a permeabilidade ao líquido para a madeira de amapá. Monteiro et al. (2017) observaram que o aumento das dimensões das fibras (comprimento, largura e diâmetro do lume) favoreceu o fluxo da água nas madeiras de *Eucalyptus e Corymbia*. Ahmed e Chun (2011) afirmam que as fibras afetam a movimentação dos fluidos na madeira de *Tectona grandis*. A espessura da parede celular está relacionada com a quantidade de água livre e adsorvida na madeira (ENGELUND et al., 2013) e, por consequência o fluxo destas águas. Desta forma, quanto mais larga a fibra, maior será o seu volume e maior será a quantidade de água líquida de vapor e adsorvida armazenada.

Os raios ou parênquima radial são conhecidos como elementos condutores ao longo da direção radial do tronco da árvore (MONTEIRO, 2014). Estes se originam com base em células iniciais radiais do câmbio, cuja formação é completamente diferente das fusiformes, como as fibras, os raios apresentam dimensões variáveis, podendo ser unisseriados ou multisseriados (ESTEBAN et al., 2003). Estas estruturas auxiliam na saída da água, conforme relatado por Ahmed e Chun (2011). A altura do raio possui relação diretamente proporcional com a taxa de secagem da madeira (MONTEIRO et al., 2017). Ahmed, Hong e Chun (2007) observaram diferença na condução de líquidos pelos parênquimas radiais na madeira de *Prunus sargentii*. Os parênquimas radiais comumente formados por 4-5 fileiras de células, predominantemente do tipo procumbentes, têm maior permeabilidade que as células do tipo quadrada, devido à variação no comprimento da célula. Outra importância dos raios no processo de secagem é, devido à ocorrência de rachaduras (MARQUES, 2008), as quais ocorrem no sentido dos raios (TSOUMIS, 1968).

A importância das pontoações raio-vasculares na movimentação da água na madeira é relatada em diversos trabalhos (KEDROV, 2012; MONTEIRO et al., 2017. SIAU, 1971). As pontoações, segundo Kedrov (2012), apresentam particularidades para a ocorrência do fluxo da água, como o achatamento e o espessamento da parede celular próxima às pontoações, que melhoram a penetração da água que ocorre sob pressão. Este fato deve se ao próprio arranjo das células parenquimáticas radiais que interferem, principalmente, no fluxo das direções radial e tangencial (MONTEIRO, 2014).

Em relação às propriedades físicas da madeira, a umidade é um fator a ser considerado no processo de secagem. Madeiras com umidades elevadas exigem maior tempo de secagem e aumentam a susceptibilidade de defeitos de secagem (DEOMANO, 1995; SIMPSON, 1991)

Segundo Andrade (2000), anatomicamente, madeiras com alta densidade básica possuem maior espessura da parede celular e menor volume do lume. Estas madeiras possuem maior quantidade de água de adsorção, cuja movimentação é mais lenta. Por outro lado, as de menor densidade possuem maior quantidade de água no estado líquido (RASMUSSEN, 1961), tornando a secagem da madeira de menor densidade mais rápida.

Outra propriedade física relacionada à secagem da madeira é a anisotropia. A madeira é um material higroscópico, e apresenta alterações dimensionais desiguais nas três direções (BROWN; PANSHIN; FORSAITH, 1952). Assim, a determinação da razão entre as contrações tangencial e radial, conhecida como coeficiente de anisotropia, torna-se um índice importante para definir a probabilidade de formação de rachaduras e de empenamentos na madeira (OLIVEIRA, 1988). A madeira mais adequada para usos relacionados à estabilidade dimensional será aquela com menor coeficiente de anisotropia, pois caracteriza-se por apresentar baixas alterações nas dimensões transversais absolutas (PANSHIN; DE ZEEUW, 1980).

A lignina é uma macromolécula que possui papel importante no transporte de água, de nutrientes e de metabólitos, protegendo os tecidos contra o ataque de microrganismos. Isso ocorre devido à estrutura da lignina poder se relacionar de acordo com a sua natureza fenólica, o que promove o aumento da rigidez da parede celular, a diminuição da permeabilidade da madeira e a proteção dela contra agentes xilófagos (KLOCK et al., 2005).

Componentes químicos como, por exemplo, os extrativos podem interferir na movimentação da água. Os extrativos são, de acordo com Flynn (1995), Rice e Onofrio (1996), e Woo et al. (2005), barreiras naturais dentro da madeira para o fluxo líquido, especialmente no cerne. Quando obstruem as pontuações e se alojam no interior das células do parênquima radial e do elemento vascular, diminui a movimentação de água (MONTEIRO et al., 2017), interferindo no processo de secagem, tornando-o mais lento.

### 2.13 Programas de secagem

Programa de secagem é um plano, no qual combinações adequadas de temperatura e umidade em uma estufa são aplicadas. Seu objetivo é reduzir a umidade da madeira até o valor requerido, com o mínimo de defeitos (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985). É elaborado experimentalmente em condições de laboratório.

Segundo Rasmussen (1961) o programa de secagem possui quatro fases:

- a) aquecimento – ocorre o aquecimento da madeira e do ar dentro da estufa até a temperatura inicial de secagem;
- b) secagem – usa-se os parâmetros do programa de secagem (umidade relativa e temperatura) e, dessa forma, retira-se a água da madeira com o mínimo de tempo e defeitos;
- c) uniformização – fase a qual reduz-se a variação da umidade entre as peças de madeira, gerando homogeneização da umidade;
- d) acondicionamento – elimina-se as tensões internas nas peças de madeira.

Os principais fatores que influenciam na seleção do programa de secagem são: a espécie; a umidade inicial e final; a espessura das peças; o uso final do produto e o equipamento de secagem utilizado (MARTINS, 1988).

Existem variações dentro da própria madeira, como exemplo, as características distintas da madeira no sentido medula-casca as quais podem influenciar o programa de secagem. É necessário o desenvolvimento de programas de secagem para diferentes espécies e o estudo das diversas variações das características da madeira que possam influenciar nesse processo, tornando-o mais eficiente.

#### 2.14 Defeitos de secagem

Os defeitos de secagem são todas as alterações que ocorrem na estrutura da madeira, que dificultam seu processamento ou inutilizam seu uso (BRANDÃO, 1989). Estes defeitos causam significativos prejuízos econômicos, sendo a secagem uma fase importante para a indústria madeireira. Os principais defeitos que ocorrem durante o processo de secagem são os empenamentos, as rachaduras, o colapso e o endurecimento superficial.

As rachaduras surgem devido à diferença de contração nas direções radial e tangencial da madeira e da diferença de umidade entre a região interna e externa da peça, durante o processo de secagem (OLIVEIRA, 1981). Estas diferenças levam o aparecimento de tensões, tornando-se superiores à resistência dos tecidos lenhosos, rompem a madeira, ocasionando as rachaduras (GOMIDE, 1973).

Podem ocorrer três tipos distintos de rachadura, de topo, de superfície e interna. As rachaduras de topo são causadas pela secagem rápida da extremidade da peça em relação ao restante da tábua, geralmente surgem nos raios que são constituídos por células



parenquimáticas, as quais possuem baixa resistência mecânica, podendo em intensidades maiores ocasionar fendas nas tábuas (MARTINS, 1988).

As rachaduras superficiais aparecem quando as condições de secagem são severas, ou seja, umidades relativas baixas (menores que 50%), gerando evaporação acelerada da camada superficial da peça (OLIVEIRA, 1981).

As rachaduras internas podem ser resultados de rachaduras superficiais que se fecharam (PONCE; WATAI, 1985). Estas aparecem, geralmente, em madeiras mais densas que foram secas à temperatura excessivamente elevada e cuja resistência à tração transversal seja inferior as tensões de secagem (KOLLMANN, 1950, citado por BRANDÃO, 1989). As rachaduras internas podem estar associadas com o colapso e o endurecimento superficial (OLIVEIRA, 1981). Na maioria das vezes, esta rachadura não é visível na superfície nem no topo da peça e, somente após o corte, poderá ser observado. Este tipo de rachadura não pode ser eliminado e, na grande maioria dos casos, a madeira é inutilizada.

As rachaduras superficiais e de topo originadas durante a secagem ocorrem nos estágios iniciais, devido aos gradientes de umidade (DENIG et al., 2000). Entretanto, as rachaduras internas originam-se ao final do processo, na maioria das vezes, associadas ao prolongamento das rachaduras superficiais (SANTOS, 2002).

Dessa forma, o estudo do comportamento e intensidade das rachaduras em diferentes espécies é necessário para poder elaborar estratégias que minimizem os efeitos negativos destes defeitos.

## 2.15 Secagem drástica

Terazawa (1965), citado por Brandão (1989), a fim de desenvolver metodologia de fácil operacionalidade para elaboração de programas de secagem de madeiras, estudou os defeitos de rachadura e colapso decorrentes da secagem a 100°C, com temperatura inicial e final do programa de secagem com diferentes dados da literatura em diversas madeiras. No Brasil o estudo iniciou-se por Brandão (1989) que propôs o desenvolvimento da metodologia de secagem drástica para elaboração de programas de secagem. A hipótese da metodologia foi que pequenos corpos-de-prova, ao serem submetidos à secagem drástica em estufa a 100°C irão apresentar defeitos em níveis proporcionais aos que ocorreriam durante a secagem industrial.

Hipótese aceita e divulgada por Brandão e Jankowsky (1992) no qual a metodologia pode ser usada para prever o comportamento de madeiras submetidas ao processo de secagem

convencional. Posteriormente, trabalhos foram realizados no laboratório de secagem de madeiras da ESALQ/USP (JANKOWSKY, 1997, citado por CINIGLIO, 1998) a fim de atingir aprimoramento da metodologia.

O método vem sendo utilizado por alguns autores, Ciniglio (1998) elaborou programas de secagem para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, Andrade (2000) estudou doze espécies utilizadas no mercado madeireiro das regiões sul e sudeste do país. Barbosa et al. (2005) desenvolveram programas de secagem para clones híbridos de *Eucalyptus*, Santos (2002), Batista (2009), Susin (2012) e Soares (2015) também estudaram o gênero *Eucalyptus*. Arruda (2014) elaborou programa de secagem para madeira juvenil de teca. Todos os autores encontraram resultados satisfatórios para a elaboração de programas de secagem a partir da metodologia de secagem drástica.

#### 2.16 Usinagem da madeira

Segundo Bonduelle et al. (2002) a usinagem é definida como Função 5M, ou seja, é influenciada pela matéria-prima, máquina, metodologia, mão-de-obra e meio ambiente.

Em relação à matéria-prima estão contidas as características intrínsecas a madeira. Por exemplo, quando a madeira possui sílica esta impõe maior resistência e com isso há maior desgaste das ferramentas de corte (LUCAS FILHO, 2004).

A umidade da madeira possui relação inversamente proporcional ao corte, ou seja, madeiras com maior umidade necessitam de menor energia específica de corte (GUEDES et al., 2020). Madeiras de maior densidade requerem mais energia específica para remover o mesmo volume do que madeiras de menor densidade (ANDRADE, 2018; GUEDES et al., 2020). Visto que o aumento do número e dimensões dos vasos ocasiona decréscimo na densidade da madeira, pois os vasos apresentam mais espaços vazios facilitando assim o corte (DOWNES, 1997).

Relacionado ao maquinário a escolha da ferramenta deverá ser feita em função do tipo de madeira a ser usinada, do material de confecção da ferramenta e da magnitude de seus ângulos (BONDUELLE, 2001). Também deve-se estar atento ao estado de conservação do gume de corte. Na prática industrial, existem métodos de especificação da vida da ferramenta de corte entre duas afiações sucessivas, utilizando os tempos de máquina, tempo efetivos de corte, volume de material removido e número de peças usinadas (LUCAS FILHO, 2004). A afiação da ferramenta de corte afeta as operações de processamento e influencia na qualidade, nas forças de corte e conseqüentemente na produtividade (NÉRI et al., 1999).

Andrade et al. (2018) observaram que a redução da velocidade de avanço e o aumento da rotação do eixo porta-ferramenta possibilitou melhorar a qualidades da superfície usinada da madeira de mogno africano. Caso a rotação for maior do que o necessário, poderá provocar o escurecimento da superfície usinada, além do desgaste prematuro do gume de corte da ferramenta, diminuindo sua vida útil (BONDUELLE, 2001).

A mão de obra é fator de importância, pois a regulagem e o ajuste correto das máquinas estão diretamente ligados ao grau de conhecimento do operador sobre todas as regulagens existentes que afetam diretamente a qualidade da superfície usinada, bem como detectar o mau funcionamento das mesmas, que causará diferentes situações de usinagem e conseqüentemente qualidades inferiores (SILVA et al., 1996). Por exemplo, a fixação excêntrica da peça, defeito de forma da fresa, vibrações da máquina, da ferramenta ou da peça de madeira causam ondulações na superfície da madeira (DIN 4760, 1982).

Entender a correta trabalhabilidade da madeira, requer conhecimento de suas propriedades, dos parâmetros de usinagem e de suas interações (SILVA et al., 2005).

## 2.17 Qualidade da superfície usinada da madeira

A qualidade obtida na usinagem não é pontual e sim relação ampla de todas as variáveis envolvidas no processo e do material usinado. Dessa forma, é importante avaliar a variação dessas propriedades por meio das medições no âmbito macro e microscópico (KININMONTH; WHITEHOUSE, 1991).

A definição de qualidade da usinagem é diferentemente conceituada por dois grupos de pesquisadores. O primeiro grupo conceitua a qualidade por meio do cálculo do avanço por dente (fz) ou da profundidade do arco ciclóide (t). O fz são as marcas deixadas por polegada linear ou em milímetros na superfície da madeira (CETMAM/SENAI, 1996; SENAI, 1995). O segundo grupo considera não somente os parâmetros indicados anteriormente, mas também a presença de falhas na superfície, as quais são geradas em função da estrutura da madeira pela presença dos diferentes tipos de células, de suas diferentes dimensões e orientações. Toda essa variação estrutural pode apresentar defeitos na forma de orifícios, trincas e pré-rachamentos (BONDUELLE et al., 2002, SILVA et al., 1999).

A usinagem bem executada melhora o seu desempenho frente aos processos de acabamento superficial, tornando a operação economicamente ajustada (SILVA et al., 2009).

## 2.18 Qualificação da superfície usinada da madeira

A qualificação da superfície da madeira pode ser feita por diferentes metodologias, por exemplo, a análise visual em que defeitos como arrancamento de fibras, lasqueamento e falhas de usinagem são avaliados. Posteriormente, são atribuídas notas para qualificar a superfície, as quais variam de 1 a 5. A nota 1 corresponde à melhor qualidade, tendo a superfície isenta de defeito e a nota 5 corresponde a superfície com maior grau de defeitos (ASTM D 1666-11, ASTM, 2011).

Outra metodologia é a análise da rugosidade da madeira, que teve como base, os estudos de rugosidade da superfície do aço, na indústria metal mecânica. Entretanto, a evolução da usinagem de metais não foi igual àquela ocorrida com a madeira. O metal e a madeira possuem níveis de heterogeneidades diferentes. A rugosidade da madeira consiste não apenas nas irregularidades do processamento, mas também nas irregularidades anatômicas como grã irregular e presença de vasos (GURAU et al., 2007). Dessa forma, a medição da qualidade da superfície usinada em madeira requer análise mais minuciosa do que quando realizada em metais.






Os rugosímetros são ferramentas que determinam o perfil de rugosidade das superfícies de materiais, utilizam uma pequena agulha para medir as variações verticais em função do deslocamento horizontal. Dessa forma, definem numericamente e graficamente o seu perfil.

Em estudo realizado por Silva et al. (2006) mostraram que o rugosímetro de arraste pode ser utilizado para verificação da rugosidade de superfícies usinadas de madeira. Essa metodologia pode ter grande potencial para avaliação da qualidade da superfície da madeira usinada em indústrias de móveis, se feitos ajustes para sua aplicação neste setor industrial. Dessa forma, é necessário estudos nesse tema para poder desenvolver e aprimorar a técnica de qualificação da rugosidade em madeiras.

## 2.19 Rugosidade da madeira

Para Burdurlu et al. (2005) a rugosidade da madeira são os desvios de elevação em um dado plano ou superfície. Contudo, na superfície de uma peça existem vários níveis de desvios geométricos. A classificação dos desvios de forma de acordo com sua ordem e suas causas geradoras segundo DIN 4760 estão representadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação dos desvios de forma em função de sua ordem e suas causas geradoras.

 <p>Forma</p>	<p>1º ordem: Desvio de forma devido a defeitos nas guias das máquinas, deformações por flexão da peça, fixação errada da peça, desgaste nas guias da peça.</p>
 <p>Ondulação</p>	<p>2º ordem: Ondulações causadas por fixação excêntrica da peça, defeito de forma de uma fresa, vibrações da máquina, da ferramenta ou da peça.</p>
 <p>Rugosidade</p>	<p>3º ordem: Provoca ranhuras devido a forma da ferramenta, avanço ou profundidade de corte.</p>
 <p>Rugosidade</p>	<p>4º ordem: Provoca protuberâncias na superfície devido ao processo de formação do cavaco e deformação do material.</p>
 <p>Rugosidade</p>	<p>Superposição dos desvios anteriores</p>
<p>Não há representação gráfica</p>	<p>5º ordem: Processo de cristalização, modificação da superfície por ataque químico e corrosão.</p>
<p>Não há representação gráfica</p>	<p>6º ordem: Processo físico e químico da estrutura da matéria, tensões de deslizamento na estrutura reticular do material.</p>

Fonte: Adaptação de DIN 4760 (1982).

A rugosidade é o somatório dos desvios de 3ª ordem (ranhuras devido à ferramenta), 4ª ordem (protuberância da formação de cavacos) e 5ª ordem (microestrutura do material). Os desvios de 6ª ordem que estão relacionados não são incluídos nas medições de rugosidade.

## 2.20 Parâmetros de rugosidade

Os parâmetros de rugosidade são obtidos pelo rugosímetro de arraste, cuja definição está de acordo com a norma NBR ISO 4287:2002 (ABNT, 2002). A rugosidade média ( $R_a$ ) é calculada de acordo com a Equação 1, a altura máxima do pico do perfil ( $R_p$ ) equivale ao maior pico no comprimento de medição, a profundidade máxima do vale do perfil ( $R_v$ ) é o vale mais profundo no comprimento de medição, a altura máxima do perfil ( $R_z$ ) é a soma do

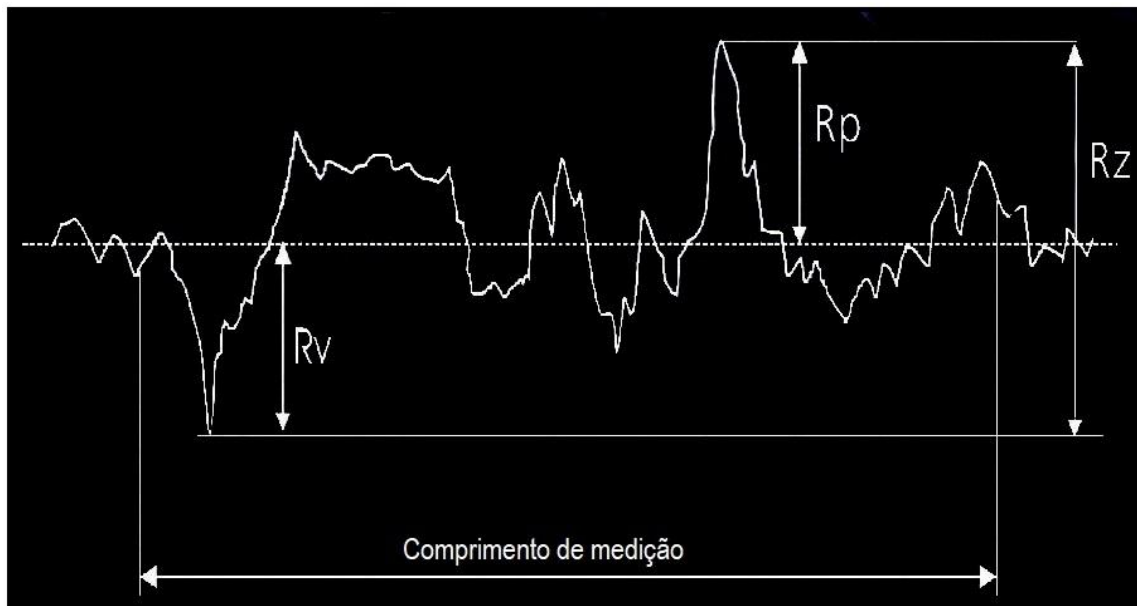
maior pico e maior vale (Figura 5). A altura total do perfil ( $R_t$ ) é a soma dos maiores picos e vales no comprimento de avaliação chamado cut-off (Figura 6).

O comprimento de medição ( $L_m$  na Figura 6) é o somatório de todos os comprimentos de avaliação denominado cut-off, representado pela sigla  $L_c$  na Figura 6.

$$R_a = \frac{\sum y_n}{n} \quad (1)$$

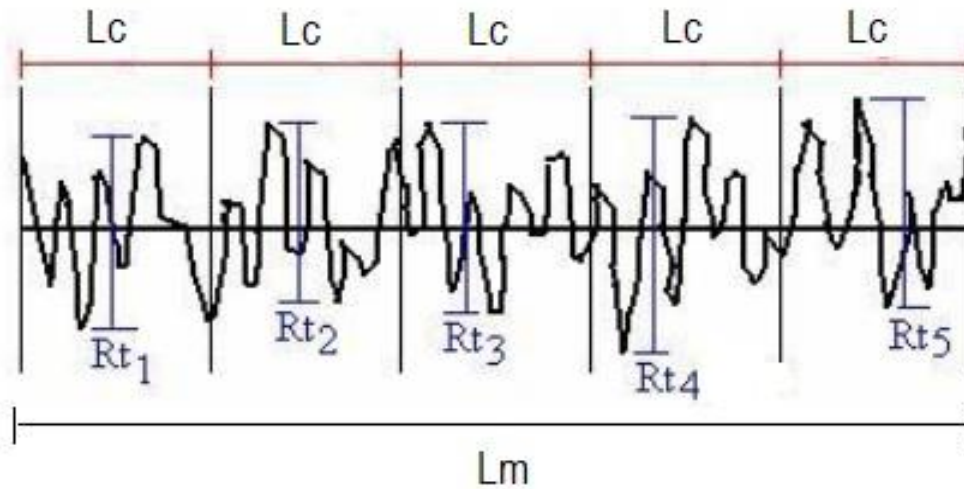
Em que:  $R_a$  = Parâmetro de rugosidade ( $\mu\text{m}$ );  $y_n$  = Valores absolutos das ordenadas de afastamento, em relação à linha média;  $n$  = Número de leituras de  $y$ .

Figura 5 - Representação da profundidade máxima do vale ( $R_v$ ), da altura máxima do pico ( $R_p$ ) e altura máxima  $R_z$  no perfil de rugosidade.



Fonte: Mitutoyo (2016).

Figura 6 - Representação da altura total do perfil ( $R_t$ ), do comprimentos de avaliação – cut-off ( $L_c$ ), do comprimento de medição ( $L_m$ ).



Fonte: Adaptação de Silva, Braga e Martins (2008).

Segundo Zecchino (2006) o parâmetro  $R_a$  é o mais utilizado para medição da rugosidade da superfície, devido ser de fácil obtenção, bastante conhecido. Porém apenas o valor de  $R_a$  não define a forma de irregularidades do perfil. Por exemplo, os parâmetros  $R_t$  e  $R_z$  são utilizados quando se é necessário ou deseja especificar a altura máxima da rugosidade, sendo estes influenciados diretamente por qualquer defeito ou irregularidade na superfície (MACHADO et al., 2009).

## REFERÊNCIAS

- AGARWALA, P.; GAURB, P. K.; TYAGIA, N.; PURIB, D.; KUMARC, N.; KUMARD, S. S. An Overview of Phytochemical, Therapeutic, Pharmacological and Traditional Importance of *Syzygium cumini*. **Asian J. Pharmacogn**, v. 3, n. 1, p. 5-17, 2019.
- AHMED, S. A.; HONG, S. D.; CHUN, S. K. Essential oil penetration depth in *Prunussargentii* Rehder. **Journal of the Korea Furniture Society**, Seoul, v. 18, n. 4, p. 307-311, 2007.
- AJIBOYE, B. O.; OJO, O. A.; ADEYONU, O.; IMIERE, O.; OLAYIDE, I.; FADAKA, A.; OYINLOYE, B. E. Inhibitory effect on key enzymes relevant to acute type-2 diabetes and antioxidative activity of ethanolic extract of *Artocarpus heterophyllus* stem bark. **Journal of acute disease**, v. 5, n. 5, p. 423-429, 2016.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 1666-11: **standard method for conducting machining tests of wood and wood base materials**. Philadelpia, 2011. 20 p.
- ANDRADE, A. **Indicação de programas de secagem convencional de madeiras**. 72 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- ANDRADE, A.C.A. **Investigação da energia de corte em madeiras de diferentes densidades básicas**. 2018. 32 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.
- ANDRADE, AC de A.; DA SILVA, J. R. M.; MOULIN, J. C.; DE OLIVEIRA, M. B.; DE SOUZA, M. T.; Lima, L. C. Quality of machined surfaces and specific cutting energy in wood of two African mahogany species. **Scientia Forestalis**, n. 120, p. 532-539, 2018.
- ARAÚJO, A. C. C. de; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; DE CARVALHO BRAGA, P. P.; DE LIMA, R. V.; PROTÁSIO, T. D. P. Efeito da relação siringil/guaiacil e de fenóis derivados da lignina nas características da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus* spp. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 110, p. 405-414, 2016.
- ARRUDA, T. P. M. de. **Secagem da madeira juvenil de *Tectona grandis* L.F.** 98 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 4287: **Especificações geométricas dos produtos (GPS) – rugosidade: método do perfil – termos, definições e parâmetros da rugosidade**. Rio de Janeiro, 2002.
- ATHANÁZIO-HELIDORO, J. C. **Qualidade da madeira de árvores de Guapuruvu (*Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake) com 15 anos provenientes de área de recuperação florestal**. 2015. 150 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu-SP.



BANDIOLA, T. M.; IGNACIO, G. B.; YUNSON, E. G.; BANDIOLA, P. *Syzygium cumini* (L.) Skeels: a review of its phytochemical constituents, toxicity studies, and traditional and pharmacological uses. **Int. J. Appl. Pharm. Biol. Res**, v. 2, n. 6, p. 15-23, 2017.

BARAÚNA, E. E.P.; LIMA, J. T.; VIEIRA, R. D. S.; SILVA, J. R. M. D.; Monteiro, T. C.. Efeito da estrutura anatômica e química na permeabilidade da madeira de Amapá. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 4, p. 529-534, 2014.

BARBOSA, C. G.; LIMA, J. T.; ROSADO, S. C. S.; TRUGILHO, P. F. Elaboração de programa de secagem para madeiras de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. **Cerne**. Lavras, v. 11, n. 1, p. 40-48, 2005.

BARBOSA, U.do N. **Aspectos ecológicos e influência de *Artocarpus heterophyllus* Lam na estrutura do componente arbóreo de fragmento florestal urbano, Recife, PE**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Recife, 2016. 79 f.

BAURU-SP (Município). Resolução nº 11 de 2007. **Declara a lista oficial das espécies exóticas invasoras ou com potencial de invasão do Município de Bauru e dá outras providências**. Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Bauru-SP. 2007.

BATISTA, D. C. **Qualidade da secagem convencional conjunta da madeira de nove clones do gênero *Eucalyptus***. 105p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2009.

BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; SANTOS, C. V. T. Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 4, pp. 665-674, 2010.

BELLARD, C.; CASSEY, P.; BLACKBURN, T. M. Alien species as a driver of recent extinctions. **Biology letters**, v. 12, n. 2, p. 20150623, 2016.

BENITES, P. K. R. M.; DA SILVA LOPES, A.; GOUVÊA, A. D. F. G.; DA SILVA, F. C.; DE SOUZA, C. C. B. Caracterização tecnológica da madeira de híbridos de eucalipto irrigados e fertirrigados. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 4, p. 1716-1728, 2018.

BENSUSAN, N. Diversidade e unidade: um dilema constante. Uma breve história da ideia de conservar a natureza em áreas protegidas e seus dilemas. **A diversidade cabe na unidade**, p. 30-81, 2014.

BENDTSEN, B. A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. **Forest Products Journal**. v. 28, n.10, p. 61-71. 1978.

BONATO JUNIOR, I. A.; ROCHA, M. P. D.; JUIZO, C. G. F.; KLITZKE, R. J. Efeito do Sistema de Desdobro e das Classes Diamétricas no Rendimento em Madeira Serrada de *Araucaria angustifolia*. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

BONDUELLE, A. Usinagem, qualidade e custo. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 61, p. 82-86, nov. 2001.

BONDUELLE, A.; CRUZ, S. R. da; SILVA, J. R. M. **Processo mecânico da madeira**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2002. 26 p. Notas de aula.

BORTOLETTO JUNIOR, G. **Indicações para utilização da madeira de seis espécies e variedades de pinus aplicada na construção civil**. 1993. 119p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos-SP. 1993.

BRANDÃO, AT de O. **Determinação de metodologia para a indicação de programas de secagem de madeiras**. 100 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

BRANDÃO, A. T. de O.; JANKOWSKY, I. P. A screening to select kiln schedules. **IPEF Internacional**, Piracicaba (2) p. 20 - 24, 1992.

BRASIL. **Constituição da República dos Estados Unidos do Brasil**. Diário Oficial da União, 16 de julho de 1934.

BRASIL. Decreto n° 23793, de 23 de janeiro de 1934. **Aprova o código florestal**.

BRASIL. Lei n° 4771 de 15/09/1965 que **institui o novo código florestal**. 1965.

BRASIL **Constituição da República Federativa do Brasil**. Diário Oficial da União República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 05 out. 1988.

BRASIL. **Anteprojeto de Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação**. Brasília:IBAMA. 8p, 1989.

BRASIL. **Decreto Legislativo n° 2, de 1994**. Aprova o texto da Convenção sobre Diversidade Biológica. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 03 fev. 1994.

BRASIL. **Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 12 de fev. de 1998.

BRASIL. Lei n° 9.985, de 18 de julho de 2000. **Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza**. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, DF. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=322>> Acesso em: agosto de 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Cadastro Nacional de Unidades de Conservação. **Tabela consolidada das Unidades de Conservação**. Disponível em: <[https://www.mma.gov.br/images/arquivo/80229/CNUC\\_FEV20%20-%20B\\_Cat.pdf](https://www.mma.gov.br/images/arquivo/80229/CNUC_FEV20%20-%20B_Cat.pdf)> Acesso em: fevereiro de 2020.

BOND, B. H.; HAMNER, P. C. **Wood identification for hardwood and softwood species native to Tennessee**. Knoxville: University of Tennessee, 2002. 15 p.

BONDUELLE, A.; CRUZ, S. R. da; SILVA, J. R. M. **Processo mecânico da madeira**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2002. 26 p. Notas de aula.

BROWN, H. P.; PANSKIN, A. J.; FORSAITH, C. C. **Wood in relation to moisture**. In: TEXTBOOK of wood technology. New York: McGraw-Hill, v. 2, p. 61-98. 1952.

BURCI, L. M.; DA SILVA, C. B.; RONDON, J. N.; DA SILVA, L. M.; DE ANDRADE, S. F.; MIGUEL, O. G.; DIAS, J. F. G.; MIGUEL, M. D. Acute and subacute (28 days) toxicity, hemolytic and cytotoxic effect of *Artocarpus heterophyllus* seed extracts. **Toxicology Reports**, v. 6, p. 1304-1308, 2019.

BURDURLU, E.; USTA, I.; ULUPINAR, M.; AKSU, B.; ERARSLAN, T. Ç. The effect of the number of blades and the grain size of abrasives in planing and sanding on the surface roughness of European black pine and Lombardy poplar. **Turkish journal of agriculture and forestry**, v. 29, n. 4, p. 315-322, 2005.

CARDIN, V. de S. **Ensaio não destrutivo aplicado à madeira serrada e estruturas: técnicas potenciais para uso no Brasil**. 2011. 116 p. Dissertação (Mestrado em construção civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP. 2011.

CARDINALE, B. J.; DUFFY, J. E.; GONZALEZ, A.; HOOPER, D. U.; PERRINGS, C.; VENAIL, P.; NARWANI, A.; MACE, G. M.; TILMAN, D.; WARDLE, D. A.; KINZIG, A. P.; DAILY, G. C.; LOREAU, M.; GRACE, J. B.; LARIGAUDERIE, A.; SRIVASTAVA, D.S.; NAEEM, S. Biodiversity loss and its impact on humanity. **Nature**, v. 486, n. 7401, p. 59-67, 2012.

CARVALHO, D. E.; DA ROCHA, M. P.; JUNIOR, R. T.; KLITZKE, R. J. Rendimento e variedade de produtos no desdobro de toras de *Eucalyptus* spp. **Tecno-Lógica**, v. 23, n. 1, p. 8-13, 2019.

CASTRO, P.F. **Atlas das unidades de conservação do Estado do Rio de Janeiro**, 2ª edição, Metalivros, São Paulo. 2015.

CAVALCANTI, N.B. Influência de diferentes substratos na emergência e crescimento de plântulas de jambolão (*Syzygium jambolanum* lam.). **Engenharia Ambiental – Espírito Santo do Pinhal**, v. 7, n. 2, p. 241-251, 2010.

CETMAM/SENAI. **Fundamentos teóricos da afiação e manutenção de ferramentas para a indústria moveleira e madeireira**. São José dos Pinhais, 1996. 73 p.

CHIMELO, J. **Anatomia e propriedades gerais da madeira**. OLIVEIRA, JTS; FIEDLER, NC NOGUEIRA, M. Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro. Jerônimo Monteiro: Suprema Gráfica e Editora, p. 107-124, 2007.

CINIGLIO, G. **Avaliação da secagem de madeira serrada de *E. grandis* e *E. urophylla***. 1998. 69 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY – CBD. 1992. 30p. Disponível em: <<https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-en.pdf>>. Acesso em 28 de abril de 2020.

CONFERENCE OF THE PARTIES TO THE CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY – COP-6 da CDB. 2002. **Report of the Sixth Meeting of the Conference of the Parties of the Convention on Biological Diversity**. 341p. Disponível em: <<https://www.cbd.int/doc/meetings/cop/cop-06/official/cop-06-20-en.pdf>>. Acesso em 28 de abril de 2020.

CONTI, V.M.; IWAMOTO S.; HIDALGO, ALMEIDA, T.M.H.; PEREIRA, T.S. Revisão dos limites do Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguésia** 59: 603-607. 2008.

COSTA. N. M. C. **Análise do Parque Estadual da Pedra Branca (RJ) por Geoprocessamento**: Uma contribuição ao seu plano de manejo. 2002. 317 p. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2002.

CRANE, J.H.; BALERDI, C.F.; CAMPBELL, R.J. 2002. **The Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) in Florida**. University of Florida IFAS Extension. Fact Sheet HS-882.

CUNHA, A.A.; VIEIRA, M.V. & GRELLE, C.E. Preliminary observations on habitat, support use and diet in two non-native primates in an urban Atlantic forest fragment: The capuchin monkey (*Cebus* sp.) and the common marmoset (*Callithrix jacchus*) in the Tijuca forest, Rio de Janeiro. **Urban Ecosystems** 9: 351-359. 2006.

DANIELLI, F. E. **Modelagem do rendimento no desdobro de toras de Manilkara spp.(sapotaceae) em serraria na nova fronteira madeireira do estado de Roraima, Brasil. 2013. 82 p.** 2013. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestre em Ciências de Florestas Tropicais). Área de concentração em Manejo Florestal. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA, Manaus, Amazonas.

DEAN, W. **A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira**. São Paulo: Companhia das Letras, 2002.

DADZIE, P. K.; AMOAH, M. Density, some anatomical properties and natural durability of stem and branch wood of two tropical hardwood species for ground applications. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 73, n. 6, p. 759-773, 2015.

DECHOUM, M. D. S.; SAMPAIO, A. B.; ZILLER, S. R.; ZENNI, R. D. Invasive species and the Global Strategy for Plant Conservation: how close has Brazil come to achieving Target 10?. **Rodriguésia**, v. 69, n. 4, p. 1567-1576, 2018.

DE JESUS, D. S.; SILVA, J. S. Variação radial de propriedades anatômicas e físicas da madeira de eucalipto. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 37, n. 1, p. 26476, 2020.

DELUCIS, R. A.; GATTO, D. A.; STANGERLIN, D. M.; CADEMARTORI, P. H. G.; WEINERT, L. C.; DE AVILA VEGA, R. Segregação e variação radial das propriedades físicas da madeira juvenil e adulta de cedro (*Cedrela fissilis* Vellozo), **Scientia Florestalis**, v. 41, n. 100, pp. 549-556, 2013.

DEOMANO, E. C. **Influence of some anatomical structures and physical properties on the drying rates of selected industrial tree plantation species**. 1995. 111 p. Thesis (Master of Science) - College of Forestry, Los Baños, 1995.

DENIG, J.; WENGERT, E. M.; SIMPSON, W. T. **Drying hardwood lumber**. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–118. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 138 p. 2000.

DEUTCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 4760. **Form deviations: concepts. classification system**. Berlin: Beut, 1982.

DIAS O. A.; SIMONELLI G. **Qualidade da madeira para a produção de celulose e papel**. Enciclopédia Biosfera: Centro Científico Conhecer: 3632-3646. 2013.

DONADIO, L.C. **Dicionário das frutas**. Jaboticabal: UNESP, 2007. p.130.

DOWNES, G. M. A. **Sampling plantation eucalypts for wood and fibre properties**. Collingwood: CSIRO, 1997. 132 p.

DRUMMOND, J. A. Devastação e preservação ambiental: os parques nacionais do Estado do Rio de Janeiro. Niterói: EDUFF, 1997, 306 p.

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

ESTEBAN, L. G.; Casasús, A. G.; Oramas, C.; Palacios, P. La madera y su anatomía. **Madri: AMVE Ediciones**, 2003.

FABRICANTE, J. R. et al. Invasão biológica de *Artocarpus heterophyllus* Lam. (Moraceae) em um fragmento de mata atlântica no nordeste do Brasil: impactos sobre a fitodiversidade e os solos dos sítios invadidos. **Acta Botânica Brasílica**, Belo Horizonte, v. 26, n. 2, p. 399-407, 2012.

FERNANDES, A. C. F. O sertão virou parque: natureza, cultura e processos de patrimonialização. **Estudos Históricos (Rio de Janeiro)**, v. 29, n. 57, p. 129-148, 2016.

FERREIRA, S.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, J. R. M.; ROSADO, A. M.; MONTEIRO, T. C. Resistência mecânica de caules de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias. **Cerne**, Lavras, v. 16, p. 133-140, 2010.

FERRÃO, J. E. M. **A aventura das plantas e os descobrimentos portugueses**. 2 ed., Lisboa: Instituto de Investigação Científica Tropical, 1993.

FIOCRUZ – Fundação Oswaldo Cruz. **Plano diretor do campus Fiocruz da mata atlântica Jacarepaguá, Rio de Janeiro**: Programa de implantação do campus Fiocruz da mata atlântica (PICFMA). Fiocruz: Rio de Janeiro. 2009. 147 p.

FIOTEC - Fundação para Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Saúde – BNDES Mata Atlântica. **Relatório Final: Restauração ecológica de 344 hectares de Mata Atlântica com espécies nativas; Reativação do Horto-Escola do Campus Fiocruz da Mata Atlântica**. 2016.

FYNN, K. A review of the permeability fluid flow, and anatomy of spruce (*Picea* spp.). **Wood Fiber Science**, Madison, v. 27, n. 3, p. 278-284, 1995.

FOELKEL, C. E. B., MORA, E., MENOCELLI, S. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. **O papel**, n.5, 1992.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985.

GAERTNER, M., WILSON, J. R., CADOTTE, M. W., MACIVOR, J. S., ZENNI, R. D., RICHARDSON, D. M. Non-native species in urban environments: patterns, processes, impacts and challenges. **Biol Invasions**. v. 19, p.3461–3469, 2017.

GAERTNER, M.; RICHARDSON, D. M.; PRIVETT, S. D. J. Effects of alien plants on ecosystem structure and functioning and implications for restoration: insights from three degraded sites in South African fynbos. **Environmental management**, v. 48, n. 1, p. 57-69, 2011.

GARVÃO, R. F.; DO NASCIMENTO BAIA, S. A. L. (2018). LEGISLAÇÃO AMBIENTAL: UM HISTÓRICO DE DESAFIOS E CONQUISTAS PARA AS POLÍTICAS PÚBLICAS BRASILEIRAS. **Nova Revista Amazônica**, v. 6, n. 2, p. 93-102, 2018.

GEISELER, S. **Efeitos da população de *Artocarpus heterophyllus* Lam. sobre a estrutura do componente arbóreo e regenerante da Reserva Biológica de Saltinho, Tamandaré – PE**. 2014. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

GENTILE, R.; CARDOSO, T. S.; COSTA-NETO, S. F.; TEIXEIRA, B. R.; D'ANDREA, P. S. Community structure and population dynamics of small mammals in an urban-sylvatic interface area in Rio de Janeiro, Brazil. **Zoologia (Curitiba)**, v. 35, 2018.

GRIČAR, J.; ELER, K. The frequency of ray and axial parenchyma versus tree-ring width in silver fir (*Abies alba* Mill.). **Trees**, v. 29, n. 4, p. 1023-1027, 2015.

GUEDES, T. O.; DA SILVA, J. R. M.; HEIN, P. R. G.; FERREIRA, S. C. Cutting energy required during the mechanical processing of wood species at different drying stages. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v. 22, n. 4, 2020.

GISP. 2007. **Invasive alien species and protected areas A scoping report**, part I. The global invasive species programme. 93p. Disponível em: [http://www.issg.org/pdf/publications/gisp/resources/ias\\_protectedareas\\_scoping\\_i.pdf](http://www.issg.org/pdf/publications/gisp/resources/ias_protectedareas_scoping_i.pdf) Acesso em outubro de 2017.

GOMIDE, J. L. **Secagem de madeira**. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa. 1973.

GURAU, L.; MANSFIELD-WILLIAMS, H.; IRLE, M. Separation of processing roughness from anatomical irregularities and fuzziness to evaluate the effect of grit size on sanded European oak. **Forest Products Journal**, v. 57, n. 1/2, p. 110, 2007.

HALEEL, M. P.; RASHID, K.; KUMAR, C. S. *Artocarpus Heterophyllus*: Review Study on Potential Activities. **Research Journal of Pharmacology and Pharmacodynamics**, v. 10, n. 1, p. 24-28, 2018.

IBDF/FBCN. **Plano do sistema de unidades de conservação do Brasil**. Brasília:Min. Da Agricultura. 1979, 107 p.

IBDF/FBCN. **Plano do sistema de unidades de conservação do Brasil: II Etapa**. Brasília:Min. da Agricultura. 1982, 173p.

ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Guia de orientação para o manejo de espécies exóticas invasoras em unidades de conservação federais**. 135p. 2019.

JAMALUDIN, K. **Properties of particleboard and thermoplastic board from buloh semantan (*Gigantochloa scortechinii*)**. University Publication Centre (UPENA), UiTM Pahang, Malaysia, 2006.

IWAKIRI S. 2005. Painéis de madeira reconstituída. Curitiba: FUPEF. 247p.

JANKOWSKY, I. P.; BILIA, F. A . C.; DUCATTI, M. A. **Ensaio rápido para a seleção de programas de secagem**. Reletório técnico CNPq 510555/93-4. Piracicaba. 1997. 12p.

JUSTO, F. M.; HOFMANN, G. S.; ALMERÃO, M. P. Espécies exóticas invasoras em unidades de conservação na região sul do Brasil. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 13, n. 3, p. 57-76, 2019.

JUIZO, C. G. F.; ROCHA, M. P. D.; BILA, N. F. Avaliação do rendimento em madeira serrada de eucalipto para dois modelos de desdobro numa serraria portátil. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 4, p. 543-550, 2014.

JUNIOR, B.; IDINAR, A.; ROCHA, M. P. D.; JUIZO, C. G. F.; KLITZKE, R. J. Efeito do Sistema de Desdobro e das Classes Diamétricas no Rendimento em Madeira Serrada de *Araucaria angustifolia*. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

LEHTO J, OASMAA A, SOLANTAUSTA Y, KYTÖ M, CHIARAMONTI D. Review of fuel oil quality and combustion of fast pyrolysis bio-oils from lignocellulosic biomass. **Applied Energy**. 116:178–190. 2014.

LIMA, C. K. P.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.; CARNEIRO, A. D. C. O. Características anatômicas e química da madeira de clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem. **Cerne**, v. 13, n. 2, p. 123-129, 2007.

LONGUI, E. L.; ROMEIRO, D.; PFLEGER, P.; LIMA, I. L.; SILVA Jr, F. G.; GARCIA, J. N.; BORTOLETTO JR., G.; FREIRE NETO, A.O.L.; FLORSHEIM, S. M. B. Radial variation of anatomical features, physicomechanical properties and chemical constituents and their potential influence on the wood quality of 45-year-old *Eucalyptus propinqua*. **Australian forestry**, v. 77, n. 2, p. 78-85, 2014.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 1992. 352p.

LORENZI, H. et al. **Arvores exóticas no Brasil : madeireiras, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa, SP : Instituto Plantarum, 2003.

LORENZI, H.; BACHER, L.; LACERDA, M.; SARTORI, S. **Frutas brasileiras e exóticas cultivadas**. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2006. p. 460.

LUCAS FILHO, F. C. **Análise da usinagem de madeiras visando a melhoria de processos em indústrias de móveis**. 2004. 176 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

KEDROV, G. B. Functioning wood. **Wulfenia**. v. 19, p. 57–95, 2012.

KININMONTH, J. A.; WHITEHOUSE, L. J. Properties and use of New Zealand radiata pine: wood properties. New Zealand: **Forest Research Institute**, 1991. v. 1, p. 13-18. 1991.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. 2000. 275p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Paraná. Curitiba-PR. 2000.

KLOCK, U.; MUNIZ, G. I. B.; HERNANDEZ, J. A.; ANDRADE, A. S. **Química da madeira**. 3. ed. Curitiba: FUPEF, 2005. 86p.

KOLLMANN, F. **Investigation sobre las origenes de los defectos de secado de madera de roble verde**. Estocolmo, Trärforskningsinstitut, 1950. 21 p.

KOLLMANN, F. F. P.; COTÊ, W. A. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, v. 1, 592p. 1968.

KOLLMANN, F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of Wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, 1975. v. 2, 703 p.

MACHADO, A. R.; ABRÃO, A. M.; COELHO, R. T.; da SILVA, M. B.; RUFFINO, R. T. **Teoria da usinagem dos materiais**. São Paulo: Editora Blucher, p. 384, 2009.

MANHIÇA, A. A.; ROCHA, M. P.; JUNIOR, R. T. Eficiência operacional no desdobro de *Pinus* utilizando modelos de corte numa serraria de pequeno porte. **Cerne**, v.19, n.2, pp.339-346, 2013.

MANHIÇA, A. A.; DA ROCHA, M. P.; JÚNIOR, R. T. Rendimento no desdobro de *Pinus* sp. utilizando modelos de corte numa serraria de pequeno porte. **Floresta**, v. 42, n. 2, p. 409-420, 2012.

MARQUES, M. H. B. **Agrupamento de 41 espécies da Amazônia para secagem baseado em características anatômicas e físicas**. 2008. 125 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

MARTINS, V.A. **Secagem de madeira serrada**. Brasília: IBDF, 1988. 56 p.



MCKENZIE, W. M.; CVITKOVIC, K. R.; RINGLER, M. Towards a model predicting cutting forces and surfaces quality in routing layered boards. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 35, p. 563-569, June 2001.

MEDEIROS, R. Evolução das tipologias e categorias de áreas protegidas no Brasil. **Ambiente & Sociedade**. Campinas, vol. IX, n. 1, p. 41-64, 2006.

MEDEIROS, R.; YOUNG, C.E.F.; PAVESE, H. B.; ARAÚJO, F. F. S. 2011. Contribuição das Unidades de Conservação brasileiras para a economia nacional: Sumário Executivo. Brasília: UNEP-WCMC, 44p.

MELLADO, E. C. E. R. **Modelo de transferência de calor e massa na secagem de madeira serrada de *Pinus***. 2007. 155 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MELO, R. R.; ROCHA, M. J.; JUNIOR, F. R.; STANGERLIN, D. M. Análise da influência do diâmetro no rendimento em madeira serrada de cambará (*Qualea* sp.). **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 88, p. 393-398, 2016.

MERCADANTE, M. **Uma década de debate e negociação: a história da elaboração da Lei do SNUC**. In: BENJAMIN, A.H. (org.) Direito Ambiental das Áreas Protegidas. Rio de Janeiro: Ed. Forense Universitária, 2001, p. 190-231.

MIGLIATO, K. F.; CARVALHO, E. S. D.; SACRAMENTO, L. V. S. D.; MELLO, J. C. P. D.; BABY, A. R.; VELASCO, M. V. R.; SALGADO, H. R. N. Total polyphenols from *Syzygium cumini* (L.) Skeels fruit extract. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 45, n. 1, p. 121-126, 2009.

MONTEIRO, T. C. **Efeito da anatomia no fluxo da água em madeira de *Eucalyptus* e *Corymbia***. 130 f. Tese (Doutorado em Tecnologia da Madeira)–Universidade Federal de Lavras. Lavras. 2014.

MONTEIRO, T. C.; Lima, J. T.; Hein, P. R. G.; da Silva, J. R. M.; Trugilho, P. F.; Andrade, H. B.. Efeito dos elementos anatômicos da madeira na secagem das toras de *Eucalyptus* e *Corymbia*. **Scientia Forestalis**, v. 45, p. 493-505, 2017.

MOKFIENSKI, A.; COLODETTE, J. L.; GOMIDE, J. L.; CARVALHO, A. M. M. L. A importância relativa da densidade da madeira e do teor de carboidratos no rendimento de polpa e na qualidade do produto. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 3, p. 401-403, 2008.

MOTA, M. S. C. **Nas terras de Guaratiba - uma aproximação histórico-jurídica às definições de posse e propriedade da terra no Brasil entre os séculos XVI – XIX**. 2009. 334 p. Tese (Doutorado em Ciências Sociais em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ, 2009.

MURMANIS, L. Formation of tyloses in felled *Quercus rubra* L. **Wood Science and Technology**, New York, v. 9, p. 3-14, 1975.

NÉRI, A. C.; GONÇALVES, R.; HERNANDEZ, R. E. Forças de corte ortogonal 90-0 em três espécies de madeira de eucalipto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 2, p. 239-244, 1999.

OLIVEIRA, L. C. S. **Perguntas e respostas em secagem de madeiras**. São Paulo: IPT, 1981. 36p.

OLIVEIRA, J. T. S. **Estudo das propriedades físicas e tecnológicas da madeira da pindaíba** (*Xylopia sericea* St. Hill). 1988. 106 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1988.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1998. 429f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

OLIVEIRA, J.T.S; SILVA, J.C.R. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, v.27, n.3, p.381-385, 2003.

OLIVEIRA, R. R. **As Marcas do Homem na Floresta**: história ambiental de um trecho de mata atlântica. Rio de Janeiro: PUC/RJ, 2005. 230 p.

OLIVEIRA, J. T. D. S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 29, n. 1, p. 115–127, 2005.

OLIVEIRA, J. T. S.; FILHO, M. T.; FIEDLER, N. C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, v. 34, n. 5, pp. 929-936, 2010.

OLIVEIRA, E.; DE AZEVEDO IRVING, M.; PUNZO, L. F. Comunicação e a Convenção sobre Diversidade Biológica: uma leitura sobre o Parque Estadual da Ilha Grande (Rio de Janeiro, Brasil) e o Parque Natural da Maremma (Toscana, Itália). **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 46, 2018.

PARANÁ (Estado). Portaria IAP nº074, de 19 de Abril de 2007. **Reconhece a Lista Oficial de Espécies Exóticas Invasoras para o Estado do Paraná, estabelece normas de controle e dá outras providências**. Instituto Ambiental do Paraná, Curitiba, PR, 2007.

PANSHIN, A.J.; DE ZEEW, C. **Textbook of wood technology**: II. New York, MC Graw Hill, 4 ed., 722 p. 1980.

PERDOMO, M.; MAGALHÃES, L.M. S. Ação alelopática da Jaqueira (*Artocarpus heterophyllus*) em laboratório. **Floresta e Ambiente**, v. 14, n. 1, p. 52-55, 2007.

PINTO, M. de L. **Propriedades e características da madeira de teca** (*Tectona grandis*) em função da idade. 2007. 124p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC. 2007.

POLETTI, M. Effect of extractive content on the thermal stability of two wood species from Brazil. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v. 18, n. 3, p. 435-442, 2016.

PONCE, R. M.; WATAI, L. T. **Manual de secagem de madeira**. Brasília: MIC/STI-IPT, 1985.

PRATES, A. P. L.; IRVING, M. A. Conservação da biodiversidade e políticas públicas para as áreas protegidas no Brasil: desafios e tendências da origem da CDB às metas de Aichi. **Revista Brasileira de Políticas Públicas**, v. 5, n. 1, p. 27-57, 2015.

RAHMAN, W. M. N. W. A.; YUNUS, N. Y. M.; KASIM, J.; TAMAT, N. S. M. Effects of Tree Portion and Radial Position on Physical and Chemical Properties of Kelampayan (*Neolamarckia cadamba*) Wood. **BioResources**, v. 13, n. 2, p. 4536-4549, 2018.

RAMANANANTOANDRO, T.; RAMANAKOTO, M. F.; RAJOELISON, G. L.; RANDRIAMBOAVONJY, J. C.; RAFIDIMANANTSOA, H. P. Influence of tree species, tree diameter and soil types on wood density and its radial variation in a mid-altitude rainforest in Madagascar. **Annals of forest science**, v. 73, n. 4, p. 1113-1124, 2016.

RASMUSSEN, E. F. **Dry kiln operator's manual**. Madison: USDA,-Forest Service, 1961. 197 p.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001. 906 p.

RAY, D.; DAS, M.; MITRA, D. Influence of alkali treatment on creep properties and crystallinity of jute fibres. **BioResources**, v. 4, n. 2, p. 730-739, 2009.

RAZA, A.; BUTT, M. S.; UI-HAQ, L.; SULERIA, H. A. R. Jamun (*Syzygium cumini*) seed and fruit extract attenuate hyperglycemia in diabetic rats. **Asian Pacific journal of tropical biomedicine**, v. 7, n. 8, p. 750-754, 2017.

RICE, R. W.; ONOFRIO, M. d'. Longitudinal gas permeability measurements from Eastern white pine, Red Spruce, and Balsam Fir. **Wood Fiber Science**, Madison, v. 28, n. 3, p. 301-308, 1996.

RIO DE JANEIRO (Estado). Resolução SMAC nº 544 de 28 de março de 2014. **Atualiza a lista de Espécies Vegetais Exóticas Invasoras**. Secretaria Municipal de Meio Ambiente do Rio de Janeiro. 2014.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Portaria nº 79/2013. **Reconhece a Lista Oficial de Espécies Exóticas Invasoras do Estado do Rio Grande do Sul**. Secretaria Estadual de Meio Ambiente, 2013.

ROCHA, J.S., PAULA, E.V.C.M., SIQUEIRA, M.L. Flexão estática em amostras pequenas livres de defeitos. **Acta Amazonia**, v.18, n.1/2, p.147- 162, 1988.

ROCHA, M. P. **Técnicas e planejamento em serrarias**. Ed. rev. ampl. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2002.121 p.

ROCHA, L. F.; LIMA, G. S.; MARTINS, S. V.; TORRES, F. T. P.; REIS, C. R. Avaliação da presença de espécies exóticas em unidades de conservação estaduais de Minas Gerais. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 15, n. 2, p. 238-248, 2018.

ROCHA, R DE O.; ROCHA, M. B Survey of Exotic Species in Conservation Units: The Case of the State of Rio de Janeiro. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 10, p. 408101406, 2019.

SAMPAIO, A. B.; SCHMIDT, I. B. Espécies exóticas invasoras em Unidades de Conservação federais do Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, n. 2, p. 32-49, 2014.

SANTA CATARINA (Estado). Resolução nº 8 de 14 de setembro de 2012. **Reconhece a Lista Oficial de Espécies Exóticas Invasoras no Estado de Santa Catarina e dá outras providências**. Conselho Estadual do Meio Ambiente de Santa Catarina, 2012.

SANTANA, C.A.A. **Estrangeiros na cidade do Rio de Janeiro: características e histórias de algumas espécies exóticas presentes no cotidiano carioca** (recurso eletrônico). Rio de Janeiro, 2020.

SANTOS, G. R. V. dos. **Otimização da secagem da madeira de *Eucalyptus grandis* (Hillebrand)**. 69 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2002.

SAFFIAN, H. A.; TAHIR, P. M., HARUN, J.; JAWAID, M.; HAKEEM, K. R. Influence of planting density on the fiber morphology and chemical composition of a new latex-timber clone tree of rubberwood (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Bioresources**, v. 9, n. 2, p. 2593-2608, 2014.

SANTOS, M. F. D.; GAMA, J. R. V.; FIGUEIREDO FILHO, A.; COSTA, D. L. D.; RETSLAFF, F. A. D. S.; SILVA-RIBEIRO, R. B. D.; RODE, R. Conicity and yield for lumber from commercial species from the amazon. **Cerne**, v. 25, n. 4, p. 439-450, 2019.

SAMANTA, A. K.; AGARWAL, P.; DATTA, S. Studies on color interaction parameters and color fastness properties for dyeing of cotton fabrics with binary mixtures of jackfruit wood and other natural dyes. **Journal of Natural Fibers**, v. 6, n. 2, p. 171-190, 2009.

Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMAC). **Inventário da Cobertura Arbórea da Cidade do Rio de Janeiro**. Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro vol. 1, 232 p. 2015.

SENAI. **Acabador de móveis**. Ubá: CFP/JAGS, 1995. 29 p.

SHAHVERDI, M.; DASHTI, H.; TAGHIYARI, H. R.; HESHMATI, S.; GHOLAMIYAN, H.; HOSSEIN, M. A. The impact of red heartwood on drying characteristics and mass transfer coefficients in beech wood. **Austrian Journal of Forest Science**, v. 130, n. 2, p. 85-101, 2013.

SHRIKANT BASLINGAPPA, S.; NAYAN SINGH J, T.; MEGHATAI M, P.; PARAG M, H. Jamun (*Syzygium cumini* (L.)): a review of its food and medicinal uses. **Food and Nutrition Sciences**, v. 2012.

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

SOARES, G. L. G.; SCALON, V. R.; PEREIRA, T. D. O.; VIEIRA, D. D. A. Potencial alelopático do extrato aquoso de folhas de algumas leguminosas arbóreas brasileiras. **Floresta e Ambiente**, v. 9, n. 1, p. 119-126, 2002.

SOARES, B. C. D. **Desenvolvimento de programas de secagem para as madeiras juvenil e adulta de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana***. 54 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

SOUZA, A. N.; OLIVEIRA, A. D.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; CARVALHO, L. M. T. Modelagem do rendimento no desdobro de toras de Eucalipto cultivado em sistema agroflorestal. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 222-238, 2007.

SOUZA, M. O. A. D.; SILVA, J. D. C.; LUCIA, R. M. D.; EVANGELISTA, W. V. Avaliação da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake em ensaios de usinagem, visando a produção moveleira. **Revista Árvore**. 33: 751-758. 2009.

SPATZ, D. R.; ZILLIACUS, K. M.; HOLMES, N. D.; BUTCHART, S. H.; GENOVESI, P.; CEBALLOS, G.; TERSHY, B.R; CROLL, D. A. Globally threatened vertebrates on islands with invasive species. **Science Advances**, v. 3, n. 10, p. e1603080, 2017.

SIAU, J. F. **Flow in wood**. Syracuse: Syracuse University, 1971. 245 p.

SILVA, J. R. M.; COSTA JÚNIOR, J. S.; MENDES, L. M.; TRUGILHO, P. F. **Afiação de ferramentas para o setor madeireiro**. Lavras: UFLA/DCF, 1996. 37 p.

SILVA, J. R. M.; MENDES, L. M.; TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T. Preparação de superfícies de madeira e derivados para receber acabamento. **Boletim Agropecuário**, Lavras, v. 28, p.05-26, 1999. (Boletim técnico).

SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. 2002. 148f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2002.

SILVA, J. C.; OLIVEIRA, J. T. S.; TOMAZELLO FILHO, M.; KEINERT JR.; S.; MATOS, J. L. M. Influência da idade e da posição radial na massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 1, p. 13-22, 2004.

SILVA, J. R. M.; MORI, F. A.; RABELO, G. F.; BRAGA JÚNIOR, R. A. Interação da luz laser para a avaliação da textura de madeiras nativas e de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 167-175, 2005.

SILVA, J. R. M.; LIMA, J. T.; BRAGA, P. P. C.; TRUGILHO, P. F. A utilização de rugosímetro na qualificação de superfícies usinadas em madeiras de *Eucalyptus* sp. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., 2006, São Pedro. **Anais...** São Pedro: EBRAMEN, 2006. 1 CD-ROM.

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

SILVA, J. R. M.; MARTINS, M.; OLIVEIRA, G. M. V.; BRAGA, P. P. C. Parâmetros de Qualidade da usinagem para determinação dos diferentes usos da madeira de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 1, p. 75-83, jan./mar. 2009.

SILVA, A. M. **Avaliação da regeneração de espécies nativas e da influência de *Artocarpus heterophyllus* L. na fitodiversidade de uma área de floresta atlântica.** 2014. 60 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

SIMPSON, W. T. **Dry kiln operator's manual.** Madison: USDA, 1991. 274 p. (USDA. Agriculture Handbook, 188).

SUSIN, F. **Avaliação de programas de secagem para madeiras de eucalipto elaborados com base em testes prévios a alta temperatura.** 2012. 161 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, 2012.

TAGHIYARI, H.R. Correlation between gas and liquid permeability in some nanosilver-impregnated and untreated hardwood. **Journal of Tropical Forest Science**, p. 249-255, 2012.

TASCIOGLU, C.; YALCIN, M.; SEN, S.; AKCAY, C. Antifungal properties of some plant extracts used as wood preservatives. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 85, p. 23-28, 2013.

THAIB, R.; LUBIS, R. Z.; RUSYDI, I.; CHALILUDDIN, C.; AFFAN, J. M.; PUTRA, D. F.; YUSRIZAL, Y. The assessment of wood utilization rate at UD. Karya Lomba Shipyard, Aceh Besar, Indonesia. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. V. 348. n.1, 2019.

TERAZAWA, S. Methods for easy determination of kiln drying schedule of wood. **Wood Industry**, v. 20, n. 5, 1965.

TRAPAZZON, M. C.; MELLO, N. A. D. Um Convite à Reflexão sobre a Categoria de Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre. **Ambiente & Sociedade**, v. 18, n. 4, p. 161-178, 2015.

TREVISAN, R.; ROSA, M.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; 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.

TRIANOSKI R. **Avaliação da qualidade da madeira de espécies de Pinus tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Curitiba: UFPR. 554p. 2012.

TSOUMIS, G. **Wood as raw material:** source, structure, chemical composition, growth, degradation and identification. Michigan: Pergamon, 1968. 297 p.

TSOUMIS, G. **Science and Technology of wood. Structure, Properties, Utilization**. Van Nostrand Reinhold. Nova Iorque, 94p.1991.

ULLA, A.; ALAM, M. A.; SIKDER, B.; SUMI, F. A.; RAHMAN, M. M.; HABIB, Z. F.; MOHAMMED, M. K.; SUBHAN, N.; HOSSAIN, H.; REZA, H. M. Supplementation of *Syzygium cumini* seed powder prevented obesity, glucose intolerance, hyperlipidemia and oxidative stress in high carbohydrate high fat diet induced obese rats. **BMC complementary and alternative medicine**, v. 17, n. 1, p. 289, 2017.

VALÉRIO, A. F.; WATZLAWICK, L. F.; DOS SANTOS, R. T.; BRANDELERO, C.; KOEHLER, H. S. Quantificação de resíduos e rendimento no desdobro de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze. **Floresta**, v. 37, n. 3, 2007.

VIDAURRE, G. B.; LOMBARDI, L. R.; OLIVEIRA, J. T. D. S.; ARANTES, M. D. C. Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 4, p. 469-480, 2012.

VIDAURRE, G. B.; VITAL, B. R.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, A. D. C.; SILVA, J. G. M. D., MOULIN, J. C.; SORANSO, D. R. Anatomical and chemical properties of juvenile *Schizolobium amazonicum* wood. **Revista Árvore**, v. 42, n. 3, 2018.

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

VIZZOTTO M, FETTER MR. **Jambolão: o poderoso antioxidante**. Embrapa, Brasília. 2009.

WANGKHEM, M.; SHARMA, M.; SHARMA, C. L. Comparative wood anatomical properties of genus *Syzygium* (family Myrtaceae) from manipur, India. **Indonesian Journal of Forestry Research**. V. 7, n°1, p. 27-42, 2020.

WETTERBERG, G. B. 2004. **The concept of protected area system based on pleistocene refuges**. In: MILANO, M. et al (Orgs). Unidades de Conservação: Atualidades e tendências. Curitiba: Editora Fundação O Boticário de Proteção à Natureza, 2004, p.76-9.

WOO, K. L.; WATSON, P.; MANSFIELD, S. D. The effects of mountain pine beetle attack on lodgepole pine wood morphology and chemistry: implications for wood and fiber quality. **Wood Fiber Science**, Madison, v. 37, n. 1, p. 112- 126, 2005.

ZECCHINO, M. Characterizing Surface Quality: Why Average Roughness is Not Enough. **Veeco Instruments Inc**. Tucson-USA, 2006. 4p.

ZENNI, R. D.; ZILLER, S. R. An overview of invasive plants in Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 34, n. 3, p. 431-446, 2011.

ZENNI, R. D.; DE SÁ DECHOUM, M.; ZILLER, S. R. Dez anos do informe brasileiro sobre espécies exóticas invasoras: avanços, lacunas e direções futuras. **Biotemas**, v. 29, n. 1, p. 133-153, 2016.

ZILLER, S.R. Os processos de degradação ambiental originados por plantas exóticas invasoras. **Revista Ciência Hoje**, São Paulo, v. 30, n.178, p.77-79, 2001.

## **CAPÍTULO 1: AVALIAÇÃO DA CONICIDADE E ACHATAMENTO DAS TORAS E DO RENDIMENTO NO DESDOBRO**

### **RESUMO**

O objetivo do estudo foi qualificar as toras em relação à conicidade e achatamento e quantificar o rendimento no processo de desdobro de espécies exóticas invasoras em Unidades de Conservação. As árvores estavam situadas no Campus Fiocruz Mata Atlântica, pertencente à Fundação Oswaldo Cruz (CFMA/FIOCRUZ), localizada na zona de amortecimento do Parque Estadual da Pedra Branca, no Município do Rio de Janeiro – RJ. Foram selecionadas dez árvores das espécies Jaqueira, Jamelão e Sombreiro, que foram georreferenciadas. A supressão foi realizada em conformidade com a licença de corte nº 002920, concedida pela Secretaria Municipal de Ambiente e Cultura do Rio de Janeiro – SMAC. Para a avaliação da conicidade e achatamento levou-se em consideração a norma do IBDF (1984). O desdobro das toras foi feito pelo método tangencial, utilizou-se serra de fita vertical com carro porta toras semi-automatizado e serra de fita horizontal. Para calcular o rendimento do processo de desdobro, fez-se o cálculo do volume das toras por meio da equação de Smalian, em seguida fez-se o cálculo do volume das tábuas, para determinar o rendimento. Foi estimado o volume das costaneiras. Foi realizado o ajuste de modelo para estimar o rendimento da madeira serrada. Foi observado que para as três espécies a média de conicidade foi maior que 3%, as toras de Sombreiro foram mais circulares. O rendimento do desdobro variou de 56,57 a 60,30%. A conicidade, o achatamento do topo e o diâmetro da tora não influenciaram o rendimento do desdobro. Já o achatamento na base da tora possui correlação moderada com o rendimento. As toras das espécies Jaqueira, Jamelão e Sombreiro avaliadas possuem potencial para serem utilizadas como madeira serrada.

**Palavras-chave:** Qualidade das toras. Madeira serrada. Espécies exóticas invasoras.



## ABSTRACT

The objective of the study was to qualify the logs in relation to taper and flattening and to quantify the yield in the process of breakdown invasive species in conservation units. The trees were located on the Campus Fiocruz Mata Atlântica, belonging to the Oswaldo Cruz Foundation (CFMA / FIOCRUZ), located in the buffer zone of the Pedra Branca State Park, in the city of Rio de Janeiro - RJ. Ten trees of the species Jaqueira, Jamelão and Sombreiro were selected, which were georeferenced. The suppression was carried out in accordance with the cutting license number 002920, granted by the Municipal Secretary of Environment and Culture of Rio de Janeiro - SMAC. For the assessment of taper and flatness, the IBDF standard (1984) was taken into account. The breakdown of the logs was done by the tangential method, a vertical band saw was used with a semi-automated log carrier and horizontal band saw. To calculate the yield of the splitting process, the volume of the logs was calculated using the Smalian equation, then the volume of the boards was calculated to determine the yield. The volume of the slabs were estimated. Model was adjusted to estimate the yield of sawn wood. It was observed that for the three species the mean taper was greater than 3%, the Sombreiro logs were more circular. The breakdown yield ranged from 56.57 to 60.30%. The taper, the flattening of the top and the diameter of the log did not influence the unfolding yield. Flattening at the base of the log has a moderate correlation with yield. The logs of the species Jaqueira, Jamelão and Sombreiro evaluated have the potential to be used as sawn wood.

**Keywords:** Log quality. Sawn wood. Invasive species.

## 1 INTRODUÇÃO

O rendimento em madeira serrada é a relação entre o volume de madeira serrada produzida e o volume da tora antes do desdobro, em porcentagem. O rendimento é afetado pela interação de diversos fatores, como a dimensão final das peças, o número de cortes realizado, o maquinário, a mão de obra especializada (ROCHA, 2002), o método de desdobro utilizado, as dimensões da tora (CARVALHO et al, 2019), além de outros parâmetros relacionados a qualidade da tora descritos na Norma para Classificação de Toras de Madeira de Folhosas do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal - IBDF (1984).

A norma do IBDF (1984) propõe avaliação das toras em relação a sua forma, analisando a conicidade e o achatamento. A conicidade ocorre quando os diâmetros das duas extremidades apresentam diferenças, podendo ser característica natural de algumas espécies (IBDF, 1984). O tronco de uma árvore pode apresentar formas diferentes, de circulares a cônicas (CAMPOS E LEITE, 2017). Quando a árvore é dividida em toras, a base tende a ter uma forma neilóide, a parte central se aproxima da forma circular ou, em alguns casos, um parabolóide ou cone e o topo tende a assumir a forma cônica (HUSCH et al., 2003).

O achatamento é definido pela presença de diferentes diâmetros numa mesma seção da tora (IBDF, 1984). Ou seja, é o desvio da forma circular da tora (VITAL, 2008).

A qualidade da tora influencia no rendimento e, portanto, ao se dar preferência para toras de melhor qualidade, tem-se redução na quantidade de resíduos gerados durante o processo de desdobro, e aumento do rendimento em madeira serrada (MURARA JÚNIOR et al., 2013). O rendimento é um parâmetro de importância para os empresários do setor florestal, o prognóstico do estoque e rendimento da matéria-prima processada na serraria, viabiliza a melhoria no planejamento, otimização e controle na produção (IWAKIRI, 1990).

A avaliação da qualidade das toras e a utilização de métodos de desdobro adequados são etapas importantes para produção de produtos serrados de melhor qualidade. Assim, pesquisas de avaliação da qualidade das toras, que influenciam a qualidade da madeira serrada e estão ligadas diretamente ao rendimento da serraria podem incrementar valor agregado para o processo de industrialização.

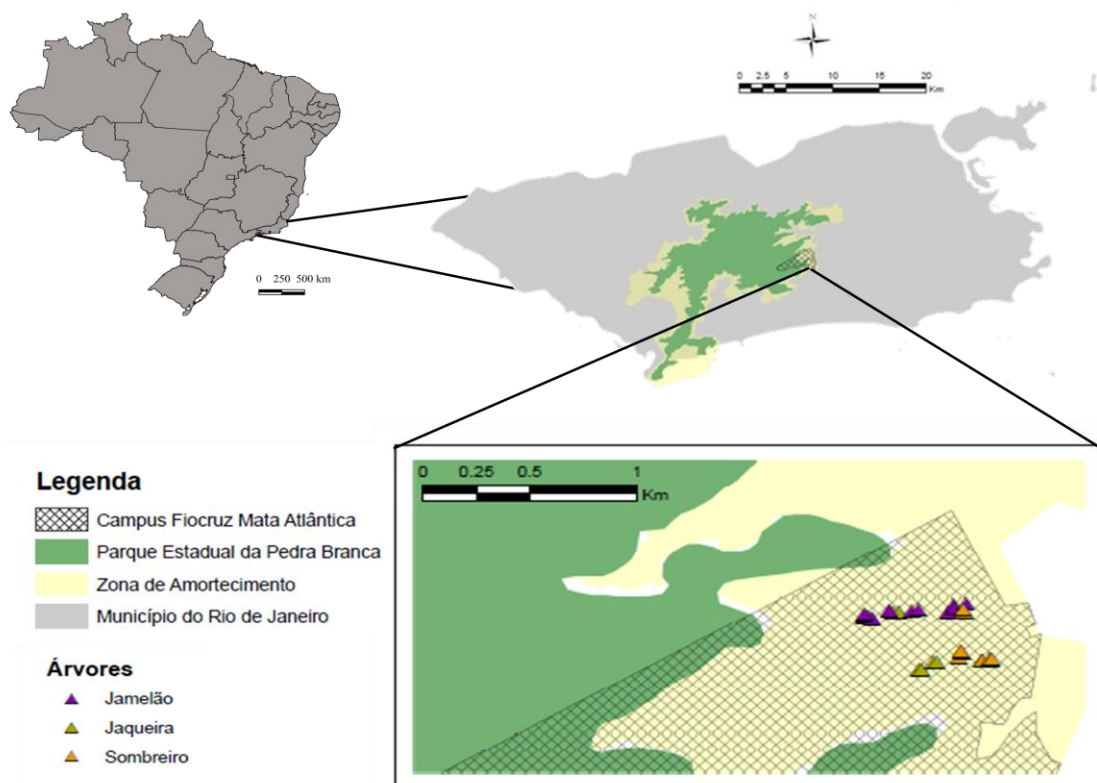
Dessa forma, o objetivo do estudo foi qualificar as toras quanto à conicidade e ao achatamento e determinar o rendimento no processo de desdobro de espécies exóticas invasoras.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo e amostragem das árvores

As árvores estavam situadas no Campus Fiocruz Mata Atlântica, pertencente à Fundação Oswaldo Cruz (CFMA/FIOCRUZ), localizada na zona de amortecimento do Parque Estadual da Pedra Branca, no Município do Rio de Janeiro – RJ (Figura 7).

Figura 7 - Área da zona de amortecimento do Parque Estadual Pedra Branca, Campus FioCruz Mata Atlântica e georreferenciamento das árvores estudadas.



Fonte: Adaptado de Maria Affonso Penna (FIOTEC - BNDES Mata Atlântica, 2016).

Segundo a classificação de Köppen, o mesoclima é do tipo *Af*, ou seja, clima tropical úmido sem estação seca, megatérmico, com precipitação pluviométrica máxima no verão e precipitação mínima no inverno. Em geral, a pluviosidade varia de 1.500 a 2.500 mm.

Estudo realizado sobre o controle das espécies arbóreas exóticas invasoras na Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica (EFMA) analisou as características relacionadas à ecologia das espécies como dispersão, fenologia, capacidade de regeneração, interação biótica e abiótica e estrutura da população, também realizaram estudo com enfoque no tamanho,

distribuição no local e distribuição diamétricas dos fustes. Assim, foi possível observar o maior potencial invasor das espécies Jaqueira e Jamelão ambos com dispersão zoocórica, seguido do Sombreiro com dispersão autocórica (FIOTEC - BNDES Mata Atlântica, 2016).

Dessa forma, foram estudadas estas três espécies exóticas invasoras *Syzygium cumini* (L.) Skeels (Jamelão), *Artocarpus heterophyllus* Lamarck (Jaqueira) e *Clitoria fairchildiana* R.A.Howard (Sombreiro) na unidade de conservação mencionada. Para cada espécie, foram selecionadas dez árvores, as quais também foram georreferenciadas. A supressão foi realizada em conformidade com a licença de corte n° 002920, concedida pela Secretaria Municipal de Ambiente e Cultura do Rio de Janeiro – SMAC. As árvores apresentaram distância entre si variando de 20 a 400 m, 30 a 250 m, 20 a 500 m, respectivamente para as espécies Jaqueira, Jamelão e Sombreiro. A escolha de árvores com maior distância entre si teve a finalidade de diminuir a possibilidade das árvores serem oriundas de uma mesma planta-mãe.

Foi medida a circunferência a 1,30 m de altura do solo, com auxílio da fita métrica e a altura comercial das árvores estudadas por meio de haste graduada.

As amostras foram depositadas na Xiloteca do Departamento de Produtos Florestais do Instituto de Florestas da UFRRJ, os números de registro encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Números de registro na Xiloteca do Departamento de Produtos Florestais do Instituto de Florestas da UFRRJ das espécies estudadas.

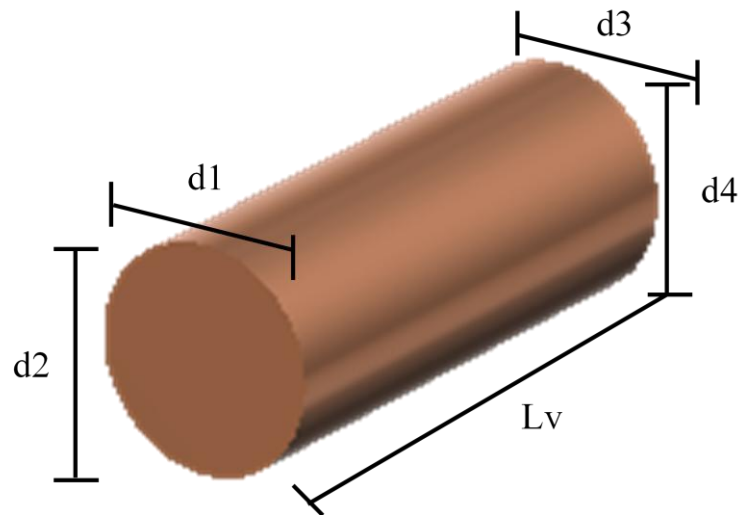
Família	Nome científico	Nome vulgar	Número de registro
Myrtaceae	<i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels	Jamelão	7839
			7840
			7841
			7842
			7843
			7844
Moraceae	<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lamarck	Jaqueira	7829
			7830
			7831
			7832
			7833
Fabaceae	<i>Clitoria fairchildiana</i> R.A.Howard	Sombreiro	7834
			7835
			7836
			7837
			7838

Fonte: Do autor (2020).

## 2.2 Determinação da conicidade e do achatamento das toras

A conicidade de dez toras por espécie foi avaliada. As toras foram retiradas no intervalo de 0,30 m até 2,30 m de altura do solo, com comprimento de 2 m. Para a avaliação foi realizada a medição dos diâmetros e comprimento da tora com auxílio da trena (Figura 8). A conicidade foi calculada por meio da Equação 2, e, subsequentemente, as toras foram classificadas quanto a sua forma (Tabela 3) considerando as normas para medição e classificação de toras do IBDF (1984).

Figura 8 – Esquema de avaliação da conicidade e achatamento da tora.



Fonte: Do autor (2020).

$$C_{\%} = \frac{\left(\frac{d_1 + d_2}{2}\right) - \left(\frac{d_3 + d_4}{2}\right)}{L_v} \times 100 \quad (2)$$

Em que: C = conicidade (%); d<sub>1</sub> e d<sub>2</sub> = diâmetros da maior extremidade da tora (cm); d<sub>3</sub> e d<sub>4</sub> = diâmetros da menor extremidade da tora (cm); L<sub>v</sub> = Comprimento da tora (m).

O achatamento foi avaliado nas extremidades de cada tora, por meio da medição do maior e menor diâmetro da base e do topo da tora (Figura 8). A medição foi feita com auxílio da trena. Posteriormente, foi utilizada a Equação 3 para o cálculo do achatamento. As toras foram classificadas quanto ao achatamento com base nas normas para medição e classificação de toras (Tabela 3) do IBDF (1984).

$$A_{\%} = \frac{d}{D} \times 100 \quad (3)$$

Em que: A = achatamento (%); D = maior diâmetro em determinada face (cm); d = menor diâmetro em determinada face (cm).

A classificação da qualidade das toras de acordo com o IBDF (1984) em relação à conicidade e achatamento estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação da qualidade das toras segundo sua forma.

Forma	Classes			
	Superior	I	II	III
Conicidade	≤ 3%	≤ 3%	≤ 4%	n.e
Achatamento	≥ 90%	≥ 80%	≥ 70%	≥ 60%

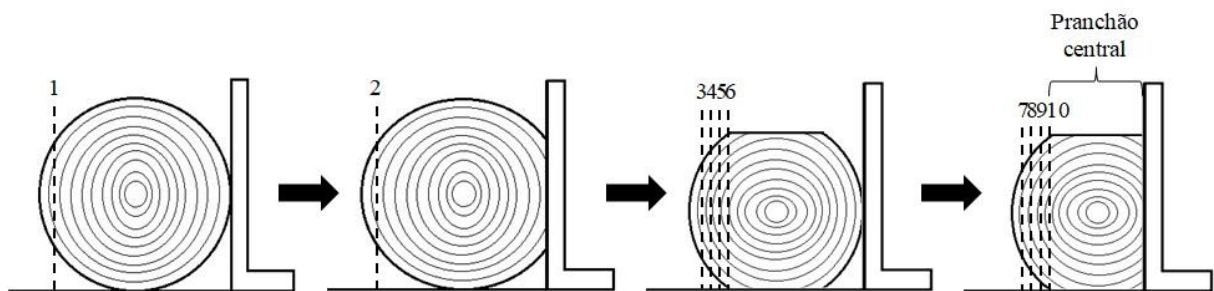
Legenda: n.e = não especificado.

Fonte: IBDF (1984).

### 2.3 Desdobro das toras e rendimento

Foi feito o desdobro tangencial das toras conforme ilustrado na Figura 9. Vinte e quatro toras estavam com dois metros de comprimento e foram desdobradas na Serra de fita vertical com carro porta toras semi-automatizado. Seis toras estavam com um metro de comprimento e foram desdobradas em serra de fita horizontal. Foram serradas tábuas com 3 cm de espessura e pranchões centrais com 8 cm de espessura (Figura 9).

Figura 9 - Esquema do desdobro utilizado para obtenção de tábuas e pranchão central das espécies Jaqueira, Jamelão e Sombreiro.



Legenda: Linhas tracejadas indicam a posição da serra e os números a sequência dos cortes.

Fonte: Do autor (2020).

Para calcular o rendimento do processo de desdobro, foi feito o cálculo do volume das toras por meio da equação de Smalian (Equação 4). Em cada peça de madeira serrada obtida no desdobro foi medido o comprimento, a espessura e a largura em três posições, duas

medições nas extremidades e uma central, com auxílio da trena. Com esses dados fez-se o cálculo do volume das tábuas, para determinar o rendimento. Foi estimado o volume das costaneiras, com a mesma metodologia utilizada para as tábuas. O desdobro das toras foi realizado na Serraria do Departamento de Produtos Florestais – URRJ.

$$V_{\text{Tora}} = \frac{[(D_{\text{base}}^2 \times \frac{\pi}{4}) + (D_{\text{topo}}^2 \times \frac{\pi}{4})]}{2} * C \quad (4)$$

Em que:  $V_{\text{Tora}}$  = volume da tora ( $\text{m}^3$ );  $D_{\text{base}}$  = diâmetro do base (m);  $D_{\text{topo}}$  = diâmetro da topo (m);  $C$  = comprimento da tora (m).

## 2.4 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa R CoreTeam 3.4.3. A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk, e a homogeneidade pelo testes de Barlett e Levene. Ambos os testes foram analisados a  $\alpha=0,05$  de significância. Após atender os pressupostos da Análise de Variância (Anova), a mesma foi utilizada para verificar se existia diferença significativa entre as espécies com relação à conicidade e achatamento ( $\alpha=0,05$ ) e quando significativo foi usado o teste de comparação múltipla de Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

O comportamento dos dados de rendimento do desdobro das espécies foi demonstrado por modelo linear com variáveis dummies, frequentemente chamadas de variáveis binárias ou dicotômicas, descrito na Equação 5. Assumem apenas um de dois valores em geral 0 ou 1 para indicar a presença ou ausência de determinada característica (MISSIO, 2007).

O Sombreiro é a espécie de comparação, logo quando os valores das demais forem nulos, o valor resultante do rendimento  $y$  é o esperado para esta variável. O valor de  $a_1 = 1$  e  $a_2 = 0$  quando o interesse for saber o rendimento médio da Jaqueira e o oposto quando for saber o rendimento médio do Jamelão.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \delta_1 a_1 + \delta_2 a_2 + \epsilon \quad (5)$$

Em que:

$y$  = Rendimento médio do desdobro;  $\beta_0$  = Interecepto;  $x_1$  = Volume da tora;  $x_2$  = Volume das costaneiras;  $x_3$  = Volume da madeira serrada;  $a_1$  = Jaqueira;  $a_2$  = Jamelão.

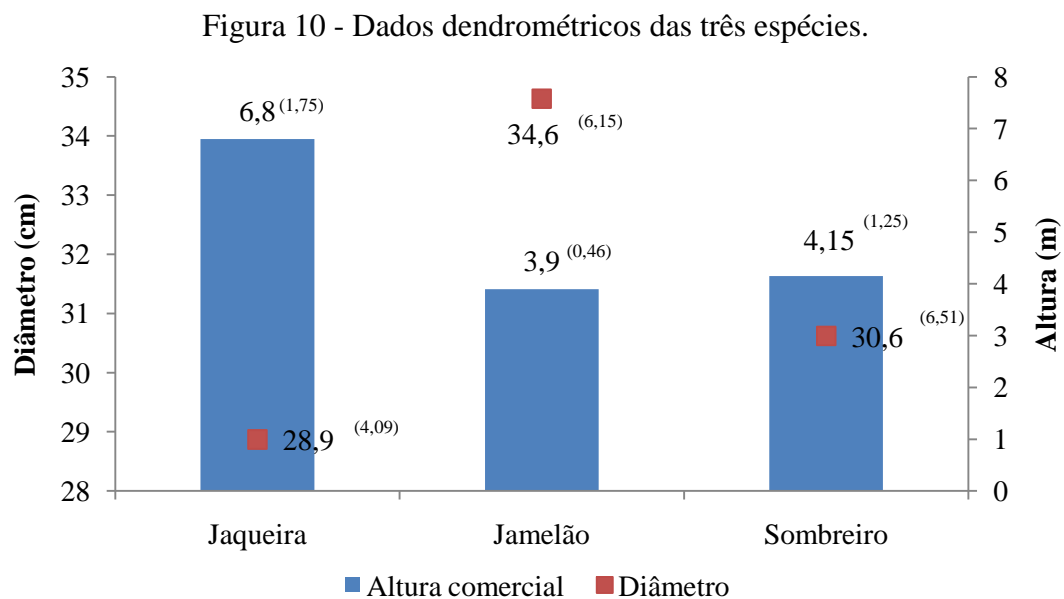
O coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) foi utilizado a fim de verificar a relação existente entre o rendimento, a conicidade, o achatamento e o diâmetro da tora. O grau de

correlação foi determinado de acordo com os critérios descritos por Callegari- Jacques (2003), em que prevê, em módulo, as seguintes condições: fraca correlação (baixa) para  $0 < r < 0,30$ ; moderada correlação para  $0,30 \leq r < 0,60$ ; correlação alta (forte) para  $0,60 \leq r < 0,9$ ; correlação muito forte para  $r \geq 0,90$  e correlação perfeita para  $r = 1,00$ .

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Características dendrométricas

Dentre as espécies observa-se que a Jaqueira apresentou maior média de altura comercial (6,8 m) e a menor média de diâmetro (28,9 cm), enquanto o Jamelão apresentou a maior média em diâmetro a 1,30 m de altura do solo (34,6 cm) e a menor média de altura comercial (3,9 m). O Sombreiro possui diâmetro médio de 30,6 cm e 4,15 m em altura (Figura 10).



Legenda: Valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão.

Fonte: Do autor (2020).

Pode-se observar que o comportamento de crescimento dos indivíduos avaliados das espécies Jaqueira e do Jamelão são distintos. As árvores de Jaqueira tendem a crescer em altura, este fato deve-se provavelmente a necessidade de alcançar o dossel. Também foi observado que esta espécie possui desrama natural quando está na floresta. As árvores de Jamelão tendem a crescer em diâmetro e possuem menor altura comercial, ou seja, a primeira bifurcação é em média a 3,90 m de altura do solo.



### 3.2 Qualidade das toras

Na Tabela 4 estão apresentados os valores médios para a conicidade e o achatamento das toras. A análise de variância evidenciou efeito de espécie para a variável conicidade e achatamento no topo. Por outro lado, não houve efeito significativo sob o achatamento na base. A Jaqueira foi a espécie que apresentou maior conicidade, pode ser atribuída ao maior incremento em altura apresentado pela espécie. Segundo Scolforo e Figueiredo Filho (1998) árvores que atingem o dossel possuem maior crescimento relativo em altura em relação ao diâmetro, tornando o caule mais afilado, ao contrário do que ocorre em árvores com menor incremento em altura, que não atinge o dossel. Além disso, árvores com maior incremento em altura exigem maior crescimento na base do caule, a fim de suportar o peso da árvore.

A conicidade apresentou valores médios maiores de 3%, valores de conicidade inferiores a esse são toras consideradas como de qualidade superior (IBDF, 1984). Os maiores valores de conicidade podem ser atribuídos à posição basal das toras avaliadas. Esse fator está relacionado com a redução do diâmetro que ocorre de maneira mais abrupta, ou seja, há maior afilamento do fuste em comparação à parte mediana da árvore (CARVALHO et al, 2019), os mesmos autores obtiveram valores de conicidade maiores nas toras do gênero *Eucalyptus* da base em relação às demais posições do fuste.

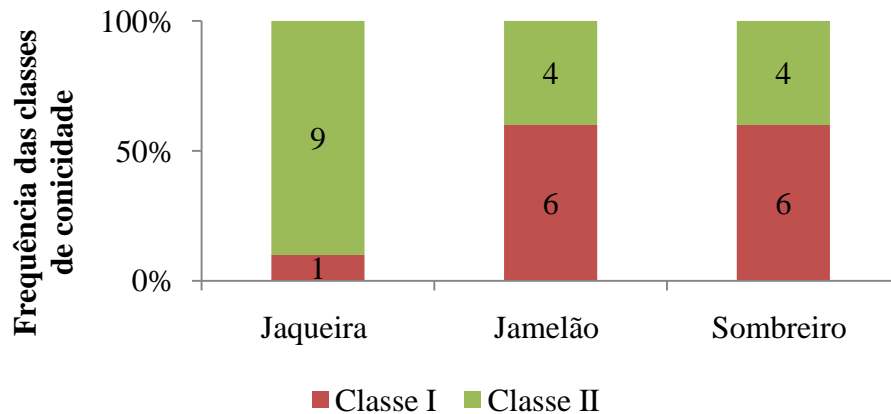
Tabela 4 - Valores médios da conicidade e achatamento na base e no topo.

Espécie	Conicidade (%)	Achatamento (%)	
		Base	Topo
Jaqueira	4,98 <b>a</b>	81,08 <b>a</b>	90,31 <b>b</b>
Jamelão	3,44 <b>ab</b>	84,50 <b>a</b>	87,36 <b>ab</b>
Sombreiro	3,11 <b>b</b>	89,44 <b>a</b>	93,79 <b>a</b>

Letras minúsculas diferentes nas linhas evidenciam diferenças estatísticas pelo teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ ).  
Fonte: Do autor (2020).

Na Figura 11 observa-se a frequência das árvores nas classes de qualidade das toras em relação à conicidade. Verifica-se que as toras das três espécies estão inseridas nas classes I e II conforme a classificação do IBDF (1984). Nas árvores de Jamelão e Sombreiro 60% das toras foram classificadas como de classe I, enquanto na Jaqueira 90% como de classe II. Observa-se que não há nenhuma tora classificada como de classe superior e III, que seria a melhor e a pior classificação de conicidade, respectivamente.

Figura 11 – Frequência das classes de qualidade das toras em relação à conicidade.

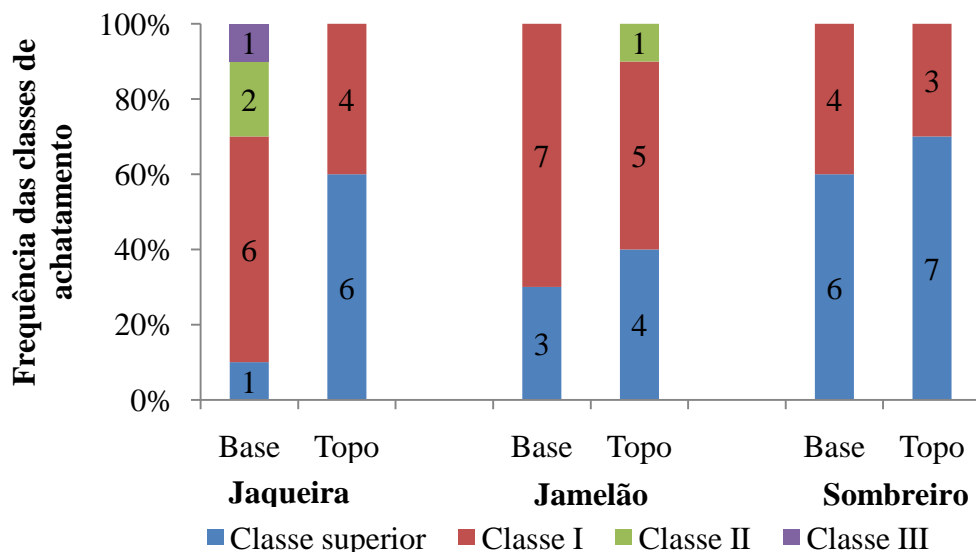


Fonte: Do autor (2020).

Em relação ao achatamento não houve diferença significativa entre as espécies na posição basal. Contudo, no topo houve diferença significativa pela análise de variância. As toras da espécie de Sombreiro são mais circulares no topo, quanto maior o índice de achatamento, mais próximo de 100%, mais circular é a tora (Tabela 4).

O achatamento da tora na base e no topo foi diferente. Observa-se que a base apresentou tendência de ser mais achatada (Figura 12), visto que 33% das extremidades da base estão classificadas como superior, em contrapartida de 57% do topo concentradas na classe superior. A base do fuste tende a ser menos circular devido ao crescimento da árvore e as condições do terreno.

Figura 12 - Frequência das classes de qualidade das toras em relação ao achatamento da base e do topo.



Fonte: Do autor (2020).

### 3.3 Rendimento do desdobro

Na Tabela 5 estão apresentadas as médias dos volumes das costaneiras, das toras e da madeira serrada, assim como o rendimento do desdobro. De acordo com a análise de variância não houve diferença significativa entre as espécies para o volume das costaneiras, da tora, da madeira serrada e do rendimento.

Tabela 5 - Volume das costaneiras, das toras e das madeiras serradas e rendimento do desdobro.

Espécie	Volume (m <sup>3</sup> )			Rendimento (%)
	Costaneiras	Tora	Madeira serrada	
Jaqueira	0,2427	14,658	0,8453	56,57
Jamelão	0,2748	20,722	1,2415	60,14
Sombreiro	0,2716	15,938	0,9439	60,30

Fonte: Do autor (2020).

O rendimento para madeira serrada das espécies Jaqueira, Jamelão e Sombreiro foi de 56,57 a 60,30%, superior ao *pinus*, 52,14% (MANHIÇA et al., 2012), a *Araucaria angustifolia*, 47,61 a 50,16% (BONATO JUNIOR et al, 2017), ao *Eucalyptus* sp., 47,08 a 53,43% (CARVALHO et al, 2019). Todavia, dentro do intervalo de rendimento de madeira das espécies de Cedrinho (*Erismia uncinatum*), 59,83% e Cambará (*Qualea albiflora*), 62,63% (BIASI E ROCHA, 2007).

Um fator que proporcionou rendimento mais elevado para as espécies estudadas foi a confecção de pranchões de aproximadamente 8 cm. Dessa forma, efetuaram-se menos cortes, o que causa menos perdas e maior rendimento.

A correlação entre o rendimento, a conicidade, o achatamento e o diâmetro da tora estão apresentados na Tabela 6. Observou-se que somente para o achatamento na base da tora houve correlação significativa com o rendimento.

O achatamento na base da tora das espécies Jaqueira, Jamelão e Sombreiro variaram de 81,08 a 89,44%. Quando o achatamento é inferior a 90%, ele afeta o rendimento em madeira serrada, pois dificulta a produção de um bloco central (Vital, 2008). Este fato foi constatado pela correlação moderada de 0,37 entre o achatamento da base e do rendimento da madeira serrada. Já o achatamento no topo da tora variou de 87,36 a 93,79, e não apresentou correlação significativa com o rendimento.

Tabela 6 - Correlação entre rendimento, conicidade, achatamento e diâmetro da tora.

	Conicidade	Achatamento Base	Achatamento Topo	Diâmetro da tora
Rendimento	-0,26 <sup>ns</sup>	0,37*	0,35 <sup>ns</sup>	-0,003 <sup>ns</sup>

Legenda: <sup>ns</sup> = não significativo; \*Significativo  $p < 0,05$ .

No presente estudo não foi observado correlação significativa entre o rendimento, a conicidade e o diâmetro da tora. Apesar do IBDF (1984) classificar como superiores apenas toras com conicidade igual ou abaixo de 3%, a conicidade acima desse índice foi observado nas toras de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro e não prejudicou o rendimento em madeira serrada. Garcia et al. (2012) também observaram que a conicidade não influenciou o rendimento nas toras de Itaúba. Biasi e Rocha (2007) verificaram que o diâmetro médio das toras não possui influência direta sobre o rendimento para as madeiras de Cedrinho, Cambará e Itaúba.

A partir dos dados coletados foi possível ajustar o modelo linear com variáveis dummies para o rendimento médio esperado das tábuas (Tabela 7).

Os valores estimados para os parâmetros foram significativos e os pressupostos para os resíduos satisfeitos. Na Tabela 7 está descrito o modelo para estimar o rendimento da madeira serrada.

Tabela 7 - Equação para estimar o rendimento do desdobro.

Equação	R <sup>2</sup> <sub>ajust</sub>	Erro padrão
$y = 64,02 - 413,36x_1 - 0,53x_2 + 667,55x_3 - 0,42a_1 - 3,29a_2$	0,91	4,28

Legenda:  $y$  = Rendimento médio do desdobro;  $x_1$  = Volume da tora;  $x_2$  = Volume das costaneiras;  $x_3$  = Volume da madeira serrada;  $a_1$  = Jaqueira;  $a_2$  = Jamelão.

Fonte: Do autor (2020).

Assim, com este modelo pode-se estimar o rendimento médio do desdobro das três espécies. O modelo obtido para o rendimento do desdobro apresenta alto coeficiente de determinação ajustado e erro padrão baixo. O volume da tora e da madeira serrada são as variáveis independentes do modelo, sendo de fácil obtenção e aplicação prática na serraria. Isso irá possibilitar a predição do rendimento de madeira serrada com grande acuracidade a partir da medição de variáveis fáceis de serem obtidas, gerando informações consistentes e auxiliando no sistema de gerenciamento da serraria (VALÉRIO et al., 2009).

#### 4 CONCLUSÕES

As espécies exóticas invasoras avaliadas apresentaram toras de boa qualidade, a conicidade e o diâmetro não foram fatores que influenciaram no rendimento do desdobro. O achatamento na base da tora apresentou correlação moderada com o rendimento.

O rendimento obtido nas três espécies foi satisfatório, não havendo diferença significativa entre as espécies, indicando que as toras das espécies exóticas invasoras estudadas possuem potencial para serem utilizadas como madeira serrada.

#### REFERÊNCIAS

- BATISTA, D. C.; CARVALHO, A. M. Avaliação do desempenho operacional de uma serraria através de estudo do tempo, rendimento e eficiência. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 75, p. 31-38, 2007.
- BIASI, C. P.; ROCHA, M. P.; Rendimento em madeira serrada e quantificação de resíduos para três espécies tropicais. **Floresta**, Vol. 37, n. 1, p. 95-108, 2007.
- BONATO JUNIOR; IDINAR, A.; ROCHA, M. P. D., JUIZO, C. G. F.; KLITZKE, R. J. Efeito do Sistema de Desdobro e das Classes Diamétricas no Rendimento em Madeira Serrada de *Araucaria angustifolia*. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.
- CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 2003. 255 p.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: Perguntas e respostas**. 5ªed. Editora UFV, 2017. 636p.
- CARVALHO, D. E.; DA ROCHA, M. P.; JUNIOR, R. T.; KLITZKE, R. J. Rendimento e variedade de produtos no desdobro de toras de *Eucalyptus* spp. **Tecno-Lógica**, v. 23, n. 1, p. 8-13, 2019.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 411/2009, sobre inspeção de indústrias madeireiras (madeira nativa)**, Brasília, 2009.
- FIOTEC - Fundação para Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Saúde – BNDES Mata Atlântica. **Relatório Final: Restauração ecológica de 344 hectares de Mata Atlântica com espécies nativas; Reativação do Horto-Escola do Campus Fiocruz da Mata Atlântica**. 2016.
- GARCIA, F. M.; MANFIO, D. R.; SANSÍGOLO, C. A.; MAGALHÃES, P. A. D. Rendimento no desdobro de toras de Itaúba (*Mezilaurus itauba*) e Tauari (*Couratari guianensis*) segundo a classificação da qualidade da tora. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 4, p. 468-474, 2012.

HUSCH, B.; BEERS, T. W.; KERSHAW JR, J. A. **Forest mensuration**. (4th ed.) New Jersey: Hoboken. 2003. 456p.

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

IWAKIRI, S. Rendimento e condições de desdobro de 20 espécies de madeiras da Amazônia. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. **Acta Amazonica**, 20 (único): 271-281 p. Manaus-AM. 1990.

MANHIÇA, A. A.; DA ROCHA, M. P.; JÚNIOR, R. T. Rendimento no desdobro de *Pinus* sp. utilizando modelos de corte numa serraria de pequeno porte. **Floresta**, v. 42, n. 2, p. 409-420, 2012.

MISSIO, Fabrício Missio; JACOBI, Luciane Flores. Variáveis dummy: especificações de modelos com parâmetros variáveis. **Ciência e Natura**, v. 29, n. 1, p. 111-135, 2007.

MURARA JÚNIOR, M. I.; ROCHA, M.P. TRUGILHO, P.F. Estimativa do rendimento em madeira serrada de *Pinus* para duas metodologias de desdobro. **Floresta e Ambiente**, 2013.

PEDRO, F.S.; JUÍZO, C.G.F.; ROCHA, M.P.; BILA, N.F.; UETIMANE, E. Avaliação do rendimento em madeira serrada de eucalipto para dois modelos de desdobro numa serraria portátil. **Floresta e Ambiente**. 21(4): 543-550. 2014.

ROCHA, M. P. **Técnicas e planejamento em serrarias**. Curitiba: Fupef, 2002. 121 p.

VALÉRIO, A. F.; SANTOS, R. T.; SILVESTRE, R.; KOEHLER, H. S.; WATZLAWICK, L. F. Ajuste de modelos matemáticos para estimativa de biomassa nos distintos componentes de uva do Japão (*Hovenia dulcis* Thunb.). **Ambiência**, Guarapuava, v. 3, n. 3, p. 325-336, 2007.

VALÉRIO, A. F.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; CALDEIRA, M. V. W; FIGUEIREDO FILHO, A. Modelagem para a estimativa do rendimento no desdobro de toras de *araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. **Floresta**, v. 39, n. 3, p. 619-628. 2009.

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

## CAPÍTULO 2: AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES ANATÔMICAS, FÍSICAS, QUÍMICAS E MECÂNICAS NO SENTIDO MEDULA-CASCA

### RESUMO

O objetivo do estudo foi avaliar as características anatômicas e as propriedades físicas, mecânicas e químicas das madeiras de três espécies exóticas invasoras da mata atlântica. Os corpos-de-prova foram extraídos de três regiões distintas no sentido medula-casca, denominadas externa, intermediária e central. As características anatômicas avaliadas foram diâmetro e frequência de vasos, altura e quantidade de raios por milímetro linear, comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede das fibras. As propriedades físicas analisadas foram densidade básica, contração radial, tangencial, volumétrica e coeficiente de anisotropia. Na análise química foram mensurados os teores de extrativos, lignina solúvel, insolúvel, total e cinzas, o teor de holocelulose foi obtido por diferença. Para as propriedades mecânicas foram determinados a resistência e o módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras, a resistência ao cisalhamento, a resistência a dureza paralela e perpendicular às fibras e o módulo de elasticidade e ruptura na flexão. Foi observado aumento do diâmetro dos vasos no sentido medula-casca, com maior frequência na região central. A madeira de Jaqueira possui densidade básica baixa, a largura, o lume das fibras e os teores de extrativos diminuem no sentido medula-casca e as retrações foram menores na região central, sendo a região intermediária a que apresentou maior resistência mecânica. A madeira de Jamelão apresentou densidade média, o comprimento, a largura, o diâmetro do lume, a espessura da parede das fibras e as propriedades mecânicas aumentaram no sentido medula-casca e as retrações radiais e volumétricas foram menores na região central. A madeira de Sombreiro possui densidade média e apresentou tendência de aumento no sentido medula-casca para o comprimento e a espessura das fibras. As fibras e os raios influenciam na densidade, nas retrações e nas propriedades mecânicas. O diâmetro do vaso é inversamente proporcional ao coeficiente de anisotropia. A lignina influencia diretamente na densidade, na contração e nas propriedades mecânicas das madeiras. As cinzas e a holocelulose possuem correlação negativa com a densidade, a contração volumétrica e algumas propriedades mecânicas. Foi observado que existe diferença nas propriedades da madeira no sentido medula-casca. Contudo, não foi observado padrão definido de variação das características da madeira em todas as espécies. Assim, é importante conhecer as propriedades da madeira de cada espécie e saber de qual região da árvore a madeira é oriunda, visto que isso influencia nas propriedades e conseqüentemente no uso final.

**Palavras-chave:** Propriedades da madeira. Variação radial. Madeira. Espécies invasoras.

## ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the anatomical characteristics and the chemical, mechanical and chemical properties of the three invasive species of the Atlantic Forest in the pith-bark direction. The specimens were extracted from three distinct regions of the core bark, denominated external, intermediate and central. The anatomical characteristics evaluated were: diameter and frequency of the vessels, height and number of rays per linear millimeter, length, width, diameter of the lumen and thickness of the fiber wall. The physical properties analyzed were basic density, radial, tangential, volumetric contraction and anisotropy coefficient. In the chemical analysis, extracts, soluble, insoluble, total lignin and ashes were measured, the holocellulose content was obtained by difference. For mechanical properties, the compression strength and modulus of elasticity parallel to the fibers, shear strength, parallel and perpendicular strength to the fibers and the modulus of elasticity and rupture in flexion were selected. An increase in the diameter of the vessels was observed in the core-bark direction, more frequently in the central region. Jackfruit wood has low basic density, fiber width and volume and decreased extraction levels in the core-bark direction and as smaller retractions in the central region, being an intermediate region that has greater mechanical resistance. Java plum wood has medium density, length, width, diameter of the lumen, thickness of the fiber wall and increased mechanical properties in the core-bark direction and as radial and volumetric retractions were lower in the central region. Wood sombreiro has medium density and shows an increase in core-bark for fiber length and thickness. The fibers and rays influence density, shrinkage and mechanical properties. The diameter of the vessel is inversely proportional to the anisotropy coefficient. Lignin directly influences the density, contraction and mechanical properties of the wood. As ash and holocellulose have a negative correlation with density, a volumetric contraction and some mechanical properties. It was observed that there is a difference in the properties of the wood in the pith-bark direction. There was no defined pattern of variation in the characteristics of the wood in all species. Thus, it is important to know the properties of the wood of each species and to know which region of the wood tree comes from, since these influences the properties and consequently the end use.

**Keywords:** Wood properties. Radial variation. Wood. Invasive species.



## 1 INTRODUÇÃO

O conhecimento das propriedades da madeira é importante para as diversas fases de processamento industrial, bem como para a utilização do produto final (ALVES et al., 2015). Assim, torna-se necessário o conhecimento das propriedades físicas, químicas, mecânicas e anatômicas para a utilização racional da madeira nas mais diversas finalidades (ALMEIDA et al., 2018).

A madeira tem como característica principal sua heterogeneidade, as propriedades da madeira não são uniformes no sentido medula-casca. Em madeiras de eucalipto há aumento do comprimento, da espessura da parede das fibras e do diâmetro tangencial dos vasos no sentido medula-casca. A densidade, o comprimento de fibras, a espessura da parede celular, o conteúdo de celulose, a resistência e a rigidez são maiores na madeira adulta (JESUS; SILVA, 2020). A madeira de *Schizolobium amazonicum* apresenta variações no sentido medula-casca para as características anatômicas e contração, não apresentando variações na composição química e na densidade básica (VIDAURRE et al., 2018a, 2018b).

Assim, os estudos de qualidade da madeira devem levar em consideração as variações decorrentes da posição na árvore, pois essas implicam na existência de grandes diferenças nas propriedades da madeira, cujas causas são difíceis de serem identificadas isoladamente, devido à multiplicidade de fatores e grande interação entre eles. Com a amostragem medula-casca, é possível entender a heterogeneidade dos componentes da madeiras dentro da árvore e identificar seu melhor uso (VALENTE et al., 2013).

O estudo das propriedades anatômica, físico-mecânicas e químicas das madeiras é de importância para classificação destas, de modo que possa ser feito seu correto uso de acordo com as suas propriedades. A ausência de estudos sobre as propriedades e potenciais usos para madeiras de espécies exóticas invasoras promove a inutilização do material ou utilização em produtos de baixo valor agregado.

Assim, o objetivo deste capítulo foi avaliar as características anatômicas e as propriedades físicas, mecânicas e químicas das madeiras de três espécies exóticas invasoras da mata atlântica.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Determinação das características anatômicas

Foram utilizados discos a 0,30 m de altura do solo de duas árvores das espécies Jaqueira, Jamelão e Sombreiro. Os discos foram seccionados, em três regiões distintas, na direção medula-casca, sendo denominada central, intermediária e externa.

Foram confeccionados corpos-de-prova de 2 x 2 x 1,5 cm, radial, tangencial e axial, respectivamente, para a retirada de cortes histológicos de espessura entre 12 a 18  $\mu\text{m}$ , com auxílio de micrótomo de deslize horizontal. Os cortes foram realizados nos planos de corte transversal, tangencial e radial. Para a montagem das lâminas, os cortes foram clarificados com uma solução de hipoclorito de sódio, posteriormente desidratados em uma série alcoólica e corados com solução de safranina.

As lâminas foram fotografadas com o auxílio de uma câmera Pixel link PL A662 acoplada ao microscópio óptico Olympus Bx41. A partir das fotos foi medido o diâmetro do lume em 25 vasos por lâmina, a frequência dos vasos, a altura e a quantidade de raios por mm linear, com auxílio do software Image J (versão 1.45s).

Para a análise das fibras foram retirados cavacos no sentido longitudinal, nas mesmas regiões onde foram retirados os cortes histológicos. Para proceder com a dissociação das fibras, os cavacos foram armazenados em vidros com solução de peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) e ácido acético glacial ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) na proporção de 1:1, e levados a estufa na temperatura de 60°C por 48h. O material foi lavado com água destilada e corado com safranina para a confecção das lâminas. As mesmas foram fotografadas com o auxílio de uma câmera Pixel link PL A662 acoplada ao microscópio óptico Olympus Bx41 e realizada a medição do comprimento, da espessura da parede e do diâmetro do lume de 30 fibras por amostra com o software ImageJ (versão 1.45s).

As análises anatômicas foram feitas com base nas normas da International Association of Wood Anatomists (IAWA COMMITTEE, 1989), e foram realizadas no Laboratório de Anatomia da Madeira no Departamento de Ciências Florestais – UFLA.

## 2.2 Determinação das propriedades físicas

Foram utilizadas nove árvores de cada espécie, após o desdobro foram selecionadas tábuas de três regiões distintas externa, intermediária e central no sentido medula-casca. Em cada região foram realizados três repetições. Os corpos-de-prova foram confeccionados baseados na ASTM D143 (ASTM, 2014), com as dimensões de 100 x 25 x 25 mm e de forma a terem as direções radial, tangencial e axial orientadas. Os corpos-de-prova foram submersos em água e com auxílio de bomba de vácuo foram saturados.

Após saturação dos corpos-de-prova, os mesmos foram pesados em balança digital com precisão de 0,01g e as dimensões medidas nas direções radial, tangencial e axial, com auxílio de paquímetro digital com precisão de 0,01 mm. Para a secagem da madeira os corpos-de-prova foram colocados em estufa com temperatura de  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , e suas dimensões mensuradas cinco vezes durante a secagem até que a madeira fosse totalmente seca.

A partir da coleta dos dados foi feita a determinação da contração radial e tangencial (Equação 6), volumétrica (Equação 7), o coeficiente de anisotropia (Equação 8), a densidade básica (Equação 9) e a umidade das madeiras (Equação 10).

$$\varepsilon_i = \frac{(L_{\text{sat}} - L_{u(\%)})}{L_{\text{sat}}} \times 100 \quad (6)$$

Em que:  $\varepsilon_i$  = contração, “i” pode ser na direção radial e tangencial;  $L_{\text{sat}}$  = dimensão do corpo-de-prova saturado na direção radial e tangencial;  $L_{u(\%)}$  = dimensão do corpo-de-prova na umidade considerada na direção radial e tangencial.

$$CA = \frac{\varepsilon_T}{\varepsilon_R} \quad (7)$$

Em que: CA = Coeficiente de anisotropia;  $\varepsilon_T$  = contração tangencial;  $\varepsilon_R$  = contração radial.

$$C_{\text{volumétrica}} = \frac{(V_{\text{sat}} - V_{u(\%)})}{V_{\text{sat}}} \times 100 \quad (8)$$

Em que:  $C_{\text{volumétrica}}$  = contração volumétrica;  $V_{\text{sat}}$  = volume do corpo-de-prova saturado;  $V_{u(\%)}$  = volume do corpo-de-prova na umidade considerada.

$$\rho_{\text{básica}} = \frac{m_s}{V_{\text{sat}}} \quad (9)$$

Em que:  $\rho_{\text{básica}}$  = densidade básica da madeira (g/cm<sup>3</sup>);  $m_s$  = massa seca (g) ;  $V_{\text{sat}}$  = volume saturado (cm<sup>3</sup>).

$$U_{(\%)} = \frac{(m_i - m_s)}{m_s} \times 100 \quad (10)$$

Em que:  $U_{(\%)}$  = Umidade da amostra (%);  $m_i$  = massa inicial da madeira (g);  $m_s$  = massa seca (g).

### 2.3 Determinação das propriedades químicas

Para a análise química foram determinados os teores de extrativos totais, lignina solúvel, lignina insolúvel, lignina total, cinzas e holocelulose. Foram utilizadas sete árvores em três regiões distintas no sentido medula-casca, externa, intermediária e central. O material foi transformado em cavacos e posteriormente processado em moinho para confecção da serragem, que foi passada pela peneira de 40 mesh, sendo utilizada a fração retida na peneira de 60 mesh.

A determinação dos extrativos totais foi feita em três extrações. A primeira extração em etanol-tolueno (na proporção de 2:1) por seis horas. A segunda extração com etanol durante quatro horas, nessas duas etapas utilizou-se o extrator soxhlet. A última extração em água destilada quente, conforme adaptação da norma ASTM D1105-96 (ASTM, 2013).

O teor de lignina insolúvel em ácido foi determinado de acordo com o método Klason. Nas amostras de madeira livre de extrativos foi adicionado ácido sulfúrico 72 %, as quais ficaram por uma hora em banho maria em temperatura de 30°C. As amostras foram tratadas termicamente, permanecendo em cozimento na panela de pressão durante uma hora. Posteriormente, as amostras foram filtradas em cadinhos forrados por óxido de alumínio e levados a estufa a 103 ± 2 °C.

O teor de lignina solúvel foi determinado pela espectrometria (GOLDSCHIMID, 1971), a partir do filtrado diluído em água destilada obtido durante o procedimento da determinação da lignina insolúvel. Para determinação do teor de lignina total realiza-se o somatório dos teores de lignina solúvel e insolúvel.

Os teores de cinzas foram determinados de acordo com a ASTM E1755-01 (ASTM, 2015). As amostras foram colocadas na mufla com temperatura de 575°C ± 25°C durante seis horas, realizando dessa maneira a incineração da fração orgânica. O teor de holocelulose foi obtido por diferença.

## 2.4 Determinação das propriedades mecânicas

Foram utilizadas sete árvores de cada espécie, não foi possível realizar os ensaios com as dez árvores suprimidas, devido ao diâmetro mínimo necessário para a retirada de pranchões na tora. Os corpos-de-prova foram extraídos de três regiões distintas no sentido da medula-casca, denominadas externa, intermediária e central.

Após o desdobro o material foi seco ao ar livre por seis meses. Posteriormente, confeccionados os corpos-de-prova com dimensões especificadas na Tabela 8, para cada ensaio de acordo com a ASTM D143 (ASTM, 2014). Foram confeccionados 84 corpos-de-prova para cada espécie e ensaio. Os corpos-de-prova foram armazenados em ambiente controlado com a temperatura de  $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de  $60\% \pm 5\%$ , até atingirem a umidade aproximada de 12%. Foi feita a medição com paquímetro digital da dimensão de cada corpo-de-prova.

Foram realizados quatro ensaios mecânicos, compressão paralela às fibras, cisalhamento, dureza paralela e perpendicular às fibras e flexão estática, sendo quatro repetições para cada região amostrada.

Tabela 8 - Dimensão dos corpos-de-prova de cada ensaio mecânico.

Ensaio	Dimensão do corpo-de-prova (mm)		
	Comprimento	Largura	Espessura
Compressão	100	25	25
Cisalhamento	63	50	50
Dureza	150	50	50
Flexão estática	410	25	25

Fonte: O autor (2020).

Nos ensaios para a obtenção das propriedades mecânicas foi utilizada a máquina universal de ensaios com célula de carga e velocidade de aplicação da carga diferente para cada ensaio (Tabela 9). Conectado a máquina universal de ensaios há um computador com o software Tesc (versão 1.13), em que foram feitas as configurações dos parâmetros para cada ensaio mecânico de acordo com a ASTM D143 (ASTM, 2014), e feita à aquisição e geração do relatório com os dados das propriedades mecânicas descritas na Tabela 9. Os ensaios das propriedades mecânicas foram realizados no Laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira no Departamento de Ciências Florestais – UFLA.

Tabela 9 - Célula de carga utilizada e propriedades mecânicas obtidas em cada ensaio.

Ensaio	Célula de carga (ton)	Velocidade (mm/min)	Propriedade mecânica
Compressão	30	0,076	Resistência a compressão paralela às fibras ( $f_{c0}$ ) Módulo de elasticidade na compressão ( $E_{c0}$ )
Cisalhamento	30	0,60	Resistência ao cisalhamento ( $f_v$ )
Dureza Janka	10	0,60	Resistência a dureza paralela às fibras ( $f_{H0}$ ) Resistência a dureza perpendicular às fibras ( $f_{H90}$ )
Flexão estática	10	1,30	Módulo de elasticidade ( $E_M$ ) Módulo de ruptura (MOR)

Fonte: O autor (2020).

No ensaio de dureza Janka, em cada corpo-de-prova a esfera com área diametral de 1 cm<sup>2</sup> foi inserida seis vezes, duas paralelas às fibras (faces transversais) (Figura 13C) e quatro perpendiculares às fibras (faces radiais e tangenciais) (Figura 13D) no centro da superfície analisada.

Os corpos-de-prova para o ensaio de flexão foram posicionados de maneira que os anéis de crescimento ficassem paralelos a carga aplicada e utilizou-se o vão de 36 cm (Figura 13E).

Figura 13 - Ensaio de compressão paralela às fibras da madeira de Sombreiro (A), método de montagem para o ensaio de cisalhamento (B), ensaio de dureza Janka paralelo (C) e perpendicular (D) às fibras na madeira de Jamelão, ensaio de flexão estática da madeira de Jamelão (E). (Continua)

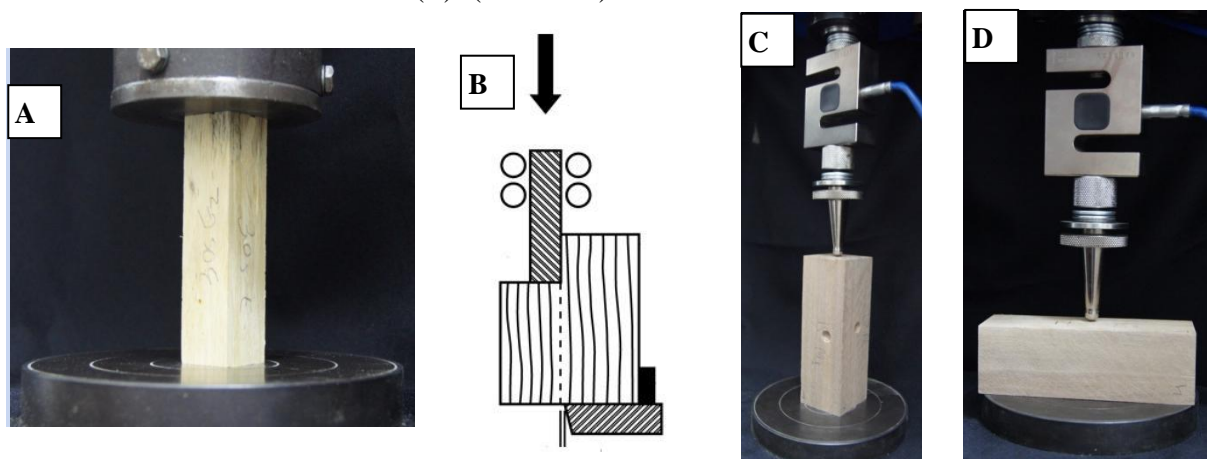
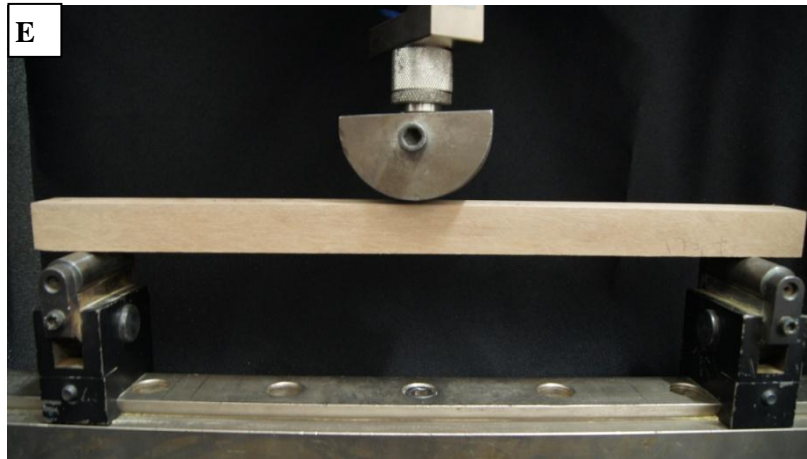


Figura 13 - Ensaio de compressão paralela às fibras da madeira de Sombreiro (A), método de montagem para o ensaio de cisalhamento (B), ensaio de dureza Janka paralelo (C) e perpendicular (D) às fibras na madeira de Jamelão, ensaio de flexão estática da madeira de Jamelão (E). (Conclusão)



Fonte: O autor (2020), B - ASTM D143 (2014).

#### 2.4 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa R CoreTeam 3.4.3. A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk, e a homogeneidade pelo teste de Barlett e Levene, os testes foram analisados  $\alpha=0,05$  de significância. Após atender os pressupostos da Anova, a mesma foi aplicada para avaliar o efeito da porosidade, da altura e frequência de raios, do comprimento de vasos e fibras, da espessura da parede da fibra, do diâmetro do lume, da largura total da fibra, da densidade, dos índices de retratibilidade, dos teores de extrativos, de lignina, de cinzas, de holocelulose, da resistência, da rigidez e dureza das madeiras, nas diferentes regiões radiais (externa, intermediária e central). Foi aplicado o teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ ), a fim de determinar as diferenças entre as médias dos tratamentos.

Foi analisado o grau de correlação entre as propriedades anatômicas, físicas, químicas e mecânicas. Para a análise de correlação foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson. O grau de correlação foi determinado de acordo com os critérios descritos por Callegari-Jacques (2003), em que prevê, em módulo, as seguintes condições: fraca correlação (baixa) para  $0 < r < 0,30$ ; moderada correlação para  $0,30 \leq r < 0,60$ ; correlação alta (forte) para  $0,60 \leq r < 0,9$ ; correlação muito forte para  $r \geq 0,90$  e correlação perfeita para  $r = 1,00$ .

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Características anatômicas

##### 3.1.1 Jaqueira - *Artocarpus heterophyllus*

O cerne e o albarno na madeira de Jaqueira são distintos pela diferenciação da coloração, o cerne amarelado e o albarno bege-amarelado. O brilho é moderado, o odor e o gosto são imperceptíveis. A textura da madeira foi classificada como média, a grã é regular e os anéis de crescimento são indistintos.

Na Figura 14 estão representados os planos de corte transversal (Figura 14A), tangencial (Figura 14B) e radial (Figura 14C) da madeira de Jaqueira.

A madeira de Jaqueira possui porosidade difusa, com arranjo diagonal e, ou radial. Os vasos são predominantemente solitários com presença de múltiplos de 2 e 3, de seção oval (Figura 14A), alguns obstruídos por tilos, classificados de diâmetro médio, considerado de frequência muito baixa ( $< 5$  vasos/mm<sup>2</sup>) (Tabela 10).

O parênquima axial é paratraqueal vasicêntrico e vasicêntrico confluyente. Os raios são heterogêneos com presença de células procumbentes e eretas (Figura 14C), são multisseriados com 4-10 células e pouco frequentes (4 a 12 raios/mm linear) (Figura 16B). Apresentou pontoações raio vascular. As fibras são curtas e de parede delgada a espessa (Tabela 10).

A madeira de Jaqueira apresentou porosidade difusa, vasos solitários e múltiplos de 2 e 3, com arranjo radial, características anatômicas comuns entre as espécies do gênero *Artocarpus* (*A. chaplasha*, *A. heterophyllus*, *A. lakoocha* e *A. nitidus*) avaliadas no nordeste da Índia (SINGH; SHARMA; SHARMA, 2017). Os mesmos autores verificaram que a característica anatômica que diferiu *A. heterophyllus* (Jaqueira) das demais espécies estudadas do gênero *Artocarpus* foi a ausência de fibra septada. Característica que também não foi observada no presente estudo na madeira de Jaqueira.

Figura 14 - Plano de corte transversal (A), tangencial (B) e radial (C) da madeira de Jaqueira na objetiva de 10x. Barras: 100  $\mu$ m.



Fonte: Do autor (2020).



Na Tabela 10 estão apresentadas as características anatômicas quantitativas da madeira de Jaqueira.

Tabela 10 – Valores anatômicos mínimos, médios e máximos dos vasos, dos raios e das fibras, da madeira de Jaqueira, em função da variação radial.

Caracteres anatômicos	Parâmetros	Região	Mínimo	Média	Máximo	CV (%)
Vasos	Diâmetro do lume ( $\mu\text{m}$ )	E	78,42	<b>121,14 a</b>	164,31	18,54
		I	80,24	<b>115,37 a</b>	172,03	17,65
		C	68,78	<b>102,43 b</b>	171,98	24,62
	Frequência (vasos $\text{mm}^{-2}$ )	E	1,89	<b>2,70 ab</b>	4,69	27,90
		I	1,53	<b>2,51 b</b>	3,61	21,83
		C	2,53	<b>3,14 a</b>	4,06	15,74
Raios	Altura ( $\mu\text{m}$ )	E	397	<b>608 b</b>	889	24,83
		I	491	<b>737 a</b>	1049	26,43
		C	366	<b>604 b</b>	861	25,43
	Raios/mm	E	3,81	<b>5,37 a</b>	6,36	11,79
		I	4,44	<b>5,53 a</b>	7,01	14,98
		C	4,44	<b>5,28 a</b>	6,37	10,46
Fibras	Comprimento ( $\mu\text{m}$ )	E	911	<b>1192 a</b>	1676	13,49
		I	825	<b>1075 b</b>	1499	13,68
		C	764	<b>1141 a</b>	1417	12,30
	Largura ( $\mu\text{m}$ )	E	12,43	<b>26,09 b</b>	40,61	19,86
		I	17,07	<b>28,41 ab</b>	43,97	19,3
		C	19,37	<b>28,62 a</b>	43,70	19,14
	Diâmetro do lume ( $\mu\text{m}$ )	E	7,05	<b>18,72 b</b>	34,71	24,03
		I	10,28	<b>20,91 a</b>	36,92	23,74
		C	11,70	<b>21,22 a</b>	39,15	25,94
	Espessura Parede ( $\mu\text{m}$ )	E	0,11	<b>3,69 a</b>	6,48	27,75
		I	2,13	<b>3,75 a</b>	5,57	20,72
		C	1,36	<b>3,70 a</b>	6,47	25,59

Legenda: E = externa; I = intermediária; C = central; CV = Coeficiente de variação. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Fonte: Do autor (2020).

Em relação aos vasos foi observado aumento do diâmetro no sentido da medula-casca e diminuição da frequência dos elementos de vasos na direção medula-casca. Esse comportamento é observado na madeira do gênero *Eucalyptus* (FLORSHEIM et al., 2009). Sob o aspecto fisiológico, as alterações no diâmetro, frequência e disposição dos elementos de vasos são interpretadas pela necessidade das plantas aumentarem sua capacidade de transporte de água e sais minerais à medida que se processam o seu crescimento e o consequente aumento de suas dimensões. Sob o aspecto tecnológico, essas alterações refletem nas

propriedades físico-mecânicas do lenho, na secagem e na penetração de licor nos cavacos durante o processo de deslignificação (TOMAZELLO FILHO, 1987).

A maior altura dos raios foi observada na região intermediária. A quantidade de raios/mm não possui diferença significativa entre as regiões.

A região intermediária apresentou fibras de menor comprimento, enquanto a largura das fibras e o diâmetro do lume diminuem no sentido da medula-casca. A espessura da parede das fibras não apresentou diferença significativa entre as posições radiais.

### 3.1.2 Jamelão - *Syzygium cumini*

A madeira de Jamelão apresentou cerne e alburno indistintos de coloração castanho-avermelhado, odor e gosto imperceptível, textura média, grã regular, com brilho moderado e anéis de crescimento distintos por zona fibrosa.

Os vasos possuem tamanho médio (100 a 200  $\mu\text{m}$ ), pouco frequentes ( $< 5$  vasos/ $\text{mm}^2$ ) (Tabela 11), com porosidade difusa, arranjo diagonal e/ou radial. O agrupamento dos vasos foi solitário e múltiplo de 2 e 3 (Figura 15A), o número de vasos solitários aumenta da casca para a medula. Apresentou placa de perfuração escalariforme e reticulada (Figura 16B) e pontuação intervascular oposta (Figura 16A).

O parênquima axial é difuso em agregado e aliforme confluyente (Figura 15A). Os raios são heterogêneos com células procumbentes e eretas, unisseriados e multisseriados com presença de 1 a 3 células (Figura 15B e 15C), pouco frequentes (4 a 12 raios/mm linear). As fibras são longas ( $\geq 1600$   $\mu\text{m}$ ) e de parede delgada a espessa (Tabela 11).

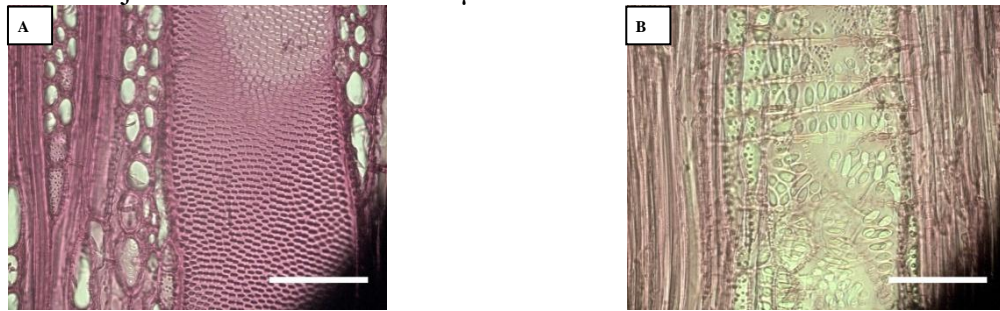
A Figura 15 apresenta os planos corte transversal (Figura 15A), tangencial (Figura 15B) e radial (Figura 15C) da madeira de Jamelão.

Figura 15 - Plano de corte transversal (A), tangencial (B) e radial (C) da madeira de Jamelão na objetiva de 10x. Barras: 100  $\mu\text{m}$



Fonte: Do autor (2020).

Figura 16 - Pontoações intervasculares (A) e placa de perfuração (B) na madeira de Jamelão na objetiva de 40x. Barras: 100  $\mu\text{m}$ .



Fonte: Do autor (2020).

Na Tabela 11 encontram-se os parâmetros anatômicos quantitativos da madeira de Jamelão.

Tabela 11 - Valores anatômicos mínimos, médios e máximos dos vasos, dos raios e das fibras, madeira de Jamelão, em função da variação radial.

Caracteres anatômicos	Parâmetros	Região	Mínimo	Média	Máximo	CV (%)
Vasos	Diâmetro do lume ( $\mu\text{m}$ )	E	78,42	<b>131,97 a</b>	189,29	20,39
		I	95,6	<b>123,61 a</b>	179,67	12,99
		C	84,06	<b>104,50 b</b>	126,09	9,27
	Frequência (vasos $\text{mm}^{-2}$ )	E	7,01	<b>8,84 b</b>	11,02	10,81
		I	7,58	<b>9,10 b</b>	10,83	11,97
		C	9,38	<b>10,52 a</b>	11,91	6,26
Raios	Altura ( $\mu\text{m}$ )	E	504,48	<b>622,89 a</b>	793,10	14,44
		I	418,82	<b>666,30 a</b>	976,35	21,80
		C	388,05	<b>534,83 b</b>	873,17	19,59
	Raios/mm	E	7,62	<b>8,96 a</b>	10,18	8,56
		I	5,09	<b>8,10 b</b>	9,55	13,97
		C	6,37	<b>8,57 ab</b>	10,14	11,07
Fibras	Comprimento ( $\mu\text{m}$ )	E	1376	<b>1904 a</b>	2517	13,08
		I	1335	<b>1898 a</b>	2304	11,81
		C	1251	<b>1680 b</b>	2060	10,46
	Largura ( $\mu\text{m}$ )	E	15,78	<b>28,98 a</b>	42,58	17,64
		I	18,17	<b>26,12 b</b>	35,82	14,71
		C	18,86	<b>24,93 b</b>	35,37	14,75
	Diâmetro do lume ( $\mu\text{m}$ )	E	6,31	<b>11,65 a</b>	19,61	31,07
		I	3,26	<b>10,16 b</b>	20,49	30,60
		C	6,57	<b>10,94 ab</b>	20,24	26,41
Espessura Parede ( $\mu\text{m}$ )	E	4,05	<b>8,66 a</b>	14,15	20,51	
	I	4,82	<b>7,98 b</b>	11,11	16,83	
	C	4,48	<b>7,00 c</b>	10,13	15,72	

Legenda: E = externa; I = intermediária; C = central; CV = Coeficiente de variação. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Fonte: Do autor (2020).

Observou-se que o diâmetro do vaso aumenta e a sua frequência diminui no sentido da medula-casca. A altura dos raios foi menor na região central e a quantidade de raios/mm foi menor na região intermediária.

O diâmetro do lume das fibras da madeira de Jamelão foi menor na região intermediária e maior na externa. As fibras apresentaram aumento do comprimento, da largura e da espessura da parede no sentido medula-casca. Esse padrão também foi descrito para a madeira do gênero *Eucalyptus* (FLORSHEIM et al., 2009; SETTE JR et al., 2012; TREVISAN et al., 2017). O aumento do comprimento das fibras em função da idade é resultado do aumento do comprimento das células que as originam, denominadas iniciais fusiformes (TOMAZELLO FILHO, 1987).

O comprimento de fibra da madeira de Jamelão se destacou por ser longo apesar da espécie ser uma folhosa. As espécies folhosas apresentam fibras com comprimento médio inferior a 1,5 mm, enquanto coníferas apresentam fibras mais longas, podendo variar de 3,5 a 4,0 mm (MENEGAZZO, 2012).

Em estudo realizado na Índia com cinco espécies do gênero *Syzygium* (*S. cumini*, *S. fruticosum*, *S. jambos*, *S. nervosum* e *S. praecox*), observou-se que a espécie *S. cumini* foi a que apresentou comprimento, diâmetro do lúmen da fibra e diâmetro do vaso substancialmente maior em comparação com as demais espécies do mesmo gênero (WANGKHEM; SHARMA; SHARMA, 2020). O que corrobora com os resultados obtidos no presente estudo, principalmente as fibras longas apresentadas pela madeira de Jamelão. Esta característica no setor de celulose aumenta a resistência do papel ao rasgo e à tração, pois as fibras longas possuem maior facilidade de entrelaçamento durante a formação do papel (BENITES et al., 2018).

### 3.1.3 Sombreiro - *Clitoria fairchildiana*

Na madeira de sombreiro, o cerne e alburno foram indistintos de cor branca-acinzentada, odor imperceptível, gosto indistinto, textura média, grã regular, sem brilho e anéis de crescimento distinto por zona fibrosa.

Na Figura 17 estão representados os planos de corte transversal (Figura 17A), tangencial (Figura 17B) e radial (Figura 17C) da madeira de Sombreiro.

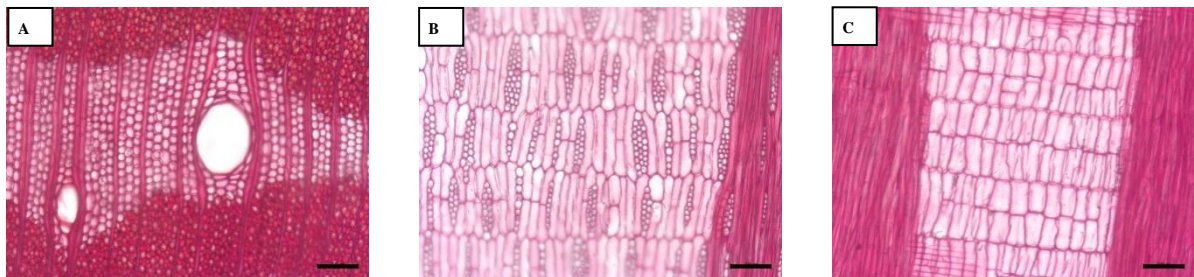
Os vasos possuem seção oval, diâmetro médio, muito pouco frequente (< 5 vasos/mm<sup>2</sup>), com porosidade difusa e arranjo diagonal e/ou radial, são

predominantemente solitários, com presença de múltiplos de 2, há raras ocorrências de múltiplos de 3 (Figura 17A).

O parênquima axial em faixas largas (Figura 17A). Os raios são estratificados, homogêneos compostos por células eretas, unisseriado e multisseriado de 1-3 células pouco frequentes (4 a 12 raios/mm linear), com presença de 4-10 células muito pouco frequentes (< 4 raios/mm linear) (Figura 17B e 17C). As fibras são curtas e de parede delgada a espessa (Tabela 12).

A anatomia do lenho do Sombreiro apresentou estratificação, outra característica que se destacou foi o parênquima em faixa. Na literatura não há descrição anatômica da madeira de Sombreiro, sabe-se que é uma Fabaceae – Papilionoideae. Para definição das subfamílias de Fabaceae a anatomia é importante recurso, enfatiza-se a ocorrência de estratificação como caráter importante para o reconhecimento (BARETTA-KUIPERS, 1981). Segundo o mesmo autor Papilionoideae possui estratificação de todos os elementos. O parênquima axial em faixa pode ser característica do gênero, Paula e Alves (1989) observaram que o parênquima axial do lenho da *Clitoria racenwsa* Benth. também era em faixa. O arranjo do parênquima axial mostra-se importante na segregação de gêneros e espécies (BARETTA-KUIPERS, 1981).

Figura 17 - Plano de corte transversal (A), tangencial (B) e radial (C) da madeira de Sombreiro na objetiva de 10x. Barra de escala de 100  $\mu$ m.



Fonte: Do autor (2020).

A caracterização anatômica quantitativa da madeira de Sombreiro está apresentada na Tabela 12.

Tabela 12 - Valores anatômicos mínimos, médios e máximos dos vasos, dos raios e das fibras, da madeira de Sombreiro, em função da variação radial.

Caracteres anatômicos	Parâmetros	Região	Mínimo	Média	Máximo	CV (%)
Vasos	Diâmetro do lume ( $\mu\text{m}$ )	E	46,01	<b>136,00 a</b>	227,34	25,61
		I	80,24	<b>127,64 a</b>	198,72	20,47
		C	72,6	<b>127,19 a</b>	185,32	22,52
	Frequência (vasos $\text{mm}^{-2}$ )	E	0,90	<b>1,69 b</b>	3,00	32,70
		I	0,99	<b>1,86 b</b>	2,62	17,73
		C	1,80	<b>2,54 a</b>	3,97	19,62
Raios	Altura ( $\mu\text{m}$ ) Multiseriado <b>1-3 células</b>	E	133,20	<b>165,13 a</b>	191,20	10,47
		I	126,22	<b>174,97 a</b>	215,19	13,61
		C	139,51	<b>172,62 a</b>	565,51	13,29
	Raios/mm Multiseriado <b>1-3 células</b>	E	2,52	<b>5,84 b</b>	12,03	38,56
		I	3,80	<b>6,91 ab</b>	10,13	25,03
		C	5,07	<b>7,78 a</b>	10,13	22,69
Raios	Altura ( $\mu\text{m}$ ) Multiseriado <b>4-10 células</b>	E	162,69	<b>356,81 a</b>	565,51	28,50
		I	148,78	<b>253,44 b</b>	67,47	26,62
		C	212,06	<b>296,41 ab</b>	429,88	21,46
	Raios/mm Multiseriado <b>4-10 células</b>	E	1,27	<b>1,97 a</b>	2,55	29,37
		I	0,63	<b>1,06 b</b>	1,27	29,29
		C	0,63	<b>0,73 b</b>	1,27	33,20
Fibras	Comprimento ( $\mu\text{m}$ )	E	838	<b>1417 a</b>	1394	15,6
		I	851	<b>1128 b</b>	1615	14,7
		C	685	<b>1040 c</b>	1443	16,1
	Largura ( $\mu\text{m}$ )	E	16,86	<b>22,31 a</b>	28,87	12,35
		I	7,66	<b>19,42 b</b>	26,81	19,18
		C	12,86	<b>19,91 b</b>	27,60	13,73
	Diâmetro do lume ( $\mu\text{m}$ )	E	3,08	<b>11,92 a</b>	20,37	26,14
		I	4,19	<b>10,20 b</b>	19,21	36,74
		C	7,19	<b>13,09 a</b>	21,52	20,57
	Espessura Parede ( $\mu\text{m}$ )	E	2,62	<b>5,19 a</b>	8,08	22,18
		I	1,73	<b>4,61 b</b>	8,01	29,19
		C	1,69	<b>3,41 c</b>	5,41	20,76

Legenda: E = externa; I = intermediária; C = central; CV = Coeficiente de variação. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Fonte: Do autor (2020).

O diâmetro dos vasos não apresentou diferença significativa entre as regiões, enquanto sua frequência diminui no sentido medula-casca. Os raios de 1-3 células não possuem diferença significativa na altura e a quantidade de raios/mm diminui da medula-casca. Nos raios com 4-10 células a maior altura foi observada na região externa e a quantidade de raios/mm aumenta da medula-casca.

Nas fibras foi observado menor diâmetro do lume na região intermediária e maior na central. O comprimento, largura e espessura da parede das fibras aumentam no sentido medula-casca. Na madeira de eucalipto esse comportamento do comprimento e da espessura da parede das fibras também é observado (RAMOS et al., 2011).

### 3.2 Propriedades físicas

Na Tabela 13 estão descritos as propriedades físicas da madeira de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro, nas regiões externa, intermediária e central.

A densidade básica da madeira de Jaqueira é considerada baixa ( $\leq 0,50 \text{ g.cm}^{-3}$ ) e nas madeiras de Jamelão e do Sombreiro classificadas como média ( $0,50 - 0,72 \text{ g.cm}^{-3}$ ) (CORADIN, 1991).

Em relação ao coeficiente de anisotropia na região externa da madeira do sombreiro é considerado como excelente (1,2 a 1,5). Na região externa e intermediária da madeira de Jaqueira e Jamelão, e intermediária e central do Sombreiro é classificada como normal (1,5-2,0). O coeficiente de anisotropia da região central da madeira de Jaqueira e do Jamelão é considerado como ruim ( $> 2,0$ ) (DURLO; MARCHIORI, 1992). A madeira da região central da árvore possui menor estabilidade dimensional.

Na madeira de Jaqueira observa-se que a contração radial, tangencial e volumétrica aumenta no sentido medula-casca. O coeficiente de anisotropia e a densidade básica não apresentaram diferenças significativas entre as regiões. Contrações menores ocorrem no lenho juvenil (PALMA; BALLARIN, 2003).

A madeira de Jaqueira apresentou contração radial, tangencial, e volumétrica menor na região central. Esse padrão ocorreu possivelmente devido ao maior teor de extrativos presentes na região central da madeira de Jaqueira. Os extrativos inibem a contração por ocuparem a região amorfa na celulose da parede celular (CHOONG et al., 2007; TRIANOSKI, 2012). Os extrativos têm a capacidade de interagir com as moléculas de água, interferindo nos mecanismos de inchamento e contração da madeira (BARBOSA et al., 2005). Dessa forma, regiões com maiores quantidades de extrativos tendem a apresentarem menores contrações e inchamentos, pois os extrativos hidrofóbicos impedem a absorção e desorção de água da parede celular, em decorrência da falta de afinidade química com a água (KIM et al., 2008; SHEBANI et al., 2008; SHESHMANI, 2013). Soares et al. (2018) também encontraram influencia do teor de extrativos na contração da madeira do gênero *Eucalyptus*.

Tabela 13 - Comparação das propriedades físicas da madeira de Jaqueira Jamelão e Sombreiro, em função da variação radial.

Propriedades físicas	Região	JAQUEIRA				JAMELÃO				SOMBREIRO			
		Média	Mínimo	Máximo	CV (%)	Média	Mínimo	Máximo	CV (%)	Média	Mínimo	Máximo	CV (%)
Contração Radial	E	<b>3,73 a</b>	2,21	5,83	29,22	<b>5,60 a</b>	3,79	7,39	17,57	<b>4,96 a</b>	2,93	7,96	24,41
	I	<b>3,40 ab</b>	1,54	5,11	28,13	<b>5,81 a</b>	4,01	7,66	18,50	<b>4,72 a</b>	2,17	9,24	34,29
	C	<b>2,86 b</b>	1,16	5,57	40,23	<b>4,72 b</b>	2,25	6,34	19,93	<b>4,69 a</b>	2,85	7,96	23,69
Contração Tangencial	E	<b>6,19 a</b>	4,24	8,03	14,49	<b>8,52 a</b>	6,35	10,92	13,16	<b>6,90 a</b>	4,66	8,45	13,71
	I	<b>5,98 a</b>	4,28	7,72	16,28	<b>8,80 a</b>	6,15	10,40	14,02	<b>7,02 a</b>	4,95	9,21	17,50
	C	<b>5,27 b</b>	3,26	7,23	21,52	<b>9,11 a</b>	7,21	11,27	12,85	<b>7,62 a</b>	5,38	10,81	19,96
Contração Volumétrica	E	<b>11,15 a</b>	8,82	13,22	11,16	<b>13,99 ab</b>	11,58	16,70	9,87	<b>14,02 a</b>	10,21	17,51	12,88
	I	<b>10,56 a</b>	7,73	14,31	13,39	<b>14,89 a</b>	12,07	17,51	9,24	<b>13,87 a</b>	9,23	18,56	18,88
	C	<b>9,00 b</b>	6,33	12,94	21,74	<b>13,61 b</b>	11,71	15,95	7,69	<b>14,38 a</b>	10,47	19,12	16,42
Coeficiente de anisotropia	E	<b>1,83 a</b>	0,80	3,01	35,66	<b>1,59 b</b>	0,86	2,40	26,50	<b>1,47 a</b>	0,79	2,34	27,56
	I	<b>1,94 a</b>	0,97	3,54	38,92	<b>1,58 b</b>	0,92	2,46	27,08	<b>1,63 a</b>	0,54	2,59	30,69
	C	<b>2,09 a</b>	1,08	3,79	40,35	<b>2,04 a</b>	1,27	4,82	34,29	<b>1,67 a</b>	1,06	2,28	18,38
Densidade básica (g.cm <sup>-3</sup> )	E	<b>0,458 a</b>	0,384	0,541	9,68	<b>0,621 a</b>	0,574	0,681	4,21	<b>0,540 a</b>	0,318	0,644	11,30
	I	<b>0,461 a</b>	0,401	0,546	8,14	<b>0,628 a</b>	0,570	0,685	4,47	<b>0,520 a</b>	0,441	0,585	8,33
	C	<b>0,480 a</b>	0,407	0,564	8,53	<b>0,622 a</b>	0,572	0,685	4,01	<b>0,510 a</b>	0,349	0,633	14,22

Legenda: E = externa; I = intermediária; C = central; CV = Coeficiente de variação. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Fonte: Do autor (2020).

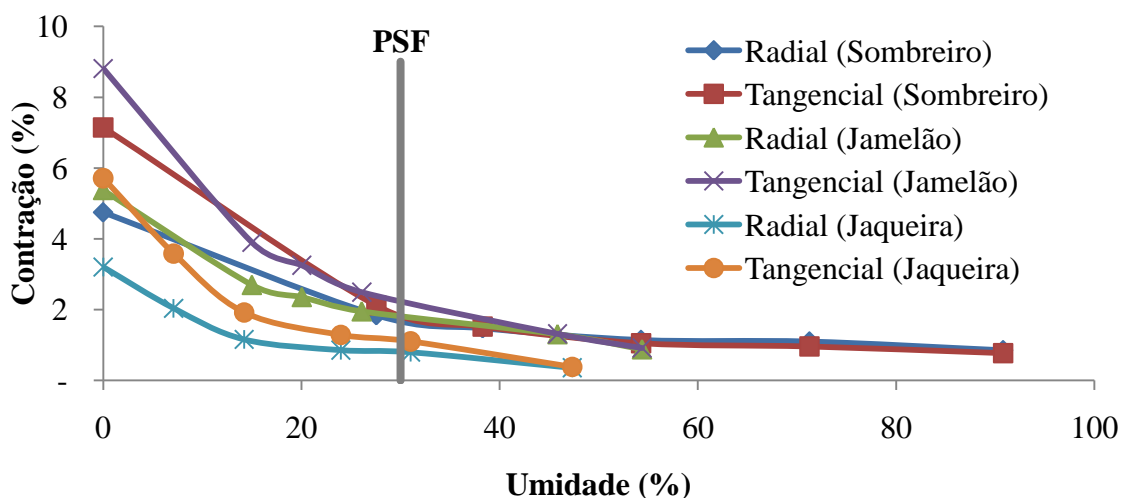


A madeira de Jamelão apresentou menor contração radial e volumétrica na região central. O coeficiente de anisotropia foi maior na região central. Na contração tangencial e na densidade básica não foi observada diferença significativa entre as regiões. O mesmo comportamento de menor contração e maior coeficiente de anisotropia na região próximo a medula é descrito para a madeira de *Eucalyptus saligna* (OLIVEIRA et al., 2003).

Na madeira de Sombreiro observou-se na contração radial, tangencial, volumétrica, coeficiente de anisotropia e densidade básica que não houve diferença significativa entre as regiões externa, intermediária e central.

A Figura 18 mostra o comportamento da contração em função da umidade das madeiras de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro. Inicia-se com a madeira saturada até a sua secagem em que se encontra na condição anidra. Observa-se que a contração da madeira tem início no Ponto de Saturação das Fibras (PSF), aproximadamente na umidade de 30%. Na umidade a 0% a contração máxima é atingida

Figura 18 - Retrações lineares x umidade das madeiras de Sombreiro, Jamelão e Jaqueira.



Fonte: Do autor (2020).

A contração da madeira é importante no uso na indústria moveleira ao indicar a orientação das rachaduras e vãos que podem ocorrer entre as peças de madeira do móvel e que prejudicam os encaixes (LOPES et al., 2011).

A contração radial (3,3%) e tangencial (5,8%) da madeira de Jaqueira pode ser equiparada a madeira de mogno 3,2% (radial) e 4,6% (tangencial). Na madeira de Jamelão a contração radial (5,4%) e tangencial (8,8%) é similar a madeira de cumaru (5,3% - radial e 8,2% - tangencial) (IPT,1989). A contração radial (4,8%) e tangencial (7,2%) da madeira de

Sombreiro pode ser comparada a madeira de muiracatiara (4,6% - radial e 7,6% - tangencial) (ANPM, 2015). As madeiras de mogno, cumaru e muiracatiara segundo o IPT (1989) são indicadas para móveis e tradicionalmente empregadas no setor moveleiro. Dessa forma, as madeiras de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro possuem um bom desempenho no parâmetro de contração e potencial para a confecção de móveis, visto que possuem índices de contração compatíveis com madeiras indicadas para movelaria.

### 3.3 Propriedades químicas

Na Tabela 14 estão apresentados os valores da análise química da madeira de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro.

Os componentes químicos da madeira de Jamelão e Sombreiro não possuem diferença entre as regiões. Na madeira de Jaqueira apenas os extrativos apresentaram diferença, para os demais componentes químicos não foi observado diferenciação nas posições externa, intermediária e central. O teor de extrativos na madeira de Jaqueira apresenta diminuição na direção da medula-casca. O processo de cernificação (transformação de alburno em cerne) é caracterizado, entre outras coisas, pelo acúmulo de extrativos. Portanto, em uma madeira com baixa proporção de cerne normalmente há menor teor de extrativos (HSING et al., 2016).

A madeira de Jaqueira apresentou alto teor de extrativos na região central. De forma positiva pode indicar alta durabilidade da madeira. Pois os extrativos são componentes que proporcionam resistência a fungos e insetos (HARMAEN et al. 2014). Altos teores de extrativos podem ser negativos na aplicação de produtos de acabamento, pela redução da compatibilidade e força de adesão dos vernizes (GHOFRANI; MIRKHANDOUZI; ASHORI, 2016). Por outro lado, alguns tipos de extrativos podem conferir aderência ao acabamento e estabilidade dimensional à madeira, outros são absorvedores de luz ultravioleta e aumentam a estabilidade dos vernizes HILLIS (1971).

Tabela 14 - Comparação das características químicas da madeira de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro em função da variação radial.

Parâmetros (%)	Região	JAQUEIRA				JAMELÃO				SOMBREIRO			
		Média	Mínimo	Máximo	CV (%)	Média	Mínimo	Máximo	CV (%)	Média	Mínimo	Máximo	CV (%)
Extrativos	E	<b>4,02 c</b>	1,22	5,79	36,92	<b>6,72 a</b>	5,22	8,93	23,29	<b>7,26 a</b>	5,92	10,52	21,26
	I	<b>8,05 b</b>	7,99	8,10	0,96	<b>8,62 a</b>	7,70	9,55	15,17	<b>5,97 a</b>	4,80	6,87	17,78
	C	<b>12,38 a</b>	9,29	14,72	13,65	<b>6,86 a</b>	1,97	10,04	37,33	<b>6,66 a</b>	2,69	10,61	35,84
Lignina insolúvel	E	<b>24,65 a</b>	18,35	28,57	17,85	<b>25,47 a</b>	20,57	31,38	15,78	<b>18,58 a</b>	13,15	26,90	22,15
	I	<b>27,58 a</b>	26,94	28,23	3,29	<b>23,36 a</b>	21,27	25,45	12,63	<b>18,23 a</b>	16,98	19,81	7,91
	C	<b>24,46 a</b>	20,18	32,28	19,94	<b>24,18 a</b>	20,92	25,75	7,94	<b>16,63 a</b>	12,60	20,81	19,93
Lignina Solúvel	E	<b>2,57 a</b>	2,01	3,57	26,60	<b>3,44 a</b>	2,93	4,62	16,05	<b>2,24 a</b>	2,06	2,37	5,14
	I	<b>2,56 a</b>	2,36	2,77	11,37	<b>3,12 a</b>	2,76	3,49	16,39	<b>2,17 a</b>	2,05	2,38	8,19
	C	<b>2,18 a</b>	1,73	2,87	17,93	<b>3,88 a</b>	3,10	4,67	15,92	<b>2,30 a</b>	1,94	2,58	10,68
Lignina Total	E	<b>27,22 a</b>	21,00	32,14	15,78	<b>28,91 a</b>	24,01	34,76	14,72	<b>20,82 a</b>	15,49	29,13	19,64
	I	<b>30,15 a</b>	29,71	30,58	2,04	<b>26,48 a</b>	24,76	28,21	9,21	<b>20,40 a</b>	19,36	21,86	6,36
	C	<b>26,64 a</b>	21,97	34,73	19,59	<b>28,06 a</b>	24,45	30,42	7,72	<b>18,94 a</b>	14,54	23,39	19,76
Cinzas	E	<b>0,86 a</b>	0,54	1,45	36,25	<b>0,66 a</b>	0,49	0,76	30,22	<b>1,40 a</b>	1,04	2,02	25,08
	I	<b>1,10 a</b>	0,93	1,27	22,26	<b>0,64 a</b>	0,56	0,72	17,57	<b>1,23 a</b>	1,05	1,46	16,97
	C	<b>0,65 a</b>	0,47	0,85	23,27	<b>0,71 a</b>	0,59	0,99	19,26	<b>1,50 a</b>	1,07	2,10	27,22
Holocelulose	E	<b>67,89 a</b>	61,07	73,93	6,43	<b>63,71 a</b>	55,56	68,93	7,88	<b>70,52 a</b>	62,90	72,82	4,91
	I	<b>60,71 a</b>	60,15	61,26	1,29	<b>64,26 a</b>	61,69	66,83	5,66	<b>72,40 a</b>	70,23	74,39	2,88
	C	<b>60,33 a</b>	50,01	68,28	11,07	<b>64,37 a</b>	61,80	67,90	3,68	<b>72,90 a</b>	63,89	78,83	7,25

Legenda: E = externa; I = intermediária; C = central; CV = Coeficiente de variação. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.  
Fonte: Do autor (2020).

A madeira de Jamelão possui características químicas favoráveis para o uso energético. Apresentou teores de lignina total maior que 28% nas regiões externa e central. O teor mínimo de lignina exigido por grandes empresas que produzem carvão vegetal é de 28% (PEREIRA et al., 2013). Maiores porcentagens de lignina na madeira proporcionam produzir carvão com maiores teores de carbono fixo, já que a lignina possui porcentagens consideráveis de carbono elementar em sua composição (SANTOS et al, 2016).

Outra característica química que a madeira de Jamelão possui que é adequada para fins energéticos é o alto teor de extrativos. Esse componente tem relação direta com o poder calorífico, por isso para geração de energia térmica a utilização de madeiras com elevado conteúdo de extrativos é propício (MENCCELLI et al, 2019).

A madeira de Jamelão apresentou teores de cinzas abaixo de 1%, característica desejável para a produção de carvão vegetal. Em madeiras de eucalipto utilizadas com finalidade energética observa-se que o teor de cinzas, em geral, é inferior a 1% (BARCELLOS et al., 2005). A presença de alto conteúdo de componentes inorgânicos na madeira não é aconselhável na produção de carvão vegetal, pois esses elementos inorgânicos não são degradados durante a pirólise (PEREIRA et al., 2013). Assim, a composição química da madeira de Jamelão é adequada para fins energéticos.

A madeira de Sombreiro apresentou baixo teor de lignina, e alto teor de holocelulose, características favoráveis para a produção de polpa celulósica. Altos valores de holocelulose são desejáveis para a indústria de celulose e papel, por ser a matéria-prima para a obtenção do produto final (BENITES et al., 2018). A madeira de Sombreiro possui baixo teor de lignina total (18,94 a 20,82%) e solúvel (2,17 a 2,30), valores inferiores as madeiras de eucalipto comumente utilizadas para polpa celulósica entre 25 e 30% para lignina total (GOMIDE; COLODETTE, 2007) e 3,5 a 5,0% para lignina solúvel (MOKFIENSKI et al., 2008). O teor de lignina afeta negativamente o rendimento, pois o principal objetivo da polpa kraft é separar as fibras de celulose removendo a lignina, assim menores teores de lignina é vantajoso considerando o setor de celulose (MODES et al., 2019).

Por outro lado, a madeira de Sombreiro também apresentou características desfavoráveis para polpa celulósica, que foram o alto teor de extrativos e cinzas. O teor de extrativos de espécies de eucaliptos utilizadas por empresas brasileiras de polpa celulósica varia de 1,76 a 4,13% (GOMIDE et al., 2005), abaixo dos valores observados no presente estudo para a madeira de Sombreiro que apresentam teores de extrativos entre 5,97 e 7,25%. Madeiras com alto teor de extrativos possuem menor rendimento em polpa e maior potencial para formação de depósitos (pitch) nas máquinas, e dessa forma aumenta o custo de

manutenção e perdas de qualidade do produto (GOMIDE et al., 2005). Na indústria de celulose, o teor de cinzas utilizado varia de 0,2 a 1,1% (FOELKEL, 2011). Os valores obtidos de teor de cinzas para a madeira de Sombreiro foi entre 1,23 a 1,50%, superiores aos observados no setor de celulose. Altos teores de cinzas contribuem para a formação de quelantes, o que reduz a alvura da polpa e aumenta o custo do processo para atingir produto final de qualidade (BENITES et al., 2018).

### 3.4 Propriedades mecânicas

Na Tabela 15 estão apresentados os valores médios, mínimos, máximos e o coeficiente de variação das propriedades mecânicas da madeira de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro em diferentes regiões (externa, intermediária e central).

Na madeira de Jaqueira foi observada diferença significativa entre as regiões na resistência a compressão, no módulo de elasticidade e na resistência ao cisalhamento sendo a região intermediária a mais resistente. A dureza, o módulo de elasticidade e ruptura não apresenta diferença significativa entre as regiões. Observou-se que as faces transversais (dureza paralelo às fibras) foram 24% mais resistentes a dureza do que as faces radiais e tangenciais (dureza perpendicular às fibras).

Na madeira de Jamelão o módulo de elasticidade na compressão e a resistência a dureza paralelo e perpendicular apresentaram diferenças significativas entre as regiões, sendo a externa a de maior resistência. As propriedades mecânicas da madeira de Jamelão apresentaram tendência de aumento dos valores na direção medula-casca. Alguns autores demonstraram aumento dos valores das propriedades mecânicas no sentido medula-casca (SERPA et al., 2003; EVANGELISTA et al., 2010; LIMA; GARCIA, 2011). As peças estruturais oriundas do lenho juvenil apresentam classes de resistência inferiores (VIDAURRE et al., 2012), sendo a madeira adulta mais resistente (GONÇALVES et al., 2009).

As faces transversais da madeira de Jamelão foram 16% mais resistentes à dureza, demonstrado pela maior resistência à dureza paralela comparado com a perpendicular às fibras.

Comportamento semelhante ao observado na madeira de *Eucalyptus benthamii*, fato associado à disposição das fibras no sentido axial, já que é o elemento anatômico responsável pela sustentação e resistência mecânica da madeira (BENIN; WATZLAWICK; HILLIG, 2017).

Tabela 15 - Comparação das propriedades mecânicas da madeira de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro em função da variação radial.

Parâmetros (MPa)	JAQUEIRA					JAMELÃO				SOMBREIRO			
	Região	Média	Mínimo	Máximo	CV (%)	Média	Mínimo	Máximo	CV (%)	Média	Mínimo	Máximo	CV (%)
f <sub>c0</sub>	E	<b>41 b</b>	33	50	12,67	<b>53 a</b>	44	62	8,36	<b>37 a</b>	26	45	16,19
	I	<b>48 a</b>	38	58	12,72	<b>52 a</b>	45	62	10,16	<b>33 a</b>	14	48	28,02
	C	<b>44 b</b>	29	56	15,84	<b>50 a</b>	42	64	12,94	<b>32 a</b>	15	46	28,59
E <sub>c0</sub>	E	<b>5787 b</b>	4315	7279	12,74	<b>7269 a</b>	5979	8916	9,60	<b>5389 a</b>	2870	6793	19,93
	I	<b>6510 a</b>	5182	7799	12,34	<b>7210 ab</b>	7210	8736	12,69	<b>4849 a</b>	1570	7031	33,50
	C	<b>5749 b</b>	3953	7165	17,42	<b>6627 b</b>	6627	8692	16,41	<b>4658 a</b>	1515	7000	36,06
f <sub>v</sub>	E	<b>12 b</b>	7	15	17,28	<b>15 a</b>	12	18	9,26	<b>11 a</b>	6	14	23,36
	I	<b>13 a</b>	5	18	18,56	<b>14 b</b>	11	18	14,03	<b>11 a</b>	6	15	23,46
	C	<b>12 b</b>	8	18	22,49	<b>14 b</b>	9	18	14,80	<b>10 a</b>	6	14	22,86
f <sub>H0</sub>	E	<b>56 a</b>	31	80	18,07	<b>90 a</b>	73	112	10,39	<b>60 a</b>	32	80	20,76
	I	<b>59 a</b>	47	59	10,61	<b>88 ab</b>	67	107	11,32	<b>58 ab</b>	27	83	19,89
	C	<b>57 a</b>	39	71	18,46	<b>85 b</b>	61	147	13,45	<b>54 b</b>	30	84	29,39
f <sub>H90</sub>	E	<b>45 a</b>	19	69	21,48	<b>78 a</b>	54	105	14,08	<b>56 a</b>	22	85	26,23
	I	<b>48 a</b>	32	76	18,43	<b>75 ab</b>	52	106	13,91	<b>55 ab</b>	19	91	25,77
	C	<b>46 a</b>	15	76	24,78	<b>73 b</b>	48	100	14,39	<b>50 b</b>	19	97	36,04
MOE	E	<b>10656 a</b>	7833	12862	13,04	<b>12940 a</b>	10444	15704	12,08	<b>9105 a</b>	4885	114	22,95
	I	<b>11112 a</b>	8574	14175	12,19	<b>12692 a</b>	8473	18051	21,44	<b>7781 a</b>	3353	98	30,18
	C	<b>10288 a</b>	8390	13641	13,36	<b>12462 a</b>	7849	16768	19,38	<b>8006 a</b>	3673	94	30,16
MOR	E	<b>82 a</b>	59	111	16,65	<b>105 a</b>	79	134	15,22	<b>75 a</b>	32	114	25,04
	I	<b>89 a</b>	63	123	15,00	<b>102 a</b>	64	134	20,51	<b>62 a</b>	18	98	38,54
	C	<b>81 a</b>	39	108	19,88	<b>103 a</b>	73	132	16,35	<b>94 a</b>	12	94	33,89

Legenda: E = externa; I = intermediária; C = central; CV = Coeficiente de variação; f<sub>c0</sub> = Resistência a compressão paralela às fibras; E<sub>c0</sub> = Módulo de elasticidade na compressão; f<sub>v</sub> = Resistência ao cisalhamento; f<sub>H0</sub> = Resistência a dureza paralelo às fibras; f<sub>H90</sub> = Resistência a dureza perpendicular às fibras; MOE = Módulo de elasticidade na flexão; MOR = Módulo de ruptura. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Fonte: Do autor (2020).

Na madeira de Sombreiro foi observada maior resistência a dureza na região externa. As demais propriedades mecânicas não apresentaram diferença estatística entre as regiões. Verificou-se que a resistência a dureza nas faces transversais (dureza paralelo às fibras), radiais e tangenciais (dureza perpendicular às fibras) não possuem diferença significativa.

A madeira de Sombreiro dentre as três espécies estudadas foi a que apresentou menores valores de resistência mecânica, uma das características que favorece esse resultado é a grande quantidade de parênquima axial. A extrema abundância de parênquima confere às madeiras geralmente leveza, baixa resistência mecânica e baixa durabilidade natural (CORADIN; CAMARGOS, 2001).

De acordo com as classes de resistência da NBR 7190 (ABNT, 1997), a Jaqueira e o Sombreiro se enquadram na classe C20 e o Jamelão na classe C30.

A madeira de Jaqueira é mecanicamente similar a madeira de Cedrinho (*Erisma uncinatum*), a qual é indicada para construção civil leve externa e leve interna estrutural (IPT, 2009). As propriedades mecânicas da madeira de Jamelão se aproximam ao do Angelim-pedra (*Hymenolobium* spp), espécie indicada para construção civil pesada e leve externa, interna e leve estrutural (IPT, 2013). A madeira de Sombreiro pode ser comparada mecanicamente a do *Pinus elliottii*, a qual de acordo com o IPT (2009) é indicada para construção civil leve interna.

A madeira de Jaqueira, Sombreiro e da região intermediária e central do Jamelão são consideradas de dureza média. A madeira da região externa do Jamelão classificada como dureza alta, segundo a classificação de dureza perpendicular às fibras, sugerida pela Associação Nacional de Pisos de Madeira – ANPM (2015). Ao comparar com espécies brasileiras utilizadas na produção de pisos, a madeira de Jaqueira, Sombreiro e da região intermediária e central do Jamelão quanto à dureza se equiparam ao Cedrinho (*Erisma uncinatum*). A madeira da região externa do Jamelão se assemelha a espécie de Cupiúba (*Goupia glabra*) ANPM (2015).

A madeira de Jamelão possui resistência mecânica e densidade adequada para ser utilizada como moirão, pois atende a exigência mínima da NBR 9480 (ABNT, 2009) que determina a resistência a flexão estática mínima de 52 Mpa e densidade básica da madeira maior ou igual a  $0,540 \text{ g.cm}^{-3}$  para o uso da madeira em forma de moirão.

### 3.5 Correlação das propriedades anatômica, físicas, químicas e mecânicas

Na Tabela 16 estão apresentadas as correlações entre as propriedades anatômicas, físicas, químicas e mecânicas.

Tabela 16 - Correlação das propriedades anatômicas com as propriedades físicas, químicas e mecânicas.

Propriedades		Vasos		Fibras		Raios		
		Frequência	Diâmetro	Comprimento	Lume	Espessura parede	Altura /mm	
Físicas	$\varepsilon_R$	0,55	0,63	0,75*	-0,92*	0,79*	-0,24	0,80*
	$\varepsilon_T$	0,82*	0,21	0,79*	-0,84*	0,82*	-0,03	0,94*
	$R_{vol}$	0,40	0,62	0,54	-0,95*	0,58	-0,47	0,76*
	CA	0,08	-0,96*	-0,31	0,65*	-0,33	0,51	-0,29
	$\rho_{básica}$	0,87*	0,15	0,92*	-0,79*	0,94*	0,07	0,87*
Químicas	E	0,05	-0,51	-0,01	0,35	-0,03	0,27	-0,19
	LI	0,40*	-0,51	0,28	0,53	0,25	0,96*	-0,10
	LS	0,95*	-0,22	0,80*	-0,39	0,80*	0,48	0,74*
	LT	0,51	-0,51	0,38	0,42	0,35	0,96*	0,02
	C	-0,71*	0,52	-0,60	-0,12	-0,56	-0,80*	-0,24
	H	-0,41	0,64	-0,28	-0,52	-0,24	-0,90*	0,09
Mecânicas	$f_{c0}$	0,73*	-0,35	0,68*	0,12	0,65	0,88*	0,29
	$E_{c0}$	0,77*	-0,22	0,76*	0,00	0,73*	0,84*	0,37
	$f_{v0}$	0,72*	-0,30	0,65	0,10	0,66	0,86*	0,35
	$f_{H0}$	0,96*	-0,08	0,95*	-0,47	0,95*	0,51	0,74*
	$f_{H90}$	0,92*	0,11	0,96*	-0,68*	0,99*	0,27	0,84*
	$E_M$	0,75*	-0,37	0,69*	0,13	0,63*	0,90*	0,28
	MOR	0,80*	-0,33	0,74*	0,04	0,70*	0,84*	0,35

Legenda: \*Significativo  $p < 0,05$ .  $\varepsilon_R$  = Contração radial;  $\varepsilon_T$  = Contração tangencial;  $R_{vol}$  = Contração volumétrica; CA = Coeficiente de anisotropia;  $\rho_{básica}$  = Densidade básica; E = Extrativo; LI = Lignina insolúvel; LS = Lignina solúvel; LT = Lignina total; C = Cinzas; H = Holocelulose;  $f_{c0}$  = Resistência a compressão;  $E_{c0}$  = Módulo de elasticidade na compressão;  $f_{v0}$  = Resistência ao cisalhamento;  $f_{H0}$  = Resistência a dureza paralelo às fibras;  $f_{H90}$  = Resistência a dureza perpendicular às fibras;  $E_M$  = Módulo de elasticidade na flexão; MOR = Módulo de ruptura na flexão.

Fonte: Do autor (2020).

Dentre os elementos anatômicos os que apresentaram correlações significativas mais altas com a densidade são o comprimento (0,92), o diâmetro do lume (-0,79) e a espessura da parede das fibras (0,94). A correlação negativa do diâmetro do lume das fibras indica que quanto maior sua magnitude menor será a densidade da madeira. Poubel et al. (2012) também observaram que as dimensões das fibras estão mais correlacionada com a densidade básica do que os demais elementos anatômicos.

O diâmetro do lume das fibras apresentou correlações significativas com todas as contrações (alta e negativa) e com o coeficiente de anisotropia (alta e positiva), são características inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior diâmetro do lume das fibras



menor será a contração, isso é devido à quantidade de espaços vazios que proporcionam menos espaço para adsorção de água e menor variação dimensional. O diâmetro do lume das fibras constituiu o fator mais importante para explicar a estabilidade dimensional das madeiras estudadas que a densidade (ALMEIDA, 2006).

O diâmetro dos vasos possui correlação negativa alta com o coeficiente de anisotropia, assim quanto maiores os diâmetros dos vasos, menor será o coeficiente. Esse fato também foi constatado por Almeida (2006).

Em relação a quantidade de raios por milímetro linear, há correlação forte e positiva com a contração radial (0,80), a tangencial (0,94) e volumétrica (0,76). Segundo Arévalo (2002) os elementos anatômicos mais importantes na estabilidade dimensional do mogno são os vasos e os raios. Uma das teorias segundo Skaar (1988) para a anisotropia transversal são as restrições radiais, em que os tecidos radiais limitam o movimento radial de outras células. Dessa forma, a quantidade de raios é um dos fatores que afeta a contração.

As propriedades mecânicas apresentam associação significativa com muitas características anatômicas, com destaque para as fibras e os vasos. A fibra é considerada a fonte de elasticidade e resistência da madeira (MOREIRA, 1999). As fibras são as estruturas da madeira que mais influenciam nas propriedades mecânicas, predizendo a resistência em função dos testes mecânicos aplicados como dureza, compressão paralela às fibras e cisalhamento (WAHRHAFTIG et al., 2012).

Foi observado na madeira de Jamelão tendência de aumento no sentido da medula-casca para todos os valores de resistência, módulo de elasticidade e ruptura. O que pode ser justificado pelo aumento no sentido da medula-casca do comprimento e da espessura da parede das fibras da madeira de Jamelão, características que apresentaram correlação alta e positiva com as propriedades mecânicas (Tabela 16).

Na madeira de Jaqueira a região intermediária foi a que apresentou o maior valor de resistência a compressão, ao cisalhamento e de módulo de elasticidade na compressão (Tabela 15). Nota-se que na madeira de Jaqueira a região intermediária é a que apresenta maior altura e quantidade de raios por milímetro linear (Tabela 10).

Os raios são elementos anatômicos que influenciam nas propriedades mecânicas da madeira, visto que a altura dos raios possui correlação significativa e alta com a resistência a compressão (0,88), o módulo de elasticidade na compressão (0,84), a resistência ao cisalhamento (0,86), o módulo de elasticidade (0,90) e ruptura na flexão (0,84). A quantidade de raios por milímetro linear possui correlação significativa e alta com a resistência ao cisalhamento paralelo (0,74) e perpendicular (0,84) às fibras.

Na Tabela 17 estão descritas as correlações das propriedades físicas com as propriedades químicas e mecânicas.

Tabela 17 - Correlação das propriedades físicas com as propriedades químicas e mecânicas.

Propriedades	Contração			Coeficiente Anisotropia	Densidade básica	
	Radial	Tangencial	Volumétrica			
Químicas	E	-0,10	-0,03	-0,16	-0,01	-0,03
	LI	0,37	0,82*	0,84*	0,06	0,80*
	LS	0,57	0,59	0,86*	-0,17	0,89*
	LT	0,40	0,81*	0,85*	0,04	0,82*
	C	-0,53	-0,70	-0,93*	0,07	-0,96*
	H	-0,35	-0,77*	-0,77*	-0,04	-0,77*
	$\rho_{básica}$	0,84*	0,92*	0,72*	-0,33	1
Mecânicas	$f_{c0}$	0,52	0,71	0,91*	-0,09	0,85*
	$E_{c0}$	0,17	0,73	0,64	0,20	0,53
	$f_{v0}$	0,69	0,56	0,94*	-0,32	0,80*
	$f_{H0}$	0,65	0,66	0,98*	-0,22	0,93*
	$f_{H90}$	0,63	0,66	0,94*	-0,20	0,92*
	$E_M$	0,59	0,59	0,86*	-0,19	0,90*
	MOR	0,48	0,63	0,83*	-0,06	0,87*

Legenda: \*Significativo  $p < 0,05$ . E = Extrativo; LI = Lignina insolúvel; LS = Lignina solúvel; LT = Lignina total; C = Cinzas; H = Holocelulose;  $f_{c0}$  = Resistência a compressão;  $E_{c0}$  = Módulo de elasticidade na compressão;  $f_{v0}$  = Resistência ao cisalhamento;  $f_{H0}$  = Resistência a dureza paralelo às fibras;  $f_{H90}$  = Resistência a dureza perpendicular às fibras;  $E_M$  = Módulo de elasticidade na flexão; MOR = Módulo de ruptura na flexão.

Fonte: Do autor (2020).

A densidade possui alta correlação com a contração radial (0,84), tangencial (0,92) e volumétrica (0,72). Assim, quanto maior a densidade, maior o valor de contração. Fonte et al. (2017) também observaram para a madeira de *Cryptomeria japônica*, aumento nos valores de contração a medida que a densidade aumenta. Segundo Tsoumis (1991), Vital; Trugilho (1997) a magnitude das variações dimensionais da madeira é normalmente maior para espécies de elevada densidade, em função da maior quantidade de madeira por unidade de volume. Além disso, madeiras de maior densidade, com a mesma umidade, contêm mais água na parede celular, contribuindo para tais variações dimensionais.

A densidade apresentou alta correlação com a resistência a compressão (0,85), ao cisalhamento (0,80), a dureza paralela (0,93) e perpendicular (0,92) às fibras. A densidade influencia diretamente a resistência mecânica da madeira (LOBÃO et al., 2004). A resistência

da madeira varia com a densidade, sendo um fator importante na determinação das propriedades físicas e mecânicas que caracterizam diferentes espécies de madeira (FIELDING, 1967; DE PAULA et. al., 1986).

A contração volumétrica apresentou alta correlação com as propriedades mecânicas (Tabela 17). Gérard et al. (1995) afirmaram que a dureza da madeira está correlacionada com a retratibilidade e com a densidade. Araújo (2007) observou forte correlação entre a dureza e demais propriedades físicas e mecânicas

Na Tabela 18 encontram-se as correlações entre as propriedades químicas e mecânicas. Dentre os componentes químicos a lignina se destaca por apresentar correlação alta e positiva com as propriedades mecânicas da madeira. A lignina se apresenta como o componente mais hidrofóbico da madeira, atuando como material cimentante ou adesivo entre as fibras (PETTERSEN, 1984) além de conferir dureza e rigidez à parede celular (BOWYER et al., 2007).

Tabela 18 - Correlação das propriedades químicas e mecânicas.

	Extrativo	Lignina Insolúvel	Lignina Solúvel	Lignina Total	Cinzas	Holocelulose
$f_{c0}$	-0,24	0,84*	0,92*	0,86*	-0,93*	-0,76*
$E_{c0}$	-0,42	0,71	0,70	0,72	-0,70	-0,61
$f_{v0}$	-0,33	0,80*	0,80*	0,81*	-0,84*	-0,70
$f_{H0}$	-0,19	0,87*	0,93*	0,89*	-0,95*	-0,81*
$f_{H90}$	-0,08	0,92*	0,96*	0,94*	-0,91*	-0,87*
$E_M$	0,01	0,81*	0,99*	0,84*	-0,92*	-0,79*
MOR	-0,22	0,75	0,98*	0,79*	-0,94*	-0,69

Legenda: \*Significativo  $p < 0,05$ .  $f_{c0}$  = Resistência a compressão;  $E_{c0}$  = Módulo de elasticidade na compressão;  $f_{v0}$  = Resistência ao cisalhamento;  $f_{H0}$  = Resistência a dureza paralelo às fibras;  $f_{H90}$  = Resistência a dureza perpendicular às fibras;  $E_M$  = Módulo de elasticidade na flexão; MOR = Módulo de ruptura na flexão.

Fonte: Do autor (2020).

#### 4 CONCLUSÕES

Foi observado que existe diferença nas propriedades da madeira no sentido medula-casca. Contudo, não existe um padrão para todas as espécies, o comportamento varia para cada espécie. Assim, é importante conhecer as propriedades da madeira de cada espécie e saber de qual região da árvore a madeira é oriunda, visto que isso influencia nas propriedades e conseqüentemente no uso final.

Considerando as propriedades físicas, as madeiras das três espécies estudadas possuem potencial para utilização no setor moveleiro. Ao levar em consideração as características químicas, a madeira de Jaqueira possui maior durabilidade na região central e a madeira de Jamelão tem propriedades químicas adequadas pra uso energético. Em relação às propriedades mecânicas as três espécies estudadas apresentam dureza satisfatória para confecção de pisos. A madeira de Jamelão possui resistência mecânica apropriada para ser empregada como moirão e em uso estrutural.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. S.; LANINI, T. L. S.; CAETANO, J. A.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Evaluation of Stiffness in compression perpendicular to grain of Brazilian tropical wood species. **Current Journal of Applied Science and Technology**, v. 28, n. 5, p. 1-7, 2018.

ALMEIDA G. **Influence de la structure du bois sur ses propriétés physico-mécaniques à des teneurs en humidité élevées**. Tese (Programme de sciences du bois) - Université Laval , Québec, 2006.

ARAÚJO, H. J. B. Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. **Floresta**. v.37, n.3, 2007.

ARÉVALO RL. **Influence des composantes secondaires et de la structure anatomique sur les propriétés physicomécaniques du bois d'acajou**. (*Swietenia macrophylla* King) Tese (Programme de sciences du bois) - Université Laval , Québec, 2002.

ALVES, M. C. D. S.; SANTIAGO, L. F. F.; GONÇALVES, M. T. T.; ALARELLI, I. D. D.; VARASQUIM, F. M. F. D. A. Effect of belt speed, pressure and grit size on the sanding of *Pinus elliottii* wood, **Cerne**, v. 21, n. 1, p. 45-50, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. D1105-96: **Standard test method for preparation of extractivefree wood**. Philadelphia: ASTM, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D-143 – **Standard methods of testing small clear specimens of timber**, Philadelphia, USA, 32 p., 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM E1755-01: **Standard test method for determination of ash in biomass**. Pennsylvania: ASTM, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 7190 – **Projeto de Estruturas de Madeira** – São Paulo, 1997. 107p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 9480: **peças roliças preservadas de eucalipto para construções rurais - Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT; 2009. 12 p.

- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PRODUTORES DE PISOS DE MADEIRA - ANPM. **Pisos de madeira: características de espécies brasileiras**. Piracicaba: ANPM, 2015. 184p.
- BARBOSA, L. C. A.; MALTHA, C. R. A.; CRUZ, M. P. Composição química de extrativos lipofílicos e polares de madeira de *Eucalyptus grandis*. **Ciência & Engenharia**, v. 15, n. 2, p. 13-20, 2005.
- BENDTSEN, B. A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. **Forest Products Journal**. v. 28, n.10, p. 61-71. 1978.
- BENIN, C. C.; WATZLAWICK, L. F.; HILLIG, É. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus benthamii* sob efeito do espaçamento de plantio. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1375-1384, 2017.
- BENITES, P. K. R. M.; DA SILVA LOPES, A.; GOUVÊA, A. D. F. G.; DA SILVA, F. C.; DE SOUZA, C. C. B. Caracterização tecnológica da madeira de híbridos de eucalipto irrigados e fertirrigados. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 4, p. 1716-1728, 2018.
- BARCELLOS, D. C.; COUTO, L. C.; MULLER, M. D.; AND COUTO, L. The state of the art of eucalypt timber quality for energy production: a focus on silvicultural treatments. **Biomassa & Energia**, v. 2, n.2, p. 141-158, 2005.
- BARETTA-KUIPERS, T. Wood anatomy of Leguminosae: its relevance to taxonomy. **Advances in legume systematics**, 1981.
- BOWYER, J. L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J. G. **Forest products and wood science: an introduction**. Ames-Iowa. Blackwell Publishing. 558p. 2007.
- CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 2003. 255 p.
- CORADIN, V. T. R. **Normas de procedimentos em estudos de anatomia de madeira: I. Angiospermae. II. Gimnospermae**. IBAMA, Laboratório de Produtos Florestais, 1991.
- CORADIN, V.T.R.; CAMARGOS, J.A.A. **Noções sobre anatomia da madeira e identificação anatômica**. Brasília, IBAMA, 2001. 43 p.
- CHOONG, E. T.; FOGG, P. J.; SHOULDERS, E.. Effect of cultural treatment and wood-type on some physical properties of longleaf and slash pine wood. **Wood and fiber science**, v. 21, n. 2, p. 193-206, 2007.
- DE PAULA, E.V.C.M et al. Propriedades mecânicas de trinta e nove espécies de madeiras no Amazonas. **In..ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA**, v. 2, 1986.
- DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C. **Tecnologia da madeira: retratibilidade**. Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1992. 33p. (Série Técnica, 10).

EVANGELISTA, W. V.; DE CASTRO SILVA, J.; DELLA LUCIA, R. M., LOBO, L. M.; DE SOUZA, M. O. A. Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla* ST Blake no sentido radial e longitudinal. **Revista Ciência da Madeira**, v. 1, n. 2, p. 10-12953/2177-6830. 2010.

FIELDING, J.M. The influence of silvicultural practices on wood properties. **In.. INTERNATIONAL REVIEW OF FORESTRY RESEARCH**, v.2, 1967.

FOELKEL, C. Os eucaliptos e os elementos não processuais na fabricação de celulose Kraft. 122 p. 2011. Disponível em: <http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT24 ElementosNproces.pdf> Acessado em 09 de junho de 2020.

FONTE, A. P. N.; TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; DOS ANJOS, R. A. M. Propriedades físicas e químicas da madeira de cerne e alburno de *Cryptomeria japonica*. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 16, n. 3, p. 277-285, 2017.

FLORSHEIM, S. M. B., COUTO, H. T. Z., LIMA, I. L., & LONGUI, E. L. Variação nas dimensões dos elementos anatômicos da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos sete anos de idade. **Revista do Instituto Florestal**, v. 21, n. 1, p. 79-91, 2009.

GÉRARD, J. BAILLÈRES, H.; FOURNIER, M., THIBAUT, B. Qualité du bois chez les *Eucalyptus* de plantation. Etude de variation de trois propriétés de référence. **Bois et Forêts des Tropiques**, Nancy, n. 245, p. 101–111, 1995.

GHOFRANI, M.; MIRKHANDOUZI, F. Z.; ASHORI, A. Effects of extractives removal on the performance of clear varnish coatings on boards. **Journal of Composite Materials**, v. 50, n. 21, p. 3019-3024, 2016.

GOLDSCHIMID, O. **Ultraviolet spectra**. In: Sarkanen, K. V.; Ludwig, C. H. (Eds) *Lignins*. New York: Wiley Interscience, 1971. p. 241-266.

GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C. D.; SILVA, C. M. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, v. 29, n. 1, p. 129-137, 2005.

GOMIDE JL, COLODETTE JL. **Qualidade da madeira**. Biotecnologia florestal. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, p. 25-54, 2007.

GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J. T. D. S.; LUCIA, R. M. D.; SARTÓRIO, R. C. Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 33, n. 3, p. 501-509, 2009.

HILLIS WE. Distribution, Properties and Formation of Some Wood Extractives. **Wood Science and Technology**. 5: 272-289. 1971.

HSING, T. Y.; PAULA, N. F. D.; PAULA, R. C. D. Características dendrométricas, químicas e densidade básica da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, p. 273-283, 2016.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 10, n. 3, p. 221-332, 1989.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT **Fichas de Características das Madeiras Brasileiras**. 2a ed. São Paulo: IPT, 1989. 418p. (publicação IPT N° 1791).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT **Madeira: uso sustentável na construção civil**. São Paulo: IPT, 2009. 103p. (publicação IPT N° 3010).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT **Catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil**. São Paulo: IPT, 2013. 104p. (publicação IPT N° 4371).

JESUS, D. S. de; SILVA, J. S. Variação radial de propriedades anatômicas e físicas da madeira de eucalipto. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 37, n. 1, p. 26476, 2020.

KIM, N. T.; OCHIISHI, M.; MATSUMURA, J.; ODA, K. Variation in wood properties of six natural acacia hybrid clones in northern Vietnam. **Journal of Wood Science**, v. 54, n. 6, pp. 436-442, 2008.

LIMA, I. L. de; GARCIA, J. N. Efeito da fertilização em propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 3, p. 601-608, 2011.

LOBÃO, M. S.; DELLA LÚCIA, R. M.; MOREIRA, M. S. S.; GOMES, A. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. **Revista Árvore**, v.28, n.6, p.889-894, 2004.

LOPES, C. S. D.; NOLASCO, A. M.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C. T. D. S.; PANSINI, A. Estudo da massa específica básica e da variação dimensional da madeira de três espécies de eucalipto para a indústria moveleira. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 2, p. 315-322, 2011.

MENEGAZZO, M. L. **Características morfológicas de celulosas branqueadas de *Pinus* e *Eucalyptus* em analisador óptico automático de fibras**. 2012. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2012.

MENUCELLI, J. R.; AMORIM, E. P.; FREITAS, M. L. M.; ZANATA, M.; CAMBUIM, J.; DE MORAES, M. L. T.; YAMAJI, F.M.; SILVA JÚNIOR, F.G.; LONGUI, E. L. *Eucalyptus pellita* and *Eucalyptus tereticornis* wood as raw materials for bioenergy based on higher heating value. **BioEnergy Research**, v. 12, n. 4, p. 992-999, 2019.

MODES, K. S.; LUDWIG, R. L.; VIVIAN, M. A.; STOLBERG, J. Wood quality of *Pinus patula* schltl & cham for the pulp production. **Revista Árvore**, v. 43, n. 2, 2019.

MOREIRA, W. S. Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira. **Imprensa Universitária UFV, VIÇOSA - MG**, p. 1-106, 1999.

MOKFIENSKI, A.; COLODETTE, J. L.; GOMIDE, J. L.; CARVALHO, A. M. M. L. A importância relativa da densidade da madeira e do teor de carboidratos no rendimento de polpa e na qualidade do produto. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 3, p. 401-413, 2008.

OLIVEIRA, J.T.S; SILVA, J.C.R. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, v.27, n.3, p.381-385, 2003.

PALMA, H. A. L.; BALLARIN, A. W. Propriedades de contração na madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Scientia Forestali**, (64), p. 13-22. 2003.

PEREIRA, B. L. C.; CARNEIRO, A. D. C. O.; CARVALHO, A. M. M. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, A. C.; FONTES, M. P. F. Influence of chemical composition of Eucalyptus wood on gravimetric yield and charcoal properties. **BioResources**, v. 8, n. 3, p. 4574-4592, 2013.

PAULA, J. E. de; ALVES, J. L. H. Estrutura anatômica de madeiras indígenas para produção de energia e papel. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 24, n. 12, p. 1461-1471, 1989.

PETTERSEN, R. C. Chemical composition of wood. In: ROWELL, R. (Ed.). The chemistry of solid wood. Washington: **American Chemical Society**, 1984. p. 54-126.

POUBEL, D. D. S.; GARCIA, R. A.; LATORRACA, J. V. D. F.; CARVALHO, A. M. D. Estrutura anatômica e propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 2, p. 117-126, 2012.

SAFFIAN, H. A.; TAHIR, P. M.; HARUN, J.; JAWAID, M.; HAKEEM, K. R. Influence of planting density on the fiber morphology and chemical composition of a new latex-timber clone tree of rubberwood (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Bioresources**, v. 9, n. 2, p. 2593-2608, 2014.

SANTOS, R. C. D.; CARNEIRO, A. D. C. O.; VITAL, B. R.; CASTRO, R. V. O.; VIDAURRE, G. B.; TRUGILHO, P. F.; CASTRO, A. F. N. M Influência das propriedades químicas e da relação siringil/guaiacil da madeira de eucalipto na produção de carvão vegetal. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 657-669, 2016.

SERPA, P. N., VITAL, B. R., DELLA LUCIA, R. M., & PIMENTA, A. S. Avaliação de algumas propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, v.27, n.5, p.723-733, 2003.

SETTE JR, C. R.; OLIVEIRA, I. R. D.; TOMAZELLO FILHO, M.; YAMAJI, F. M.; LACLAU, J. P. (2012). Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 36, n. 6, p. 1183-1190, 2012.

SHEBANI, A. N.; REENEN, A. J. V.; MEINCKEN, M. The effect of wood extractives on the thermal stability of different wood species. **Thermochimica Acta**, v. 471, n. 12, pp. 43-50, 2008.

SHESHMANI, S. Effects of extractives on some properties of bagasse/high density polypropylene composite. **Carbohydrate Polymers**, v. 94, n. 1, pp. 416-419, 2013.



SHIMOYAMA, V. R. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* spp.** 1990. 93f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1990.

SINGH, M. K.; SHARMA, C. L.; SHARMA, M. Comparative Wood Anatomy of Four Artocarpus Species of North East India with Reference to Their Identification. **Wood is Good**. Springer, Singapore, p. 73-81, 2017.

SKAAR, C. **Wood-water relations**. New York, Spring-Verlag. In: The Chemistry of Solid Wood. American Chemical Society Washington DC. p.127-72. 1988.

SOARES, A. K., LOURENÇON, T. V., DELUCIS, R. D. A., & GATTO, D. A. Composição química e estabilidade dimensional da madeira de três eucaliptos. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 23, n. 4, 2018.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus globulus*, *E. pellita* e *E. acmenoides*. **Revista IPEF**, n.36, p.35-42, 1987.

TREVISAN, R.; ROSA, M.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; 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.

TRIANOSKI R. **Avaliação da qualidade da madeira de espécies de *Pinus* tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Curitiba: UFPR. 554p. 2012.

TSOUMIS, G. **Science and Technology of wood. Structure, Properties, Utilization**. Van Nostrand Reinhold. Nova Iorque, 94p.1991.

VALENTE, B.M.D.R.T.; EVANGELISTA, W.V.; SILVA, J.D.C.; LUCIA, R.M.D. Variabilidade radial e longitudinal das propriedades físicas e anatômicas da madeira de angico-vermelho. **Scientia Forestalis**. 41(100):485-96. 2013.

VIDAURRE, G. B.; LOMBARDI, L. R.; OLIVEIRA, J. T. D. S.; ARANTES, M. D. C. Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 4, p. 469-480, 2012.

VIDAURRE, G. B.; VITAL, B. R.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, A. D. C.; SILVA, J. G. M. D.; MOULIN, J. C.; SORANSO, D. R. Anatomical and chemical properties of juvenile *Schizolobium amazonicum* wood. **Revista Árvore**, v. 42, n. 3, 2018a.

VIDAURRE, G. B.; VITAL, B. R.; OLIVEIRA, A. D. C.; OLIVEIRA, J. T. D. S.; MOULIN, J. C.; SILVA, J. G. M. D.; SORANSO, D. R. Physical and mechanical properties of juvenile *Schizolobium amazonicum* wood. **Revista Árvore**, v. 42, n. 1, 2018b.

VITAL BR, TRUGILHO PF. Variação dimensional e uso da madeira de *Eucalyptus*. **Informe Agropecuário**. v. 18, n. 186, p. 57-61. 1997.

WAHRHAFTIG, A de. M.; CESAR, S. F.; OLIVEIRA, E. N. **Considerações Iniciais**

**Comprimidas da fluência em peças de madeira.** Politécnica (Instituto Politécnico da Bahia), v. 15E, p. 10-15, 2012.

WANGKHEM, M.; SHARMA, M.; SHARMA, C. L. Comparative wood anatomical properties of genus *Syzygium* (Family Myrtaceae) from Manipur, India. **Indonesian Journal of Forestry Research**, v. 7, n. 1, p. 27-42, 2020.

### **CAPÍTULO 3: EFEITO DAS PROPRIEDADES ANATÔMICAS, FÍSICAS E QUÍMICAS NA SECAGEM DA MADEIRA DE ESPÉCIES EXÓTICAS INVASORAS E ELABORAÇÃO DE PROGRAMA DE SECAGEM**

#### **RESUMO**

O objetivo deste estudo foi avaliar a influencia das propriedades anatômicas, físicas e químicas no processo de secagem e elaborar programa de secagem para as espécies exóticas invasoras. Foram utilizadas dez árvores para cada espécie de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro. Em cada árvore foram retiradas tábuas, de cada região, de acordo com a posição medula-casca (externa, intermediária e central). De cada tábua foram retirados seis corpos-de-prova para determinação da densidade básica, umidade e secagem drástica a 100°C. Foi gerado o total de 540 corpos-de-prova para as três espécies. Os corpos-de-prova foram imersos em água e com auxílio de bomba de vácuo foram saturados. Foram determinadas a umidade e a densidade básica. Foi realizada a secagem drástica e obtidas as taxas, os tempos de secagem e os índices de rachaduras. A partir desses dados foram calculados os seguintes parâmetros de secagem, temperatura inicial, temperatura final e potencial de secagem para desenvolvimento dos programas de secagem por espécie. Foi feita a análise de correlação entre as propriedades anatômicas, físicas e químicas e as taxas, os tempos de secagem e a umidade e notou-se que a altura dos raios, os teores de ligninas insolúveis e totais apresentaram relação inversamente proporcional com o tempo de secagem. O diâmetro do lume das fibras possui relação inversamente proporcional com o tempo de secagem da água de adsorção. A umidade, os teores de cinzas e de holocelulose têm correlação significativa e positiva com o tempo de secagem. Os teores de extrativos possuem relação direta com a taxa de secagem da madeira. Foi observado que a madeira do alburno apresentou redução de até 25% no tempo de secagem, e acréscimo de até 47% na taxa de secagem, em comparação com a madeira do cerne. As espécies possuem baixa tendência a empenamentos e moderada incidência de rachaduras de topo e superfície e não apresentam colapso. As madeiras de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro, podem ser agrupadas em único programa de secagem.

**Palavras-chave:** Secagem drástica. Propriedades tecnológicas. Madeira. Espécies invasoras.

## ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the influence of anatomical, physical and chemical properties on the drying process and to develop a drying schedule for invasive species. Ten trees were used for each species Jackfruit, Java plum and Sombreiro. In each tree, boards were produced from each region, according to the core-bark position (external, intermediate and central). From each board, six specimens were produced to determine the basic density, moisture and drastic drying. A total of 540 specimens were produced for the three species. The specimens were immerse in water and with the aid of a vacuum pump were saturated. Moisture content and basic density were determined. Drastic drying was carried out and the rates, drying times and crack rates were obtained. From these data, the following drying parameters, initial temperature, final temperature and drying potential for the development of drying schedule for species were calculated. A correlation was made between anatomical, physical and chemical properties and rates, drying times and moisture. The anatomical, physical and chemical properties of wood influence the drying process. The height of the rays, the levels of insoluble and total lignins showed an inversely proportional relationship with the drying time. The width of the lumen diameter of the fibers is inversely proportional to the drying time of the adsorption water. Volumetric contraction, moisture content, ash content and holocellulose have a significant and positive correlation with drying time. The anisotropy coefficient and extractive content are directly related to the drying rate of the wood. It has been observed that the sapwood showed a reduction of up to 25% in the drying time, and an increase of up to 47% in the drying rate, in comparison with the heartwood. The species have a low tendency to warp and a moderate incidence of top and surface cracks and do not collapse. The Jackfruit, Java plum and Sombreiro woods can be grouped in a single drying schedule.

**Keywords:** Drastic drying. Technological properties. Wood. Invasive species.

## 1 INTRODUÇÃO

A secagem da madeira é uma etapa de importância na indústria madeireira. As vantagens de realizar a secagem são a diminuição do ataque de fungos e agentes xilófagos, o aumento da resistência mecânica, a redução das alterações dimensionais, a melhora da impregnação da madeira por vernizes, cola e substâncias preservantes.

Apesar das vantagens e agregação de valor à madeira, a secagem ainda é uma etapa crítica no setor madeireiro, pois algumas espécies não apresentam programa próprio de secagem. No carregamento das estufas de secagem é recomendável que seja feita espécie por espécie e peças de mesma espessura e qualidade para uniformizar o período de secagem e minimizar os defeitos (HILDEBRAND, 1970; GALVÃO E JANKOWSKY, 1985).

Quando os procedimentos adequados de secagem não são seguidos, há alta incidência de defeitos da madeira e por consequência prejuízos financeiros.

Os programas de secagem são os responsáveis para contribuir com a redução dos índices de defeitos. É preciso elaborar um programa para cada espécie devido à madeira ser um material heterogêneo, e cada espécie possuir características distintas. Em alguns casos é possível agrupar espécies com características similares. Porém, para ter essa conclusão é essencial conhecer as propriedades da madeira e elaborar experimentalmente em laboratório o programa de secagem.

A primeira metodologia utilizada para elaboração do programa de secagem era a de tentativa e erro, a qual era lenta e os programas de secagem já existentes poderiam não ser indicados para espécies pouco conhecidas. Atualmente há a metodologia de secagem drástica, a qual consiste em utilizar pequenos corpos-de-prova para determinar os parâmetros de secagem. Essa metodologia vem sendo pesquisada e aprimorada ao longo dos anos e obtendo resultados satisfatórios de forma mais rápida.

Assim, o objetivo do estudo foi analisar a influência das propriedades anatômicas, físicas e químicas no processo de secagem e elaborar programa de secagem para as três espécies exóticas invasoras.

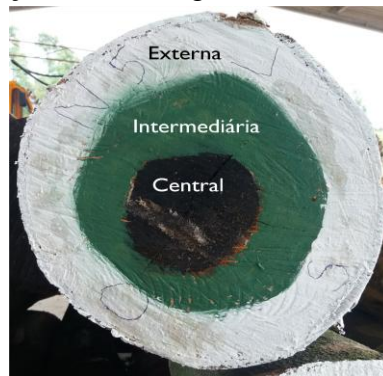
## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Confeção dos corpos-de-prova

Foram utilizadas dez árvores de cada espécie de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro. De cada árvore foram retiradas três tábuas uma de cada região, externa, intermediária e central no sentido medula-casca (Figura 19).

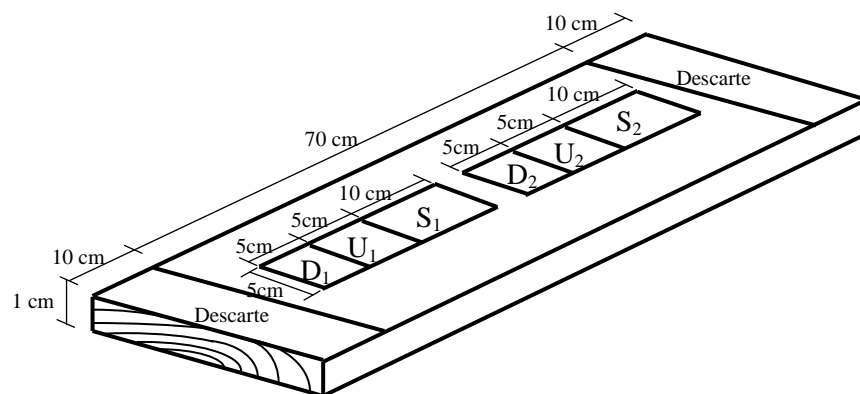
Em cada tábua foram retirados seis corpos-de-prova para determinação da densidade básica, umidade e secagem drástica, conforme Figura 20. Para as três espécies foram gerados o total de 540 corpos-de-prova.

Figura 19 - Demarcação das três regiões radiais de amostragem.



Fonte: Do autor (2020).

Figura 20. Confeções dos corpos-de-prova para secagem drástica.



Em que: D – corpo-de-prova para determinação da densidade básica (5 x 5 x 1 cm); U – corpo-de-prova para determinação da umidade (5 x 5 x 1 cm); S - corpo-de-prova para secagem a 100°C (10 x 5 x 1 cm).

Fonte: Do autor (2020).

Após a confecção dos corpos-de-prova, os mesmos foram submersos em água e com auxílio de bomba de vácuo foram saturados.

Para a determinação da umidade inicial e dessa forma poder estimar a perda de umidade ao longo da secagem drástica, foi utilizado o método gravimétrico, em que o corpo-de-prova é seco em estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  até massa constante.

Para a determinação da densidade básica foi empregado o método da balança hidrostática segundo a norma NBR 11941 (ABNT, 2003).

## 2.2 Elaboração do programa de secagem pelo método de secagem drástica

Primeiro foi necessário estimar a massa e a umidade a 30% e a 5% de cada corpo-de-prova, por meio da interpolação dos dados de umidade determinados anteriormente. Posteriormente, os corpos-de-prova de cada espécie foram secos a  $100^\circ\text{C}$  em estufa, até atingirem 5% de umidade. Foram pesadas em balança com precisão de 0,01 g as massas dos corpos-de-prova durante o processo de secagem com os seguintes intervalos de tempo, segundo metodologia utilizada por Soares (2015): de 30 em 30 min até atingir 30% de umidade; a cada 60 min entre as umidades de 30 e 15%; e no intervalo de 15% até 5% de umidade a medição foi realizada a cada 120 min. Após a secagem foram obtidas as variáveis descritas na Tabela 19 para a determinação do programa de secagem.

Tabela 19 - Variáveis para o programa de secagem.

Variável	Descrição	Umidade	Unidade
$U_i$	Umidade inicial	Saturado	%
$T_{5\%}$	Tempo de secagem até 5% de umidade	$U_i$ a 5%	h
$T_{30\%}$	Tempo de secagem até 30% de umidade	$U_i$ a 30%	h
$T_{30\% \rightarrow 5\%}$	Tempo de secagem de 30% a 5% de umidade	30% a 5%	h
$TS_{5\%}$	Taxas de secagem até 5% de umidade	$U_i$ a 5%	$\text{g.cm}^2.\text{h}^{-1}$
$TS_{30\%}$	Taxas de secagem até 30% de umidade	$U_i$ a 30%	$\text{g.cm}^2.\text{h}^{-1}$
$TS_{30\% \rightarrow 5\%}$	Taxas de secagem de 30% a 5% de umidade	30% a 5%	$\text{g.cm}^2.\text{h}^{-1}$
$R_{5\%}$	Rachaduras de topo até 5% de umidade	$U_i$ a 5%	escore*
$R_{30\%}$	Rachaduras de topo até 30% de umidade	$U_i$ a 30%	escore*
$R_{30\% \rightarrow 5\%}$	Rachaduras de topo de 30% a 5% de umidade	30% a 5%	escore*

\*avaliado por escore conforme Tabela 21.

Fonte: Adaptado de Ciniglio (1998).

As taxas de secagem foram calculadas de acordo com as Equações 11, 12 e 13.

$$TS_{5\%} = \frac{m_i - m_{5\%}}{T_{5\%} \cdot 100} \quad (11)$$

$$TS_{30\%} = \frac{m_i - m_{30\%}}{T_{30\%} \cdot 100} \quad (12)$$

$$TS_{30\% \rightarrow 5\%} = \frac{m_{30\%} - m_{5\%}}{T_{30\% \rightarrow 5\%} \cdot 100} \quad (13)$$

Em que:  $TS_{5\%}$  = taxa de secagem da umidade inicial até 5% ( $\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$ );  $m_i$  = massa inicial (g);  $m_{5\%}$  = massa do corpo-de-prova a 5% de umidade (g);  $T_{5\%}$  = tempo de secagem da umidade inicial até 5% (h); 100 = área superficial do corpo-de-prova ( $\text{cm}^2$ );  $TS_{30\%}$  = taxa de secagem da umidade inicial até 30% ( $\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$ );  $m_{30\%}$  = massa do corpo-de-prova a 30% de umidade (g);  $T_{30\%}$  = tempo de secagem da umidade inicial até 30% (h);  $TS_{30\% \rightarrow 5\%}$  = taxa de secagem de 30 a 5% de umidade ( $\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$ );  $T_{30\% \rightarrow 5\%}$  = tempo de secagem de 30 a 5% de umidade (h).

Para a determinação dos parâmetros do programa de secagem como a temperatura inicial ( $T_i$ ) a temperatura final ( $T_f$ ) e o potencial de secagem (PS) foram utilizadas as equações apresentadas na Tabela 20, de acordo com a metodologia descrita por Ciniglio (1998).

Tabela 20 - Equações para determinação dos parâmetros do programa de secagem.

Parâmetro	Equação
$T_i =$	$27,9049 + 0,7881 T_{30\%} + 419,0254 TS_{5\%} + 1,9483 R_{30\%}$
$T_f =$	$49,2292 + 1,1834 T_{30\%} + 273,8685 TS_{30\%} + 1,0754 R_{5\%}$
$PS =$	$1,4586 - 30,4418 TS_{30\% \rightarrow 5\%} + 42,9653 TS_{5\%} + 0,1424 R_{30\% \rightarrow 5\%}$

Legenda:  $TS_{30\%}$  = taxa de secagem da umidade inicial até 30% ( $\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$ );  $TS_{30\% \rightarrow 5\%}$  = taxa de secagem de 30 a 5% de umidade ( $\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$ );  $TS_{5\%}$  = taxa de secagem da umidade inicial até 5% ( $\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$ );  $T_{30\%}$  = tempo de secagem da umidade inicial até 30% (h);  $R_{5\%}$  = Rachaduras de topo até 5% de umidade;  $R_{30\%}$  = Rachaduras de topo até 30% de umidade;  $R_{30\% \rightarrow 5\%}$  = Rachaduras de topo de 30% a 5% de umidade.

Fonte: Ciniglio (1998).

Após a obtenção dos parâmetros de secagem foi elaborado o programa de secagem para cada espécie com auxílio das cartas psicrométricas.



### 2.3 Determinação dos defeitos de secagem pelo método de secagem drástica

Durante a secagem drástica foi feita a análise da ocorrência de defeitos de rachaduras de topo e de superfície decorrentes do processo de secagem. As quais foram medidas a cada duas horas, até as amostras atingirem 5% de umidade.

As rachaduras foram quantificadas por meio do paquímetro digital, sendo considerada a maior intensidade dos defeitos. A partir desses dados os mesmos foram transformados em escores e analisados conforme Tabela 21.

Tabela 21 - Escores atribuídos para as rachaduras de topo e superfície decorrentes do processo de secagem.

Escore	Rachadura de topo	Rachadura de superfície
1	Ausente	Ausente
2	$CR < 5,0$ e $LR < 0,5$	$CR < 25$ e $LR < 0,25$
3	$CR > 5,0$ e $LR < 0,5$	$CR < 50$ e $LR < 0,5$
4	$CR < 5,0$ e $0,5 < LR < 1,0$	$CR < 75$ e $LR < 1,0$
5	$CR > 5,0$ e $0,5 < LR < 1,0$	$CR > 75$ e $LR > 1,0$
6	$CR > 5,0$ e $LR > 1,0$	-----

Legenda: CR = comprimento da rachadura (mm); LR = largura da rachadura (mm).

Fonte: Ciniglio (1998).

### 2.4 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa R CoreTeam 3.4.3. A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk e a homogeneidade pelo testes de Barlett e Levene, ambos a 5% de significância.

Após as variáveis atenderem os pressupostos foi realizada a análise de variância, a mesma foi aplicada para avaliar o efeito do tempo de secagem, taxa de secagem, umidade inicial, rachaduras e densidade básica nas diferentes regiões radiais (externa, intermediária e central). Quando houve diferença significativa foi aplicado o teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ ) a fim de determinar as diferenças entre as médias dos tratamentos.

Foi analisado o grau de correlação entre o tempo, a taxa de secagem, a umidade e as propriedades anatômicas, físicas e químicas. Para a análise de correlação foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson. O grau de correlação foi determinado de acordo com os critérios descritos por Callegari- Jacques (2003), em que prevê, em módulo, as seguintes condições: fraca correlação (baixa) para  $0 < r < 0,30$ ; moderada correlação para

$0,30 \leq r < 0,60$ ; correlação alta (forte) para  $0,60 \leq r < 0,9$ ; correlação muito forte para  $r \geq 0,90$  e correlação perfeita para  $r = 1,00$ .

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Avaliação da densidade básica, umidade, tempo, taxa de secagem e rachaduras

Na Tabela 22 estão apresentadas as médias de densidade básica e umidade inicial, nas regiões externa, intermediária e central para as três espécies.

Tabela 22 - Média da densidade básica e umidade inicial nas regiões externa, intermediária e central das madeiras de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro.

Espécie	Região	Densidade básica (g.cm <sup>3</sup> )	Umidade inicial (%)
Jaqueira	Externa	0,481 <b>a</b>	100,28 <b>a</b>
	Intermediária	0,456 <b>ab</b>	96,90 <b>a</b>
	Central	0,450 <b>b</b>	90,22 <b>a</b>
Jamelão	Externa	0,645 <b>a</b>	89,02 <b>a</b>
	Intermediária	0,641 <b>a</b>	89,62 <b>a</b>
	Central	0,639 <b>a</b>	90,76 <b>a</b>
Sombreiro	Externa	0,545 <b>a</b>	128,47 <b>a</b>
	Intermediária	0,532 <b>a</b>	128,19 <b>a</b>
	Central	0,504 <b>a</b>	134,97 <b>a</b>

Legenda: Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Fonte: Do autor (2020).

A madeira de Jaqueira possui menor densidade na região central, apresentando aumento de densidade no sentido medula-casca. A densidade básica nas madeiras de Jamelão e Sombreiro não possuem diferença estatística entre as regiões. As umidades iniciais nas diferentes regiões são estatisticamente iguais, para as três espécies.

A densidade da madeira está diretamente relacionada com a movimentação da água, maior densidade dificulta a saída da água dessas madeiras (ANDRADE, 2000). Para Hart (1965), o tempo de secagem da umidade superficial é diretamente proporcional à densidade e, na difusão da umidade do interior da madeira até sua superfície, é diretamente proporcional ao quadrado da densidade. Contudo, para o presente estudo não foi encontrada relação entre a densidade básica e as variáveis da secagem. Barbosa et al. (2005) também observaram que a densidade básica, individualmente, não explicou a taxa de secagem e a presença de defeitos para madeiras de clones de *Eucalyptus*, e que madeiras de mesma densidade básica foram

agrupados em diferentes programas de secagem. A densidade básica não deve ser usada isoladamente como parâmetro na indicação de programa de secagem e no agrupamento de espécies para secagem (ANDRADE; JANKOWSKY; DUCATTI, 2001).

Na Tabela 23 estão descritos as médias do tempo e da taxa de secagem e dos índices de rachaduras em escore.

Tabela 23 - Médias do tempo, taxa de secagem e rachaduras em cada região radial para as madeiras de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro.

Espécie	Região	Tempo de secagem (h)			Taxa de secagem (g.cm <sup>-2</sup> .h)			Rachaduras (escore)		
		T <sub>5%</sub>	T <sub>30%</sub>	T <sub>30% →5%</sub>	TS <sub>5%</sub>	TS <sub>30%</sub>	TS <sub>30% →5%</sub>	R <sub>5%</sub>	R <sub>30%</sub>	R <sub>30% →5%</sub>
Jaqueira	E	6,2 a	3,32 a	2,87 b	0,041 a	0,057 a	0,025 a	2,1 a	4,2 a	1,8 a
	I	6,8 a	3,42 a	3,37 ab	0,035 b	0,049 b	0,020 ab	2,0 a	3,5 b	1,6 ab
	C	6,8 a	2,97 a	3,85 a	0,031 b	0,050 ab	0,017 b	1,9 a	3,2 b	1,4 b
Jamelão	E	7,1 b	3,62 b	3,42 b	0,040 a	0,054 a	0,025 a	3,0 a	3,4 a	2,5 a
	I	8,9 a	4,4 a	4,45 a	0,034 b	0,046 b	0,019 b	2,7 ab	3,2 a	2,5 a
	C	8,6 a	4,15 ab	4,45 a	0,034 b	0,050 ab	0,019 b	2,2 b	2,9 b	2,2 a
Sombreiro	E	10,0 a	5,72 b	4,3 a	0,039 a	0,053 a	0,019 a	2,1 a	3,2 a	1,85 a
	I	11,4 a	6,55 ab	4,9 a	0,034 a	0,046 a	0,017 a	1,9 a	3,3 a	1,66 a
	C	12,2 a	7,44 a	4,7 a	0,034 a	0,044 a	0,018 a	1,5 a	2,9 a	1,4 a

Legenda: E = externo; I = intermediário; C = central. T<sub>5%</sub> = Tempo de secagem até 5% de umidade; T<sub>30%</sub> = Tempo de secagem até 30% de umidade; T<sub>30% →5%</sub> = Tempo de secagem de 30% a 5% de umidade; TS<sub>5%</sub> = Taxas de secagem até 5% de umidade; TS<sub>30%</sub> = Taxas de secagem até 30% de umidade; TS<sub>30% →5%</sub> = Taxas de secagem de 30% a 5% de umidade; R<sub>5%</sub> = Rachaduras de topo até 5% de umidade; R<sub>30%</sub> = Rachaduras de topo até 30% de umidade; R<sub>30% →5%</sub> = Rachaduras de topo de 30% a 5% de umidade. Médias seguidas de letras distintas na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Fonte: Do autor (2020).

O tempo de secagem da umidade inicial até 5% de umidade (T<sub>5%</sub>) representa o tempo para a saída da água livre e de adsorção. Na madeira de Jamelão a região externa apresentou menor tempo de secagem, com diminuição de 17% comparado com a região central. Nas demais espécies não houve diferença do T<sub>5%</sub> entre as regiões.

O tempo de secagem da umidade inicial até 30% de umidade (T<sub>30%</sub>) constitui o tempo que leva para a água livre ser retirada da madeira. Nas madeiras de Jamelão e Sombreiro o menor T<sub>30%</sub> foi observado na região externa, observou-se redução de 13 e 23% do T<sub>30%</sub>,

respectivamente para as madeiras de Jamelão e Sombreiro em comparação com a região central.

O tempo de secagem de 30% até 5% de umidade ( $T_{30\% \rightarrow 5\%}$ ) representa o tempo que a água de adsorção leva para sair da madeira. Na madeira de Jaqueira e Jamelão o menor  $T_{30\% \rightarrow 5\%}$  foi observado na região externa, com 25% (Jaqueira) e 23% (Jamelão) de diminuição do  $T_{30\% \rightarrow 5\%}$  em relação à região central. A madeira de Jaqueira apresentou decréscimo do  $T_{30\% \rightarrow 5\%}$  na direção medula-casca.

A madeira de Sombreiro foi a única que não possui diferença significativa da taxa de secagem entre as regiões estudadas. Nas madeiras de Jaqueira e Jamelão a taxa de secagem em todas as umidades foram maiores na região externa.

A taxa de secagem da umidade inicial até 5% de umidade ( $TS_{5\%}$ ) na região externa foi 32 e 18% maior do que na região central, respectivamente para as madeiras de Jaqueira e Jamelão. Enquanto que a taxa de secagem da umidade inicial até 30% de umidade ( $TS_{30\%}$ ) foi 14% (Jaqueira) e 8% (Jamelão) mais elevado na região externa comparativamente com a região central. A taxa de secagem de 30% até 5% de umidade ( $TS_{30\% \rightarrow 5\%}$ ) na região externa aumentou 47 e 32%, respectivamente para a madeira de Jaqueira e Jamelão em comparação com a região central.

A taxa de secagem possui relação inversa com o tempo de secagem, ou seja, quanto maior a taxa de secagem, menor será o tempo de secagem. Portanto, com os resultados obtidos observou-se que nas espécies de Jaqueira e Jamelão a madeira retirada do alburno (região externa) possui maior facilidade na secagem.

Siau (1971) apresenta valores de proporção do fluxo entre alburno e cerne de 34:1 para a espécie *Pseudotsuga* sp., de 10:1 na *Tsuga* sp. e de 6:1 na *Thuja* sp.. Em estudos com *Eucalyptus grandis* e *Corymbia citriodora*, Silva et al. (2010) encontraram valores de permeabilidade maior no alburno.

As rachaduras ocasionadas entre 30 a 5% de umidade ( $R_{30\% \rightarrow 5\%}$ ) na madeira de Jaqueira, entre a umidade inicial e 5% ( $R_{5\%}$ ) na madeira de Jamelão e entre a umidade inicial e 30% ( $R_{30\%}$ ) em ambas as espécies foram maiores na região externa. A madeira de Sombreiro não apresentou diferença estatística nos índices de rachaduras entre as regiões.

A maior ocorrência de rachaduras na região externa pode ser atribuída à maior quantidade de raios por milímetro linear na madeira de Jamelão nessa região. As rachaduras ocorrem, geralmente, no sentido dos raios (TSOUMIS, 1968). A madeira de Jaqueira possui os raios mais largos com 4 a 10 células, segundo Marques (2008) madeira com raios mais

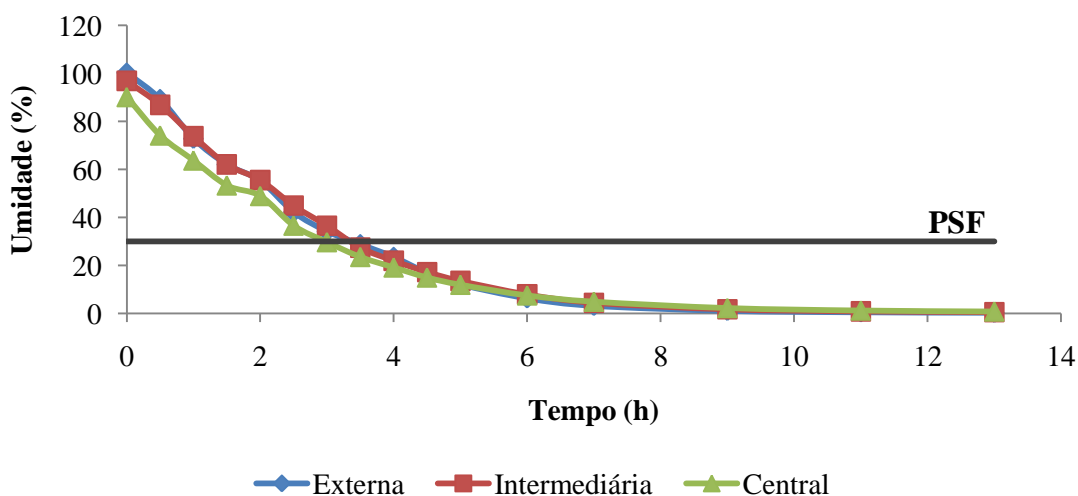
largos necessitam de cuidados especiais, durante os estágios iniciais da secagem, para evitar a ocorrência de rachaduras superficiais, de topo e ou internas (MARQUES, 2008).

A ocorrência de rachaduras durante o processo de secagem das madeiras foi maior da umidade inicial até 30% de umidade. A incidência de rachaduras geralmente ocorre no início da secagem, acima do Ponto de Saturação das Fibras (aproximadamente 30% de umidade), pois as camadas mais externas das peças encontram-se tensionadas, devido à secagem da superfície, ocasionando rupturas nos elementos anatômicos (SIMPSON, 1991). As rachaduras que ocorreram da umidade de 30% a 5% em geral foram de menor incidência. Isso se deve a reversão das tensões de secagem nas mudanças de fases. Pequenas rachaduras que surgiram no início da secagem drástica, quando as amostras estavam sob tração, nas camadas externas, deixaram de ser visíveis quando a madeira atinge 5% de umidade (SANCHEZ, 2017).

Nas Figuras 21, 22 e 23 estão apresentadas as curvas de secagem nas regiões externa, intermediária e central para as madeiras das espécies de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro, respectivamente.

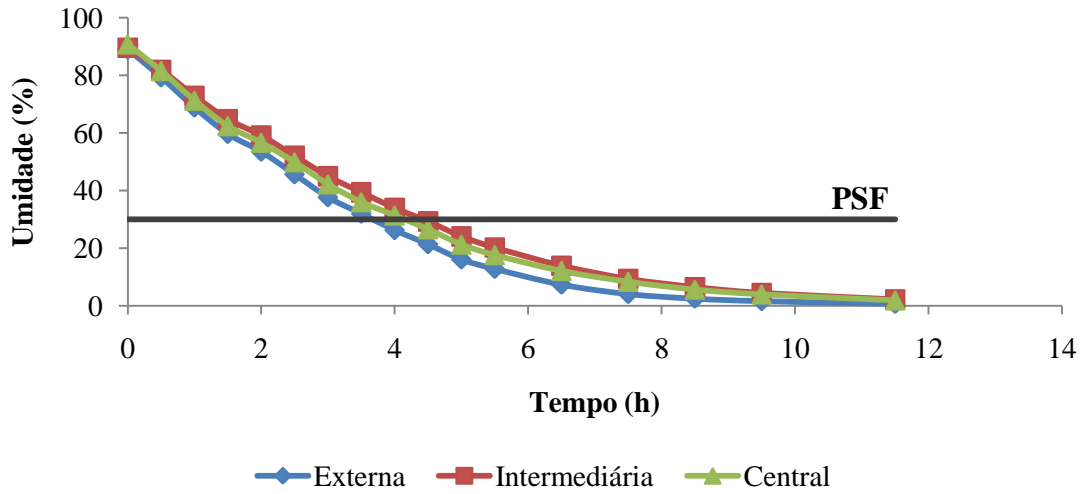
Observa-se nas curvas de secagem (Figuras 21, 22 e 23) que até o Ponto de Saturação das Fibras (PSF), com umidade de aproximadamente 30%, a secagem foi mais rápida, pois é a fase de saída de água livre. Pelas curvas de secagem e fato também comprovado estatisticamente (Tabela 23) verifica-se que as madeiras oriundas da região externa apresentaram maior facilidade para serem secas.

Figura 21 - Curva de secagem nas regiões externa, intermediária e central da madeira de Jaqueira.



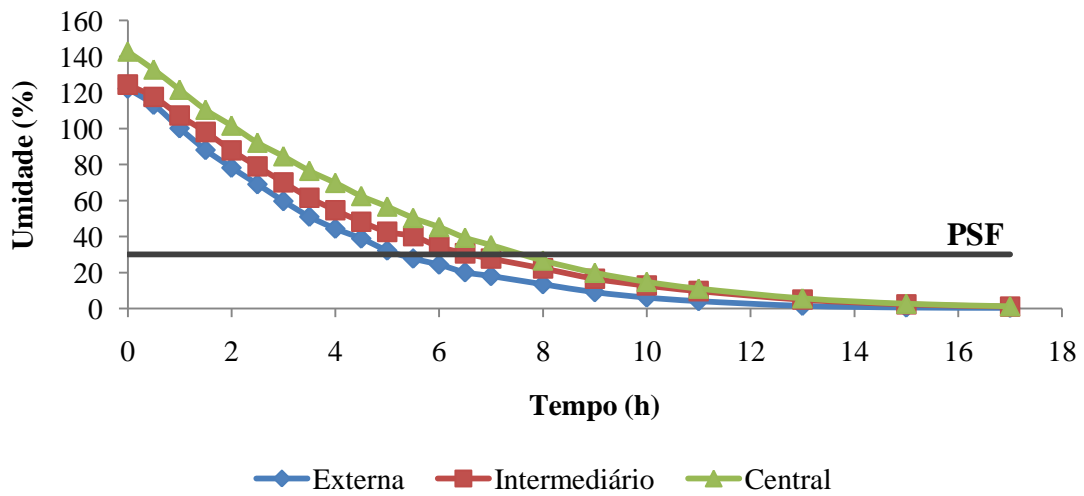
Fonte: Do autor (2020).

Figura 22 - Curva de secagem nas regiões externa, intermediária e central da madeira de Jamelão.



Fonte: Do autor (2020).

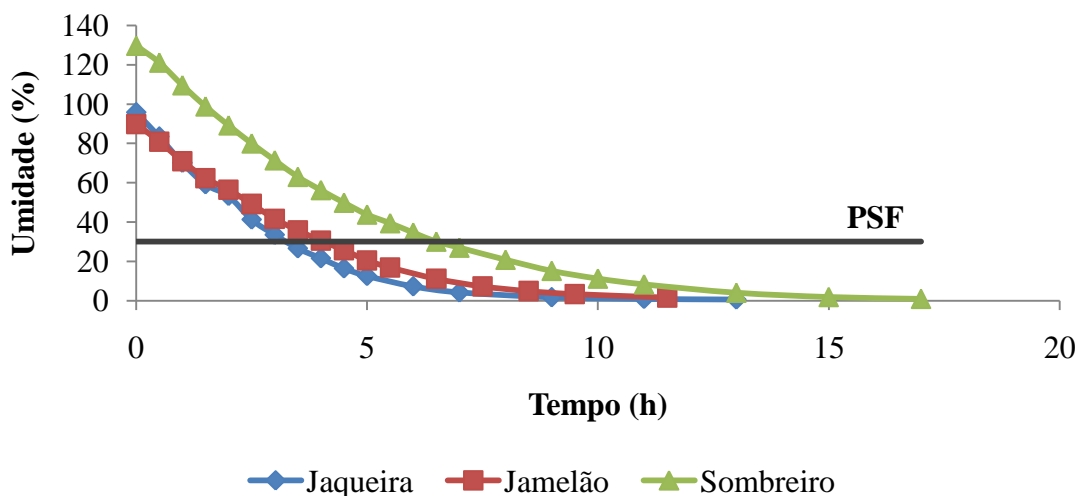
Figura 23 - Curva de secagem nas regiões externa, intermediária e central da madeira de Sombreiro.



Fonte: Do autor (2020).

Na Figura 24 encontra-se a comparação das curvas de secagem das três espécies. Nota-se que o Sombreiro apresentou maior umidade inicial e maior tempo de secagem. A madeira de Jaqueira e Jamelão apresentaram comportamento semelhante no processo de secagem, contudo a madeira de Jaqueira atinge os 5% de umidade em menor tempo.

Figura 24 - Curva de secagem das madeiras de Jaqueira Jamelão e Sombreiro.



Fonte: Do autor (2020).

### 3.2 Correlação entre tempo, taxa de secagem e as propriedades anatômicas, físicas e químicas da madeira

A Correlação entre o tempo e a taxa de secagem e as propriedades anatômicas, físicas e químicas da madeira está apresentada na Tabela 24.

Em relação às propriedades anatômicas foi observado que o diâmetro do lume possui correlação significativa e negativa com o tempo de secagem de 30% a 5% de umidade, ou seja, na saída da água de adsorção. A altura dos raios apresenta correlação significativa e negativa com todos os tempos de secagem e com a umidade.

O aumento da dimensão das fibras favorece a secagem, principalmente, a saída da água líquida e gasosa até a umidade de equilíbrio da madeira (MONTEIRO et al, 2017). O diâmetro do lume da fibra tem relação com o volume para armazenar água no estado líquido e gasoso no interior da célula (MONTEIRO, 2014). Quanto maior o volume, maior será o fluxo das águas pelos pares de pontuações das fibras (SIAU, 1971) e por difusão pela parede celular (KOLLMANN; CÔTÉ JR., 1968). Quanto maior o diâmetro do lume, menor será a área para reter água adsorvida na parede celular.

Na madeira de Jamelão o diâmetro do lume da fibra e a altura dos raios são maiores na região externa, possibilitando menores tempos de secagem nessa região. Os raios mais largos (4-10 células) da madeira de Sombreiro na região externa possuem maior altura, proporcionando menor tempo de secagem da umidade inicial até 30% de umidade ( $T_{30\%}$ ). O aumento das dimensões dos raios, principalmente, a sua altura tende a aumentar o fluxo das águas na madeira (MONTEIRO et al., 2017).

Na direção transversal, o raio ou parênquima radial possui importância na movimentação dos fluidos (ESTEBAN et al., 2003). Estas estruturas auxiliam na saída da água, conforme relatado por Ahmed e Chun (2011) que encontraram efeito significativo da altura do raio no fluxo de solução de safranina na madeira de *Tectona grandis*. Células parenquimáticas radiais interferem, principalmente, no fluxo das direções radial e tangencial. Além disso, os raios possuem pontoações que se ligam aos elementos vasculares (pontoações raio-vasculares) e outras estruturas. Estas pontoações presentes nos raios auxiliam na movimentação transversal da água (KEDROV, 2012).

Os vasos são a principal estrutura responsável pela movimentação de líquidos e gases na madeira das folhosas (SIAU, 1971; KEDROV, 2012; ENGELUND et al., 2013). Apesar dessa afirmação de diversos autores, não foram encontrados correlações entre os vasos e as variáveis de secagem nesse estudo. Esse fato pode ser explicado devido ao corpo-de-prova ser tangencial, tendo maior área na face radial e predominância da secagem nesse sentido. A menor área do corpo-de-prova é na face transversal. Em madeiras de *Corymbia citriodora* o movimento de água livre na direção axial (saída de água na face transversal) foi duas vezes maior que na radial e três vezes maior do que na tangencial, enquanto que para a água adsorvida o movimento na direção axial foi duas vezes maior que na transversal (MONTEIRO et al, 2020). Os elementos vasculares são os principais responsáveis pela movimentação da água na direção axial (SIAU, 1971). Enquanto os raios auxiliam na movimentação transversal da água, por isso no presente estudo houve correlação da altura dos raios no tempo de secagem da madeira.

A umidade se correlaciona significativamente e positivamente com o tempo de secagem da umidade inicial a 30 e 5% de umidade ( $T_{30\% \rightarrow 5\%}$ ). Maior umidade inicial na madeira torna a secagem da madeira mais lenta (REZENDE, 2009). Este fato foi evidenciado na curva de secagem das três espécies (Figura 24), em que a madeira do Sombreiro apresenta maior umidade inicial e conseqüentemente maior tempo de secagem, comparando com as demais espécies.

A taxa de secagem da umidade inicial a 5% de umidade ( $TS_{5\%}$ ) apresentou correlação significativa e negativa com o coeficiente de anisotropia. A região central da madeira de Jamelão apresentou maior coeficiente de anisotropia, e as madeiras de Jaqueira e Sombreiro possuem tendência de maior índice na mesma região, proporcionando menor  $TS_{5\%}$  na região central.



Tabela 24 - Correlação entre o tempo e a taxa de secagem e as propriedades anatômicas, físicas e químicas da madeira.

Propriedades	Tempo de secagem			Taxa de secagem			Umidade	
	T <sub>5%</sub>	T <sub>30%</sub>	T <sub>30%→5%</sub>	TS <sub>5%</sub>	TS <sub>30%</sub>	TS <sub>30%→5%</sub>		
Anatômicas	FV	-0,22	-0,33	0,05	-0,03	0,02	0,24	-0,66
	DV	0,44	0,54	0,13	0,60	0,05	0,27	0,57
	CF	-0,18	-0,26	0,03	0,24	0,18	0,35	-0,53
	DF	-0,64	-0,58	-0,68*	-0,09	0,30	0,11	-0,29
	EP	-0,10	-0,19	0,10	0,20	0,10	0,31	-0,48
	AR	-0,87*	-0,90*	-0,68*	0,02	0,32	0,45	-0,94*
	R/mm	0,32	0,24	0,40	-0,01	-0,29	0,11	-0,14
Físicas	$\epsilon_R$	0,44	0,40	0,43	0,28	-0,17	0,15	0,12
	$\epsilon_T$	0,31	0,23	0,41	0,08	-0,21	0,12	-0,14
	C <sub>vol</sub>	0,67*	0,65	0,61	0,18	-0,33	-0,03	0,37
	CA	-0,51	-0,57	-0,30	-0,46*	0,07	-0,13	-0,51
	$\rho_{básica}$	0,13	0,04	0,30	0,17	-0,02	0,20	-0,28
	U	0,83*	0,91*	0,54	0,04	-0,35	-0,39	1,00
Químicas	E	-0,19	-0,31	0,12	-0,69*	-0,29	-0,54	-0,35
	LI	-0,93*	-0,94*	-0,75*	0,11	0,46	0,49	-0,91*
	LS	-0,29	-0,36	-0,09	0,14	0,18	0,39	-0,63
	LT	-0,90*	-0,92*	-0,70	0,12	0,45	0,51	-0,93*
	C	0,71*	0,81*	0,39	0,06	-0,32	-0,34	0,94*
	H	0,81*	0,88*	0,52	0,22	-0,23	-0,16	0,90*

Legenda: \*Significativo  $p < 0,05$ . FV = Frequencia de vasos; DV = Diâmetro de vasos; CF = Comprimento de fibras; DF = Diâmetro do lume da fibra; EP = Espessura da parede das fibras; AR = Altura dos raios; R/mm = Raios por milímetro linear;  $\epsilon_R$  = Contração radial;  $\epsilon_T$  = Contração tangencial; C<sub>vol</sub> = Contração volumétrica; CA = Coeficiente de anisotropia;  $\rho_{básica}$  = Densidade básica; E = Extrativo; LI = Lignina insolúvel; LS = Lignina solúvel; LT = Lignina total; C = Cinzas; H = Holocelulose.

Fonte: Do autor (2020).

Em relação às propriedades químicas o teor de extrativos possui correlação significativa e negativa com a taxa de secagem da umidade inicial até a umidade de 5%. A madeira de Jaqueira apresentou maiores teores de extrativos na região central, favorecendo a diminuição da TS<sub>5%</sub>. Milota et al. (1995) e Silva (2007) relataram que o conteúdo de extrativos indica que possivelmente haverá barreira à passagem de fluidos, principalmente dos cerne. O extrativo também pode ser de natureza higroscópica, ocorrendo como redução no fluxo de água (WANGAARD; GRANADOS, 1967).

As ligninas insolúveis e totais apresentam correlação significativa e negativa com o tempo de secagem e com a umidade. A lignina insolúvel e total nas madeiras de Jamelão e

Sombreiro apesar de não ter diferença estatística apresentam tendência de teores maiores na região externa, e por consequência menor tempo de secagem foi observado nessa região.

De acordo com Choong (1969), o fato dos extrativos e da lignina se relacionar com as fibrilas de celulose reduz os espaços para água, pois aumentam os teores de moléculas fenólicas, contribuindo para prever o comportamento da madeira durante a secagem. Fato comprovado pela correlação significativa e negativa entre as ligninas solúveis e totais e a umidade.

As cinzas e holocelulose têm relação diretamente proporcional com  $T_{5\%}$  e  $T_{30\%}$ . Nas madeiras de Jamelão e Sombreiro foram observados tendência de maiores teores na região central, o que confere maior tempo de secagem. As cinzas e holocelulose possuem correlação significativa e positiva com a umidade.

### 3.3 Programa de secagem

Os parâmetros para o programa de secagem determinados a partir das Equações descritas na Tabela 20 estão apresentados na Tabela 25 para as três espécies. A madeira de Jaqueira possui a menor temperatura inicial ( $48,9^{\circ}\text{C}$ ) e a maior foi observada na madeira de Sombreiro ( $50,7^{\circ}\text{C}$ ). A temperatura final variou de  $69,3$  a  $71,3^{\circ}\text{C}$  para as três espécies. O potencial de secagem variou de 2,46 a 2,52. Observa-se que a pequena diferença apresentada nos parâmetros para o programa de secagem entre as madeiras de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro, é irrelevante industrialmente, tornando os valores análogos.

Tabela 25 - Parâmetros de secagem para as três espécies estudadas,

Espécie	Temperatura inicial ( $^{\circ}\text{C}$ )	Temperatura final ( $^{\circ}\text{C}$ )	Potencial de secagem
Jaqueira	48,9	69,3	2,52
Jamelão	49,4	69,5	2,46
Sombreiro	50,7	71,3	2,52

Fonte: Do autor (2020).

A temperatura inicial e final para o programa de secagem das madeiras de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro é maior do que a indicada para madeiras do gênero *Eucalyptus* que é entre  $41,8 - 44,7^{\circ}\text{C}$  e  $65,9 - 68,8^{\circ}\text{C}$ , respectivamente (BARBOSA et al., 2005). As madeiras das espécies estudadas apresentam potencial de secagem maior (2,46 - 2,52) em comparação as madeiras de *Eucalyptus* (2,02 - 2,44) analisadas por Barbosa et al. (2005).

O programa de secagem para madeiras de *Eucalyptus* são mais lentos que os programas de secagem das madeiras das espécies estudadas. Devido à madeira de *Eucalyptus*

ser conhecida, de forma geral, como de difícil secagem (SIMPSON, 1996; MARTINS et al., 2001; SANTOS, 2002). Assim, surgem defeitos de secagem, como rachaduras, empenamento, dentre outros, por isso é necessário programa de secagem mais suave. Nesse sentido, a obtenção de temperaturas inicial e final e potencial de secagem maior do que no gênero *Eucalyptus* é um parâmetro positivo, indicando que as espécies estudadas possuem condições mais favoráveis a secagem.

Os programas de secagens elaborados para as três espécies estão apresentados na Tabela 26 para a Jaqueira, na Tabela 27 para o Jamelão e na Tabela 28 para as madeiras de Sombreiro.

Tabela 26 - Programa de secagem desenvolvido para a madeira de Jaqueira.

<b>Etapas</b>	<b>TBS (°C)</b>	<b>TBU (°C)</b>	<b>UR (%)</b>	<b>UE (%)</b>	<b>PS (Un.)</b>
Aquecimento	49,0	48,5	97	23,0	-
Ui a 40%	49,0	46,0	84	15,9	2,52
40% a 35%	49,0	45,0	79	13,9	2,52
35% a 30%	49,0	43,5	72	11,9	2,52
30% a 25%	54,0	46,0	62	9,9	2,52
25% a 20%	59,0	48,0	53	7,9	2,52
20% a 15%	64,0	48,0	41	5,9	2,52
15% a 10%	69,0	45,0	27	3,9	2,52
Uniformização	69,0	60,0	61	10,0	-
Condicionamento	69,0	65,5	83	12,0	-

Legenda: TBS = Temperatura de bulbo seco (°C); TBU = Temperatura de bulbo úmido (°C); UR = Umidade Relativa (%); UE = Umidade de equilíbrio (%); PS = Potencial de secagem.

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 27 - Programa de secagem desenvolvido para a madeira de Jamelão.

<b>Etapas</b>	<b>TBS (°C)</b>	<b>TBU (°C)</b>	<b>UR (%)</b>	<b>UE (%)</b>	<b>PS (Un.)</b>
Aquecimento	49,0	48,5	97	23,0	2,46
Ui a 40%	49,0	46,0	84	16,2	2,46
40% a 35%	49,0	45,0	79	14,2	2,46
35% a 30%	49,0	43,5	72	12,2	2,46
30% a 25%	54,0	46,0	61	10,1	2,46
25% a 20%	60,0	50,0	53	8,1	2,46
20% a 15%	65,0	50,0	37	6,1	2,46
15% a 10%	70,0	50,0	22	4,1	2,46
Uniformização	70,0	59,0	59	8,0	-
Condicionamento	70,0	66,5	83	14,0	-

Legenda: TBS = Temperatura de bulbo seco (°C); TBU = Temperatura de bulbo úmido (°C); UR = Umidade Relativa (%); UE = Umidade de equilíbrio (%); PS = Potencial de secagem.

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 28 - Programa de secagem desenvolvido para a madeira de Sombreiro.

<b>Etapas</b>	<b>TBS (°C)</b>	<b>TBU (°C)</b>	<b>UR (%)</b>	<b>UE (%)</b>	<b>PS (Un.)</b>
Aquecimento	51,0	50,5	97	22,8	-
Ui a 40%	51,0	48,0	84	16,0	2,52
40% a 35%	51,0	47,0	79	13,9	2,52
35% a 30%	51,0	45,0	70	11,9	2,52
30% a 25%	56,0	49,0	66	9,9	2,52
25% a 20%	61,0	50,0	54	7,9	2,52
20% a 15%	66,0	50,0	43	5,9	2,52
15% a 10%	71,0	47,0	27	3,9	2,52
Uniformização	71,0	60,2	59,6	8,0	-
Condicionamento	71,0	67,5	83,4	14,0	-

Legenda: TBS = Temperatura de bulbo seco (°C); TBU = Temperatura de bulbo úmido (°C); UR = Umidade Relativa (%); UE = Umidade de equilíbrio (%); PS = Potencial de secagem.

Fonte: Do autor (2020).

Observa-se que ao apresentar parâmetros para o programa de secagem com valores próximos para as três espécies, em decorrência os programas de secagem elaborados para as madeiras de Jaqueira, de Jamelão e de Sombreiro mostraram-se semelhantes. Assim, pode-se realizar a secagem dessas três madeiras de forma agrupada. Ao realizar o agrupamento de espécies deve-se seguir aquela com a secagem mais lenta conforme mencionado por Assis (2018) em estudo realizado para madeiras da espécie *Toona ciliata*, cedro australiano. Assim o programa de secagem comum para as três espécies deve adotar os parâmetros obtidos para a madeira de Jaqueira.

#### 4 CONCLUSÕES

As madeiras do alburno apresentaram redução de até 25% no tempo de secagem, e acréscimo de até 47% na taxa de secagem, em comparação com as madeiras do cerne.

As espécies são de fácil secagem, possuem baixa tendência a empenamentos e moderada incidência de rachaduras de topo e superfície e não apresentaram colapso.

As madeiras de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro, podem ser agrupadas em único programa de secagem.

A altura dos raios, os teores de ligninas insolúveis e totais apresentaram relação inversamente proporcional com o tempo de secagem. O diâmetro do lume das fibras possui relação inversamente proporcional com o tempo de secagem da água de adsorção. A umidade, os teores de cinzas e de holocelulose têm correlação significativa e positiva com o tempo de secagem. Os teores de extrativos possuem relação direta com a taxa de secagem da madeira.

## REFERÊNCIAS

- AHMED, S. A.; HONG, S. D.; CHUN, S. K. Essential oil penetration depth in *Prunussargentii* Rehder. **Journal of the Korea Furniture Society**, Seoul, v. 18, n. 4, p. 307-311, 2007.
- ANDRADE, A. **Indicação de programas de secagem convencional de madeiras**. 72 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- ANDRADE, A.; JANKOWSKY, I. P.; DUCATTI, M. A. Grupamento de madeiras para secagem convencional. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 59, p. 89-99, 2001.
- ASSIS, J. P. de. **Metodologia da secagem drástica aplicada ao desenvolvimento de programas de secagem da madeira juvenil de clones de *Toona ciliata***. 61 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia da Madeira) Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 11941 – **Madeira – Determinação da densidade básica**– Rio de Janeiro, 2003. 6 p.
- CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 2003. 255 p.
- CHOONG, E. T. Effect of extractives on shrinkage and other hygroscopic of tem southern pine woods. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 1, n. 2, p. 124-133, 1969.
- BARBOSA, C. G.; LIMA, J. T.; ROSADO, S. C. S.; TRUGILHO, P. F. Elaboração de programa de secagem para madeiras de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. **Cerne**. Lavras, v. 11, n. 1, p. 40-48, 2005.
- CINIGLIO, G. **Avaliação da secagem de madeira serrada de *E. grandis* e *E. urophylla***. 1998. 69 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.
- ENGELUND, E. T.; HYGESSEN, L. G.; SVENSSON, S.; HILL, C. A.. A critical discussion of the physics of wood–water interactions. **Wood Science and Technology**, New York, v. 47, p. 141–161, 2013.
- ESTEBAN, L. G.; Casasús, A. G.; Oramas, C.; Palacios, P. La madera y su anatomía. **Madri: AMVE Ediciones**, 2003.
- GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985.
- HART, C. A. **The drying of wood**. Raleigh: North Caroline Agricultural Extension Service, 1965. 24p. (Extension Circular, 471).
- HILDEBRAND, R. **Kiln drying of sawn timber**. Berlin: Maschinenbau GmbH, 1970. 198p.

KEDROV, G. B. Functioning wood. **Wulfenia**. v. 19, p. 57–95, 2012.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ, W. A. **Principles of wood science and technology: I**, solid wood. New York: Springer, 1968. v. 1, 592 p.

MARQUES, M. H. B. **Agrupamento de 41 espécies da Amazônia para secagem baseado em características anatômicas e físicas**. 2008. 125 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

MARTINS, V. A.; GOUVEIA, F. N.; MARTINEZ, S. Secagem convencional de madeira de eucalipto parte I : *Eucalyptus cloeziana* F. Muell, *E. grandis* Hil Ex Maiden e *E. pilularis* Sm. **Brasil Florestal**, 70, p. 42-47, 2001.

MILOTA, M. R.; TSCHERNITZ, J. L.; VERRIL, S. P.; MIANOWSKI, T. Gas permeability of plantation Loblolly pine. **Wood Fiber Science**, Madison, v. 27, n. 1, p. 34-40, 1995.

MONTEIRO, T. C. **Efeito da anatomia no fluxo da água em madeira de *Eucalyptus* e *Corymbia***. 130 f. Tese (Doutorado em Tecnologia da Madeira)–Universidade Federal de Lavras. Lavras. 2014.

MONTEIRO, T. C.; Lima, J. T.; Hein, P. R. G.; da Silva, J. R. M.; Trugilho, P. F.; Andrade, H. B.. Efeito dos elementos anatômicos da madeira na secagem das toras de *Eucalyptus* e *Corymbia*. **Scientia Forestalis**, v. 45, p. 493-505, 2017.

MONTEIRO, T. C.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M.; REZENDE, R. N.; KLITZKE, R. J. Water flow in different directions in *Corymbia citriodora* wood. **Maderas. Ciencia y tecnología**, 2020.

REZENDE, R. N. **Secagem de Toras de Clones de *Eucalyptus* Empregados na Produção de Carvão**. 178p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia da Madeira) Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2009.

SÁNCHEZ, J. Y. C. S. **Extensometria aplicada à determinação das deformações resultantes das tensões de secagem em madeira de *Corymbia citriodora***. 56 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia da Madeira) Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2017.

SANTOS, G. R. V. dos. **Otimização da secagem da madeira de *Eucalyptus grandis* (Hillex Maiden)**. 69 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2002.

SIAU, J. F. **Flow in wood**. Syracuse: Syracuse University, 1971. 245 p.

SILVA, M. R. **Determinação da permeabilidade em madeiras brasileiras de florestas plantadas**. 2007. 120 p. Dissertação (Mestrado em Ciências de Engenharia de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

SILVA, M. R. et al. Permeability measurements of Brazilian *Eucalyptus*. **Materials Research**, São Carlos, v. 13, p. 281-286, 2010.

SIMPSON, W. T. **Dry kiln operator's manual**. Madison: USDA, 1991. 274 p. (USDA. Agriculture Handbook, 188).

SIMPSON, W. T. **Method to estimate dry-kiln schedules and species groupings: tropical and temperate hardwoods**. Madison: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1996. 55 p.

SOARES, B. C. D . **Desenvolvimento de programas de secagem para as madeiras juvenil e adulta de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana***. 54 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

TSOUMIS, G. **Wood as raw material: source, structure, chemical composition, growth, degradation and identification**. Michigan: Pergamon, 1968. 297 p.

WANGAARD, F. F.; GRANADOS, L. A. The effect of extractives on water-vapor sorption by wood. **Wood Science & Technology**, Berlin, v. 1, p. 253-277, 1967.

## CAPÍTULO 4: QUALIDADE DA SUPERFÍCIE USINADA DAS MADEIRAS DE ESPÉCIES EXÓTICAS INVASORAS

### RESUMO

O objetivo do estudo foi avaliar a qualidade da superfície da madeira de espécies exóticas invasoras da Mata Atlântica, e as interações entre os fatores de processamento com as propriedades da madeira. A fim de analisar o potencial destas como matéria-prima para confecção de móveis. Foram utilizadas sete árvores das espécies Jaqueira, Jamelão e Sombreiro, os corpos-de-prova foram classificados em três regiões (externa, intermediária e central), de acordo com o sentido medula-casca. Para qualificação da superfície da madeira, utilizaram-se os métodos de avaliação visual, de análise microscópica e do rugosímetro de arraste. Na qualificação visual três avaliadores previamente treinados, atribuíram notas de 1 (superfície de melhor qualidade, isenta de defeitos) a 5 (pior qualidade da superfície, maior grau de defeitos) para diferentes operações de usinagem. Foram avaliadas três operações de usinagem, o aplainamento (com velocidade de avanço de 6 e 15 m\*min<sup>-1</sup>), a moldura (no topo e axial), a fresagem axial sinuosa (no início e final do processamento). Na análise microscópica foi utilizado o microscópio eletrônico de varredura (MEV) para avaliar as superfícies aplainadas nas duas velocidades de avanço. A rugosidade superficial da madeira foi avaliada no aplainamento nas velocidades de avanço de 6 e 15 m\*min<sup>-1</sup> e as leituras feitas no sentido paralelo e perpendicular às fibras. Pela avaliação visual a madeira de Jaqueira obteve qualidade da superfície usinada de boa a regular, o Jamelão de excelente a boa e o Sombreiro de boa a regular. O aumento da velocidade de avanço de 6 para 15 m\*min<sup>-1</sup> proporcionou menor qualidade da superfície na madeira de Jaqueira e na região intermediária da madeira de Sombreiro. O sentido de leitura para mensurar a rugosidade e a distribuição dos elementos anatômicos influenciou nos parâmetros de rugosidade. A avaliação visual e os parâmetros de rugosidade possuem correlação quando realizada a leitura no sentido paralelo às fibras. As madeiras de Jaqueira e Jamelão possuem potencial para serem utilizadas como matéria-prima para a confecção de móveis.

**Palavras-chave:** Usinagem. Rugosidade. Madeira.



## ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the quality of the wood surface of invasive species of the Atlantic Forest, and the interactions between the processing factors with the properties of the wood. In order to analyze their potential as a material for making furniture. Seven trees of the species Jackfruit, Java plum and Sombreiro were used, the samples were classified in three regions (external, intermediate and central), according to the core-bark direction. To qualify the surface of the wood, the methods of visual evaluation, microscopic analysis and drag roughness were used. In the visual qualification, three previously trained evaluators attributed scores from 1 (best quality surface, free from defects) to 5 (worst surface quality, the highest degree of defects) for different machining operations. Three machining operations were evaluated, planing (with feed speed of 6 and 15 m \* min<sup>-1</sup>), the frame (at the top and axial), the winding axial milling (at the beginning and end of processing). In the microscopic analysis, the scanning electron microscope was used to evaluate the planed surfaces at the two advance speeds. The surface roughness of the wood was evaluated when planing at the advance speeds of 6 and 15 m \* min<sup>-1</sup> and the readings were made in the parallel and perpendicular direction to the fibers. By visual assessment, Jackfruit wood obtained a good to regular machined surface quality, Java plum from excellent to good and the Sombreiro from good to regular. The increase in the advance speed from 6 to 15 m\*min<sup>-1</sup> provided decrease surface quality in Jaqueira wood and in the intermediate region of Sombreiro wood. The reading direction to measure the roughness and the distribution of the anatomical elements influences the roughness parameters. The visual and parameters roughness assessment are correlated when reading in the direction parallel to the fibers. Jackfruit and Java plum woods have the potential to be used as raw material for making furniture.

**Keywords:** Machining. Roughness. Wood.

## 1 INTRODUÇÃO

Tendo em vista que as espécies exóticas invasoras precisam ser suprimidas e por apresentarem grande volume de material lenhoso, são necessários estudos para destinação dessa matéria prima. Uma das alternativas para agregar maior valor ao material é utilizá-la para fins madeireiros e confecção de móveis, que podem ser utilizados nas próprias Unidades de Conservação em centros de exposição, no uso da educação ambiental, dentre outros.

Para a confecção de móveis, um parâmetro importante a ser avaliado é a qualidade da superfície processada mecanicamente da madeira. Alguns métodos utilizados para avaliar a rugosidade superficial de produtos de madeira são os rugosímetros de agulha, perfilometria óptica, análise de imagens técnicas usando câmera de vídeo, pneumática, ultrassom, e microscopia.

Sabe-se que a rugosidade da madeira são desvios microgeométricos, caracterizados por saliências e reentrâncias, os quais são influenciados pela própria madeira, características anatômicas, físico-química, pelas condições de seu processamento, tais como velocidade de avanço, número de dentes da ferramenta de corte e rotação do equipamento. Assim, a pesquisa sobre a rugosidade superficial é de importância para a indústria de processamento da madeira, devido ao seu efeito direto sobre a qualidade do produto (JAKUB; MARTINO, 2005) e por possuir impacto direto nos custos de acabamento dentro da indústria moveleira (GURAU, 2017).

Assim, o estudo da interação entre as características da madeira e o processo de usinagem é essencial para o aumento da qualidade da superfície e, dessa forma, tornar o processo mais eficiente. Neste sentido, o objetivo do estudo foi avaliar a qualidade da superfície da madeira de três espécies exóticas invasoras e as interações entre os fatores de processo com as propriedades da madeira.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Operações de Usinagem

Foram avaliadas as espécies *Artocarpus heterophyllus* - Jaqueira, *Syzygium cumini* - Jamelão e *Clitoria fairchildiana* – Sombreiro. Utilizaram-se sete árvores de cada espécie, em três regiões distintas da tora denominadas externa, intermediária e central, considerando a direção medula-casca. As tábuas foram desempenadas e desengrossadas, até espessura de 23 mm. Posteriormente foram confeccionados os corpos-de-prova com dimensões de 600 x 135 x 20 mm. Estes foram armazenados em sala climatizada com temperatura de  $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de  $60\% \pm 5\%$ , até atingirem a umidade de 12%.

Foram medidos e pesados todos os corpos-de-prova antes de realizar as operações de usinagem, a fim de obter as densidades aparentes. Para verificar a velocidade de avanço, foi cronometrado o tempo de deslocamento de cada corpo-de-prova durante a usinagem. A ordem do processamento das madeiras foi feito de forma aleatória, para garantir que possíveis desgastes na ferramenta não influenciasse nas notas de qualidade da superfície. As máquinas utilizadas para usinagem das madeiras possuem inversor de frequência para obtenção dos parâmetros do processamento.

As operações de usinagem foram realizadas no Laboratório de Usinagem da Madeira (LUM), no Departamento de Ciências Florestais – UFLA.

#### 2.1.1 Aplainamento

Foi utilizada plaina desempenadeira, com cabeçote de 105 mm de diâmetro, com três facas, rotação do eixo porta facas de  $3600 \text{ min}^{-1}$  e velocidade de corte de 19,8 m/s. O aplainamento foi feito com profundidade de corte de 2 mm nas duas faces de cada peça, uma com velocidade de avanço de 6 e a outra de  $15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , com auxílio do alimentador de avanço mecânico.

#### 2.1.2 Moldura de topo e axial “parada”

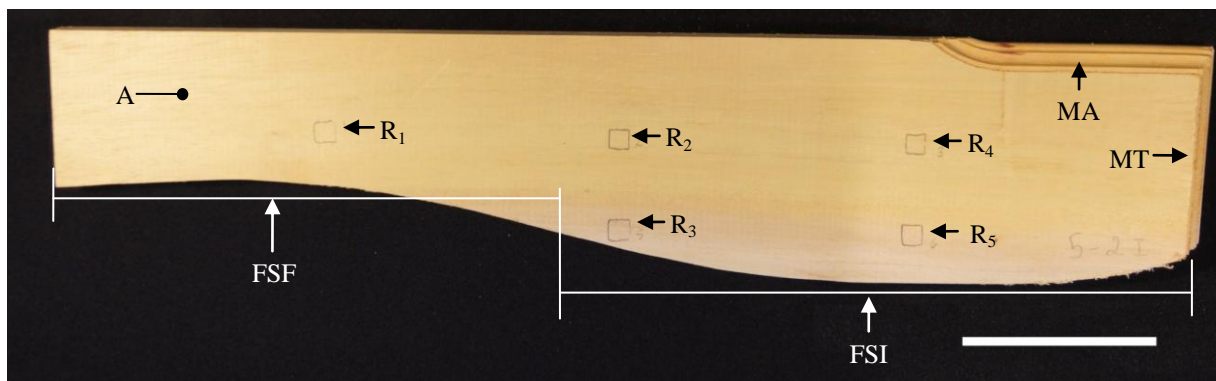
Utilizaram-se fresas para moldura com diâmetro de 125 mm, a rotação do eixo foi de  $6000 \text{ min}^{-1}$  com velocidade de corte de 39 m/s e velocidade de avanço de  $5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ . A moldura foi realizada no topo da peça de madeira e axialmente “parada”. Esse termo refere-se ao procedimento realizado durante a usinagem, pois a moldura axial não foi feita ao longo de

toda peça e sim até 14 cm de comprimento, ao atingir esse comprimento a usinagem era “parada” (Figura 25).

### 2.1.3 Fresagem axial sinuosa

Para essa operação de usinagem foi utilizada fresa com diâmetro de 80 mm, com número de dentes igual a seis e ângulo de ataque de  $20^\circ$ . A rotação do eixo foi de  $6000 \text{ min}^{-1}$ , a velocidade de corte foi de 25 m/s e a velocidade de avanço foi de  $7 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ . A fresagem foi realizada paralela às fibras, do lado oposto a moldura axial. A forma sinuosa foi feita com auxílio de um gabarito. A qualidade da superfície foi avaliada em dois locais a do início e do final do processamento (Figura 25).

Figura 25 - Corpo-de-prova para testes de usinagem na madeira de Jaqueira.



Legenda: A =Aplainamento; R<sub>1</sub> a R<sub>5</sub> = Leituras de rugosidade; MA = Moldura axial; MT = Moldura topo; FSI = Fresagem sinuosa início; FSF = Fresagem sinuosa final. Barra: 10 cm.

Fonte: Do autor (2020).

## 2.2 Análise visual

A análise visual da qualidade da superfície da madeira foi feita atribuindo notas de 1 (superfície de melhor qualidade, isenta de defeitos) a 5 (pior qualidade da superfície, maior grau de defeitos), de acordo com a ASTM D 1666-11 (ASTM, 2011) (Tabela 29). A avaliação visual foi feita por três avaliadores, previamente treinados, segundo metodologia utilizada por Silva et al. (2005). Após a avaliação as notas foram comparadas duas a duas e, posteriormente, com as notas dos três avaliadores em conjunto. Quando não havia consenso da nota final foi realizada a média dos três avaliadores.

Tabela 29 - Classificação e notas atribuídas para qualidade da superfície da madeira.

Notas	Qualidade da superfície da madeira usinada	Classificação da superfície aplainada
1	Superfície isenta de quaisquer defeitos	Excelente
2	Presença de arrepimento leve a médio	Boa
3	Presença de arrepimento forte e arrancamento leve	Regular
4	Presença de arrepimento forte e arrancamento leve a médio	Ruim
5	Presença de arrancamento forte, independente da presença de arrepimento	Muito Ruim

Fonte: ASTM D 1666-11 (ASTM, 2011).

### 2.3 Rugosidade da madeira

Para avaliar a rugosidade superficial da madeira utilizou o rugosímetro de arraste da marca Taylor Hobson modelo Surtronic S116. O comprimento de medição foi de 4 mm, o cutoff utilizado foi de 0,8 mm com range de 100  $\mu\text{m}$  e o filtro Gauss (Figura 26). Para aquisição dos dados foi usado o software Taly Profile Gold 6.2.

Figura 26 - Rugosímetro Taylor Hobson modelo Surtronic S116. Barra: 5 cm.



Fonte: Do autor (2020).

A rugosidade foi analisada na superfície aplainada com velocidade de 6 e 15  $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ . A leitura da rugosidade foi feita em seis pontos equidistantes entre si, pré-estabelecidos por gabarito (Figura 25). Para efetuar a medição da rugosidade o corpo-de-prova estava apoiado

na mesa retificada. A leitura da rugosidade foi feita em dois sentidos, paralelo e perpendicular às fibras.

Os parâmetros de rugosidade analisados foram a rugosidade média ( $R_a$ ), a altura máxima do pico do perfil ( $R_p$ ), a profundidade máxima do vale do perfil ( $R_v$ ), a altura máxima do perfil ( $R_z$ ) e a altura total do perfil ( $R_t$ ). Avaliaram-se esses parâmetros por serem de amplitude vertical (picos e vales).

## 2.4 Análise microscópica

A análise microscópica foi realizada no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural (LME), no Departamento de Fitopatologia – UFLA. Foi utilizado o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) LEO EVO 40 XVP. Após o aplainamento, a avaliação visual e de rugosidade da madeira, foram retirados corpos-de-prova de 10 x 5 x 5 mm. Estes foram extraídos no mesmo lugar em que foi feita a medição de rugosidade (Figura 25), na superfície aplainada com velocidade de avanço de 6 e 15 m\*min<sup>-1</sup>.

Nos corpos-de-prova foi feita preparação de metalização por *sputtering* com banho de ouro sobre a superfície, o que confere maior resistência e aumento da condutividade dos corpos-de-prova.

## 2.5 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa R CoreTeam 3.4.3. A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk, e a homogeneidade pelo testes de Barlett e Levene ( $\alpha=0,05$ ). Foi feito a Anova e quando houve diferença significativa foi aplicado o teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ ) a fim de determinar as diferenças entre as médias dos tratamentos.

Na análise visual foram avaliadas as notas (variáveis dependentes) das operações de usinagem de aplainamento, da moldura e da fresagem sinuosa comparando entre as regiões externa, intermediária e central (variáveis independentes). As notas de cada operação de usinagem (variáveis dependentes) foi comparada por suas respectivas variáveis independentes, no aplainamento a velocidade de avanço de 6 e 15 m.min<sup>-1</sup>, na moldura o topo e axial, na fresagem sinuosa no início e final do processamento.

Os parâmetros de rugosidade (variáveis dependentes) em 5 variáveis  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_t$ ,  $R_p$  e  $R_v$  foram comparadas com as seguintes variáveis independentes região (externa, intermediária

e central), direção de leitura (paralelo e perpendicular) e velocidade de avanço (6 e 15 m.min<sup>-1</sup>).

Foram analisadas as correlações entre as notas das operações de usinagem, a avaliação visual e os parâmetros de rugosidade e entre as características anatômicas, a análise visual e os parâmetros de rugosidade. Para as análises de correlação foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson. O grau de correlação foi determinado de acordo com os critérios descritos por Callegari- Jacques (2003), em que prevê, em módulo, as seguintes condições: fraca correlação (baixa) para  $0 < r < 0,30$ ; moderada correlação para  $0,30 \leq r < 0,60$ ; correlação alta (forte) para  $0,60 \leq r < 0,9$ ; correlação muito forte para  $r \geq 0,90$  e correlação perfeita para  $r = 1,00$ .

Foi realizado o agrupamento da rugosidade das superfícies aplainadas com base na espécie (Jaqueira, Jamelão e Sombreiro), no sentido de leitura (paralelo e perpendicular) e na velocidade de avanço (6 e 15 m\*min<sup>-1</sup>). A análise de agrupamentos (clustering) foi feita pelo software estatístico PAST (4.02), utilizou-se o Método pela Associação Média (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean – UPGMA). Nesse método calcula-se a média aritmética da similaridade (ou da distância) entre os objetos que se quer incluir em um grupo e cada objeto desse grupo. O objeto é atribuído ao grupo com o qual ele tem a maior similaridade média (ou menor distância média) com todos os objetos (VALENTIN, 2000). Foi utilizada a distância Euclidiana e para a verificação do ajuste entre a matriz de similaridade e o dendrograma obtido foi calculado o coeficiente de correlação cofenética (r).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Avaliação visual

Na Tabela 30 encontram-se as notas médias, mínimas, máximas e o coeficiente de variação em cada operação de usinagem nas regiões externa, intermediária e central da madeira de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro. Verificou-se que não há diferença significativa das notas entre as regiões nas três espécies estudadas.

Tabela 30 – Notas médias, mínimas, máximas e o coeficiente de variação em cada operação de usinagem nas regiões externa, intermediária e central das madeiras de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro.

Operação de usinagem	Tipo de operação	Região	JAQUEIRA				JAMELÃO				SOMBREIRO			
			Notas atribuídas				Notas atribuídas				Notas atribuídas			
			Méd	Mín	Máx	CV(%)	Méd	Mín	Máx	CV (%)	Méd	Mín	Máx	CV (%)
Aplainamento	$V_f = 6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$	E	<b>1,9</b>	1,0	2,7	34,2	<b>1,5</b>	1,3	2,0	22,2	<b>2,5</b>	2,0	3,3	22,2
		I	<b>2,4</b>	2,0	3,0	13,7	<b>1,7</b>	1,0	3,0	51,1	<b>2,1</b>	1,7	2,7	51,1
		C	<b>2,2</b>	1,3	3,0	24,3	<b>1,8</b>	1,0	2,3	32,2	<b>2,5</b>	2,0	3,0	32,2
	$V_f = 15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$	E	<b>3,0</b>	2,0	4,0	22,1	<b>2,3</b>	1,3	3,0	35,0	<b>2,8</b>	2,3	3,0	35,0
		I	<b>3,2</b>	2,7	3,7	10,7	<b>2,1</b>	1,3	2,7	27,9	<b>3,0</b>	2,7	3,7	27,9
		C	<b>2,8</b>	2,0	3,7	17,1	<b>2,3</b>	1,3	3,0	25,9	<b>2,7</b>	1,7	3,7	25,9
Moldura	Topo	E	<b>2,4</b>	1,7	3,7	27,3	<b>1,3</b>	1,0	2,0	34,3	<b>3,3</b>	2,7	4,7	34,3
		I	<b>2,9</b>	2,3	3,3	11,4	<b>1,6</b>	1,0	2,0	27,7	<b>2,9</b>	1,3	3,7	27,7
		C	<b>2,4</b>	1,7	3,0	15,9	<b>1,5</b>	1,0	2,7	36,5	<b>3,4</b>	1,3	4,7	36,5
	Axial	E	<b>2,3</b>	1,3	3,3	31,4	<b>2,5</b>	2,0	3,0	15,4	<b>3,4</b>	2,7	4,3	15,4
		I	<b>2,4</b>	1,7	3,0	17,2	<b>2,0</b>	1,0	3,0	40,0	<b>2,9</b>	1,7	4,7	40,0
		C	<b>2,6</b>	1,7	3,3	24,2	<b>2,3</b>	1,3	3,0	28,3	<b>3,2</b>	2,7	4,0	28,3
Fresagem Sinuosa	Início	E	<b>2,3</b>	1,7	3,3	26,0	<b>1,4</b>	1,3	1,7	10,6	<b>2,7</b>	2,0	3,0	10,6
		I	<b>2,1</b>	1,3	3,7	34,6	<b>1,5</b>	1,0	2,0	21,3	<b>2,2</b>	1,7	2,7	21,3
		C	<b>2,0</b>	1,3	3,7	40,1	<b>1,7</b>	1,3	2,7	26,2	<b>2,2</b>	2,0	2,7	26,2
	Final	E	<b>2,1</b>	1,7	3,0	29,3	<b>1,5</b>	1,3	1,7	12,4	<b>2,1</b>	1,7	3,0	12,4
		I	<b>2,0</b>	1,0	2,7	28,6	<b>1,6</b>	1,3	1,7	10,4	<b>2,0</b>	1,7	2,3	10,4
		C	<b>1,7</b>	1,3	3,0	28,4	<b>1,8</b>	1,0	2,3	24,4	<b>2,2</b>	2,0	2,7	24,4

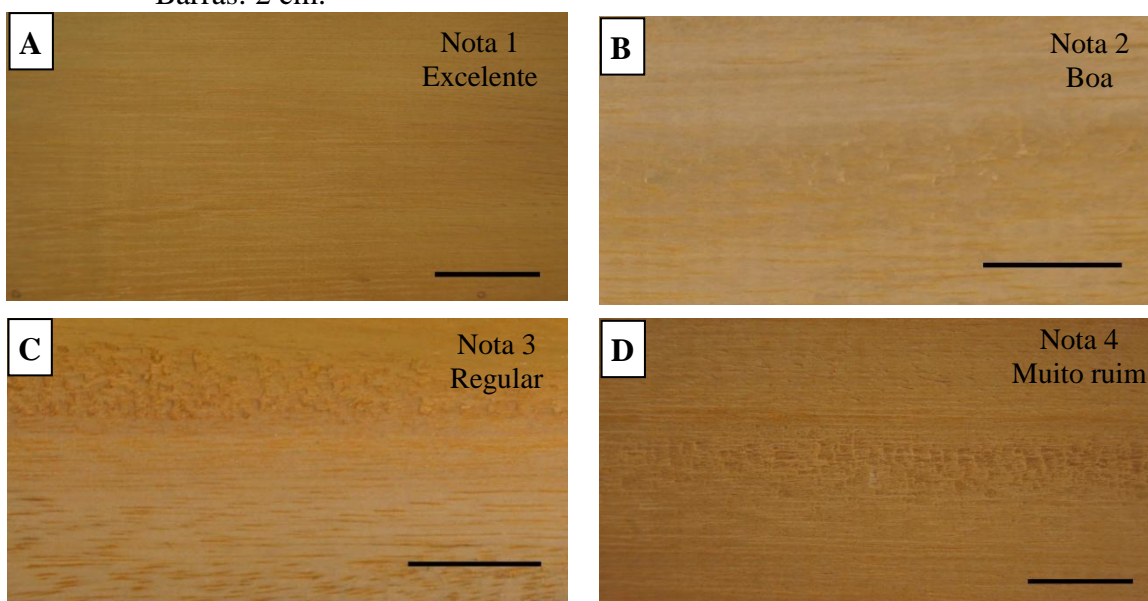
Legenda: E = externo; I = intermediário; C = central; CV = Coeficiente de Variação.



A densidade média aparente nas regiões da madeira de Jaqueira foi de  $0,580 \text{ g.cm}^{-3}$  (externa),  $0,550 \text{ g.cm}^{-3}$  (intermediária) e  $0,554 \text{ g.cm}^{-3}$  (central). A região externa da madeira de Jamelão apresentou densidade aparente média de  $0,828 \text{ g.cm}^{-3}$ , a região intermediária  $0,829 \text{ g.cm}^{-3}$  e a região central  $0,809 \text{ g.cm}^{-3}$ . A madeira de Sombreiro possui densidade aparente média de  $0,629$ ,  $0,663$  e  $0,626 \text{ g.cm}^{-3}$ , respectivamente para a região externa, intermediária e central.

As notas médias classificam a qualidade da superfície usinada. Para a madeira de Jaqueira o aplainamento na velocidade de corte ( $V_f$ ) de  $6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  foi classificada como de qualidade boa (Figura 27B), na  $V_f$  de  $15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  qualidade regular (Figura 27C). Na moldura de topo e axial considerada como de qualidade boa a regular. A fresagem axial sinuosa enquadra-se na qualidade boa.

Figura 27 - Classificação da qualidade da superfície aplainada da madeira de Jaqueira.  
Barras: 2 cm.



Fonte: Do autor (2020).

Na madeira de Jamelão a qualidade da superfície aplainada na  $V_f$  de  $6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  foi considerada de excelente a boa, no aplainamento a  $V_f$  de  $15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  classificada como de boa qualidade. A qualidade da superfície da moldura de topo foi avaliada em excelente a boa qualidade, para a moldura lateral foi de boa qualidade. Na fresagem axial sinuosa a qualidade da superfície foi considerada de excelente a boa.

Na madeira de Sombreiro a qualidade do aplainamento na velocidade de corte ( $V_f$ ) de  $6$  e  $15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  foi classificada como boa a regular. Na moldura de topo e axial a qualidade da

superfície foi considerada como regular. A fresagem axial sinuosa enquadra-se na qualidade boa a regular.

Na Figura 28 estão apresentados os gráficos da porcentagem das notas do aplainamento comparando as três regiões e as duas velocidades de avanço ( $V_f$ ) nas madeiras de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro.

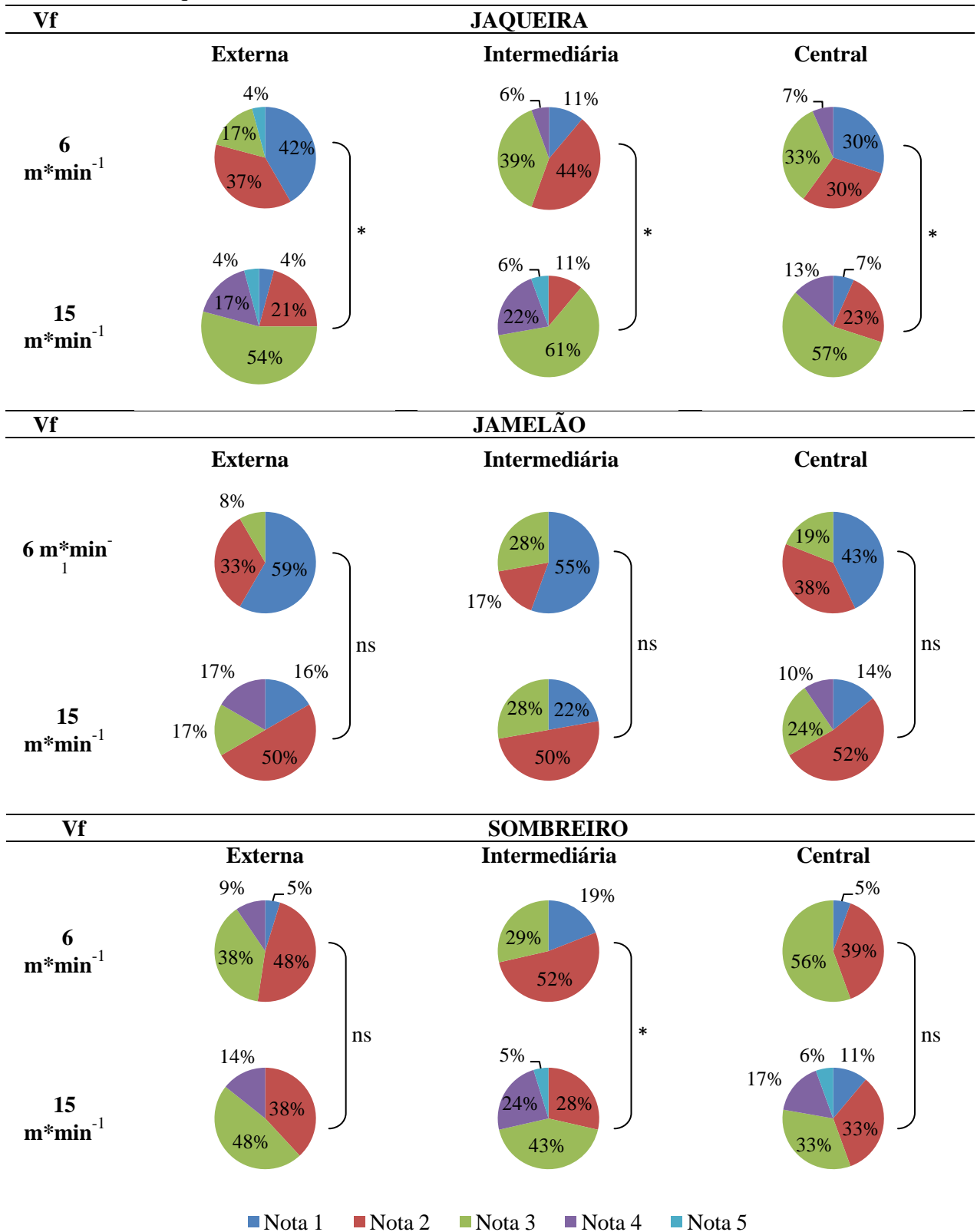
Na madeira de Jaqueira observou-se pela análise de variância diferença significativa entre a velocidade de avanço ( $V_f$ ) de 6 e 15  $m \cdot min^{-1}$ . Nota-se que na  $V_f$  de 6  $m \cdot min^{-1}$ , houve predominância das notas 1 (excelente) e 2 (boa). Quando aumenta a  $V_f$  para 15  $m \cdot min^{-1}$  reduziu-se o percentual de notas 1 e 2 e elevou-se a ocorrência das notas 3 (regular) e 4 (ruim).

Na madeira de Jamelão não foi observado diferença significativa na qualidade do aplainamento pela análise de variância entre os corpos-de-prova aplainados na  $V_f$  de 6 e 15  $m \cdot min^{-1}$ . Contudo, verifica-se na Figura 28 que as peças aplainadas na  $V_f$  de 6  $m \cdot min^{-1}$  possuem maior percentual de notas 1 (excelente). As aplainadas na  $V_f$  de 15  $m \cdot min^{-1}$  apresentam predominância de notas 2 (boa).

Foi observado diferença significativa entre a qualidade do aplainamento das madeiras de Sombreiro na região intermediária aplainados em diferentes velocidades de avanço, em que ao aplainar na  $V_f$  de 6  $m \cdot min^{-1}$  houve maior porcentagem de nota 2 (boa) e na  $V_f$  de 15  $m \cdot min^{-1}$  houve acréscimo de notas 3 (regular).

Na madeira de Jaqueira e na madeira da região intermediária de Sombreiro o aplainamento na menor velocidade de avanço (6  $m \cdot min^{-1}$ ) proporcionou melhor qualidade da superfície aplainada. Na madeira de Jamelão a velocidade de avanço não influenciou na qualidade da superfície. Isso pode ser explicado pela maior densidade da madeira de Jamelão e maior comprimento de fibras, conferindo a mesma resistência e menor probabilidade de arrancamento de fibras.

Figura 28 - Porcentagem das notas atribuídas ao aplainamento na velocidade de avanço de 6 e 15 m\*min<sup>-1</sup> nas regiões externa, intermediária e central da madeira de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro.



■ Nota 1 ■ Nota 2 ■ Nota 3 ■ Nota 4 ■ Nota 5

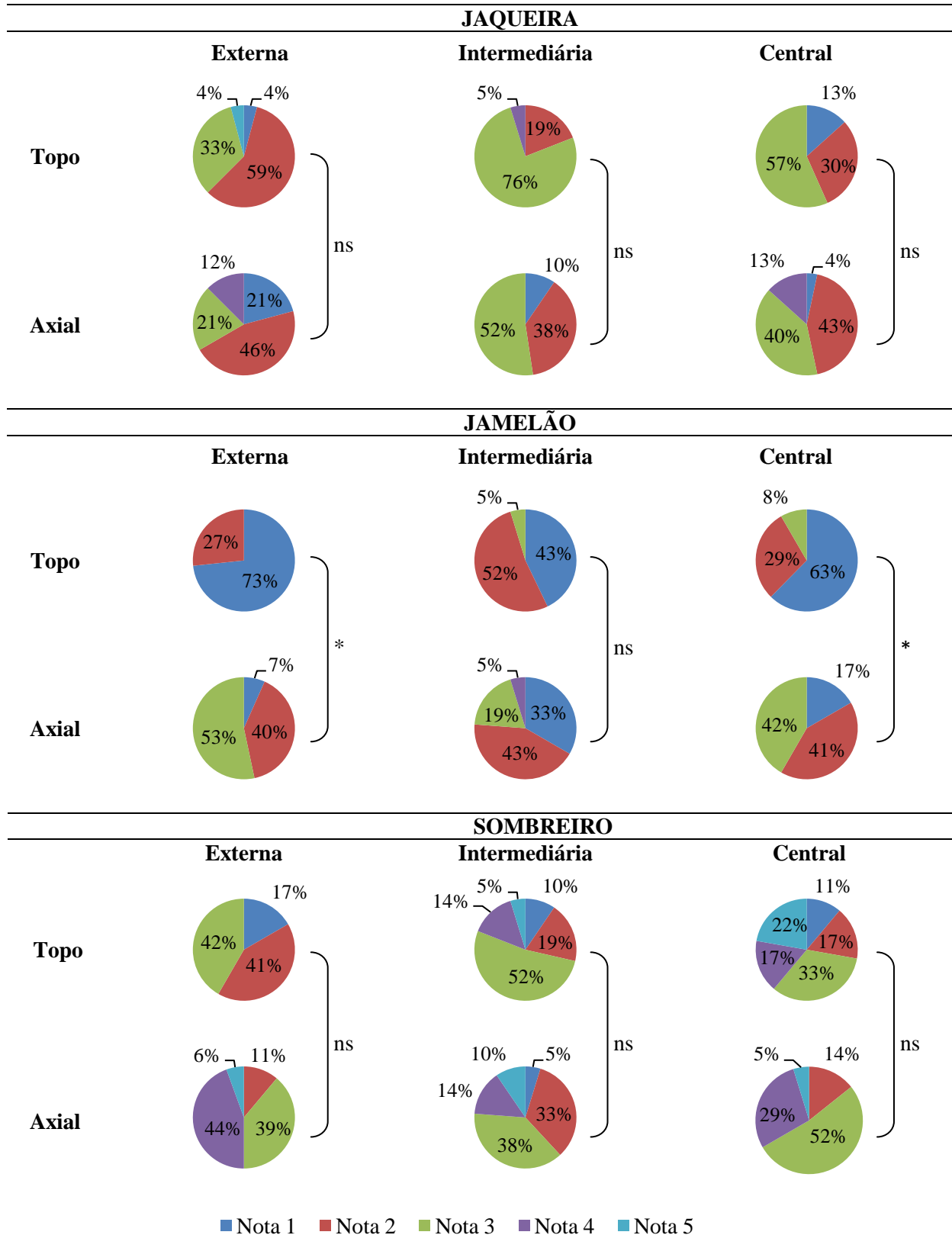
Legenda: \*Diferença significativa e ns = não significativo pela Anova  $p < 0,05$ . Classificação das notas: 1 = excelente, 2 = boa; 3 = regular; 4 = ruim; 5 = muito ruim, segundo a ASTM D 1666 (ASTM, 2011).  
 Fonte: O autor (2020).

Na Figura 29 estão representados os gráficos com a porcentagem das notas atribuídas para a operação de usinagem de moldura realizada axialmente e no topo da peça, nas regiões externa, intermediária e central nas madeiras de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro.

Foi observado que não houve diferença significativa para as notas das molduras feitas no topo e axialmente a peça, para as madeiras de Jaqueira e Sombreiro. Na madeira de Jaqueira verificou-se que as notas 2 (boa) e 3 (regular) foram de maior ocorrência (Figura 29). Enquanto que na madeira de Sombreiro houve predominância das notas 2 (boa), 3 (regular) e 4 (ruim) (Figura 29).

Para a madeira de Jamelão houve diferença significativa entre as notas da moldura de topo e axial nas regiões externa e central. Na Figura 29 nota-se que na moldura de topo as notas 1 (excelente) e 2 (boa) foram predominantes. Na moldura axial a predominância foram das notas 2 (boa) e 3 (regular) na região externa e central, enquanto na intermediária a porcentagem maior das notas foram 1 (excelente) e 2 (boa). A moldura axial apresentou qualidade inferior à de topo, mas ainda classificado como de boa qualidade. Assim como observado por Silva et al. (2005) ao realizar a parada da moldura axial, esta promoveu algumas tensões de lasqueamento no ponto de saída da ferramenta.

Figura 29 - Porcentagem das notas atribuídas à moldura de topo e axial nas regiões externa, intermediária e central da madeira de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro.



■ Nota 1 ■ Nota 2 ■ Nota 3 ■ Nota 4 ■ Nota 5

Legenda: \*Diferença significativa e ns = não significativo pela anova  $p < 0,05$ . Classificação das notas: 1 = excelente, 2 = boa; 3 = regular; 4 = ruim; 5 = muito ruim, segundo a ASTM D 1666 (ASTM, 2011).

Fonte: O autor (2020).

Na Figura 30 observa-se a representação gráfica das porcentagens de notas atribuídas na fresagem axial sinuosa nas três regiões externa, intermediária e central, no início e final da usinagem.

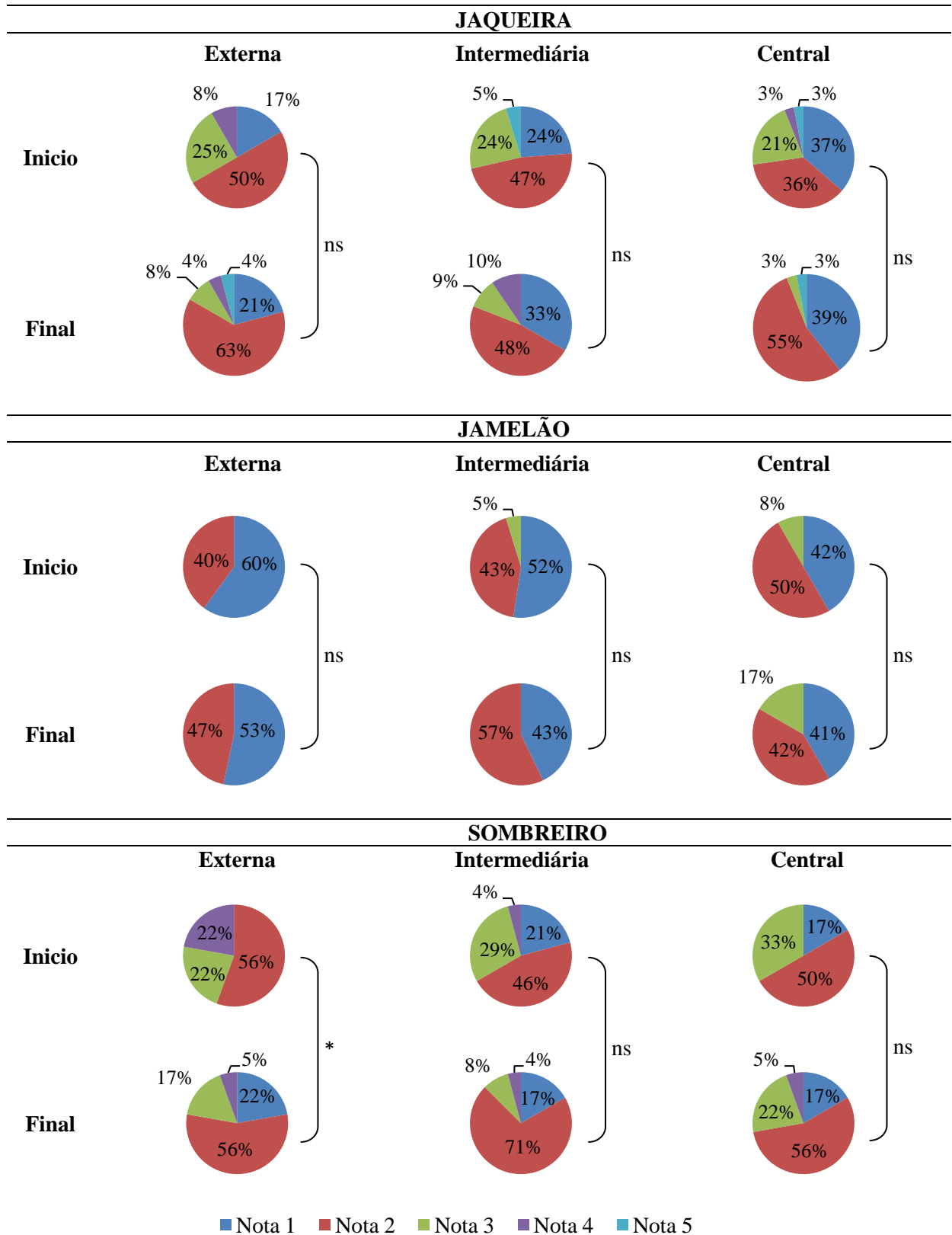
Na operação de fresagem sinuosa axial não houve diferença entre o início e final do processo para as madeiras de Jaqueira e Jamelão. Pela Figura 30 constatou-se que houve maior porcentagem de notas 1 (excelente) e 2 (boa) nas madeiras de Jaqueira e Jamelão.

A região externa da madeira de Sombreiro possui diferença significativa entre o início e final da usinagem, em que o final do processamento apresentou melhor qualidade da superfície com notas predominantes 1 (excelente) e 2 (boa). No início do processo não houve peças com nota 1 (excelente), as notas atribuídas foram 2 (boa), 3 (regular) e 4 (ruim).

Ao comparar a qualidade das superfícies usinadas entre as espécies, a madeira de Jamelão possui a melhor qualidade, classificada de excelente (aplainamento na  $V_f$  de  $6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , moldura de topo e fresamento axial) a boa (aplainamento na  $V_f$  de  $15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  e moldura axial). A madeira de Jaqueira apresentou qualidade de boa (aplainamento na  $V_f$  de  $6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , molduras e fresamento axial) a regular (aplainamento na  $V_f$  de  $15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ). E dentre as três espécies a madeira de Sombreiro possui pior qualidade, classificada de boa (aplainamento na  $V_f$  de  $6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  e fresamento axial) a regular (aplainamento na  $V_f$  de  $15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , molduras).

A utilização de diversas operações de usinagem, como a moldura no topo (corte  $90^\circ\text{-}90^\circ$ ), a moldura axial (corte  $90^\circ\text{-}0^\circ$ ) e a perfilagem axial sinuosa (corte  $90^\circ\text{-}0^\circ$ ) permitem apreciar a usinabilidade da madeira, pois esta é usinada sob drásticas condições, podendo mostrar seu potencial (SILVA et al., 2005).

Figura 30 - Porcentagem das notas atribuídas na fresagem axial sinuosa no início e final da operação nas regiões externa, intermediária e central nas madeiras de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro.



■ Nota 1 ■ Nota 2 ■ Nota 3 ■ Nota 4 ■ Nota 5

Legenda: \*Diferença significativa e ns = não significativo pela anova  $p < 0,05$ . Classificação das notas: 1 = excelente, 2 = boa; 3 = regular; 4 = ruim; 5 = muito ruim, segundo a ASTM D 1666 (ASTM, 2011).  
 Fonte: O autor (2020).

A Tabela 31 apresenta a correlação entre as notas obtidas em cada operação de usinagem. Foi observada correlação entre as notas atribuídas a qualidade da superfície aplainada na  $V_f$  de  $6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  e as notas atribuídas para todas as operações de usinagem. Assim, o aplainamento com  $V_f$  de  $6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  é um parâmetro para avaliar a qualidade da usinagem, de maneira geral se a madeira possuir boa qualidade no aplainamento apresentará boa qualidade nas demais operações de usinagem.

Tabela 31 - Correlação entre as notas das operações de usinagem.

Operção de usinagem	Aplainamento ( $6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ )	Aplainamento ( $15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ )	Moldura topo	Moldura axial	Fresagem sinuosa início	Fresagem sinuosa final
Aplainamento ( $6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ )	1					
Aplainamento ( $15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ )	0,50*	1				
Moldura topo	0,45*	0,30*	1			
Moldura axial;	0,27*	0,09	0,36*	1		
Fresagem sinuosa início	0,47*	0,15	0,49*	0,14	1	
Fresagem sinuosa final	0,30*	0,20	0,44*	0,23	0,58*	1

Legenda: \*Significativo  $p < 0,05$ .

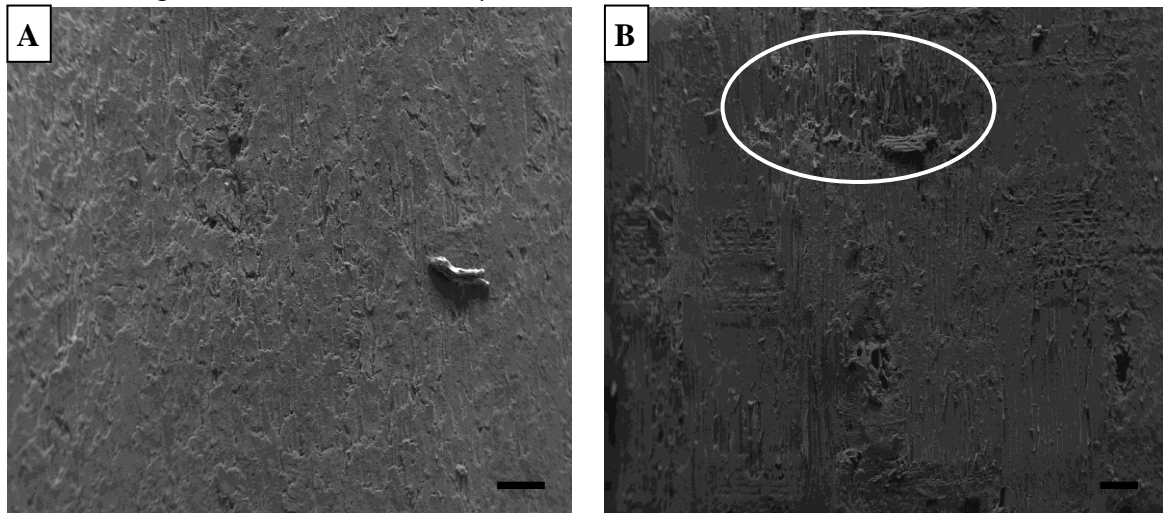
Fonte: O autor (2020).

### 3.2 Análise microscópica

A Figura 31A mostra o aspecto da superfície da madeira de Jaqueira aplainada com  $V_f$  de  $6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  e na 31B com  $V_f$  de  $15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ . Pode-se observar diferença da qualidade da superfície. Na superfície aplainada com maior velocidade de avanço, a qualidade da superfície é inferior, pois possuem arrancamentos e arrepiamentos de fibras, destacados na imagem (Figura 31B). Além da análise microscópica, esse fato também foi comprovado na análise visual (Figura 28).



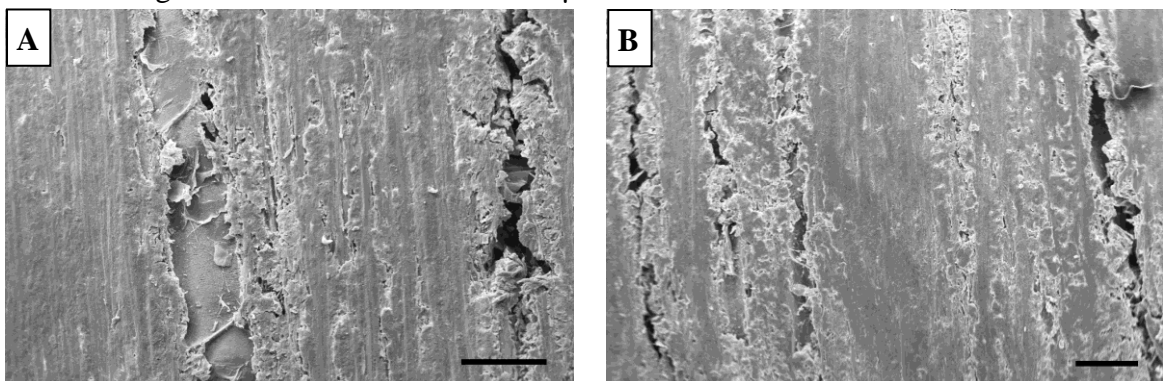
Figura 31 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) das superfícies aplainadas a velocidade de avanço de 6 (A) e 15 (B)  $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$  da madeira de Jaqueira na região central. Barras: 200  $\mu\text{m}$



Fonte: Do autor (2020).

Na Figura 32A a imagem da microscopia eletrônica de varredura na superfície aplainada na  $V_f$  6  $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$  e na 32B aplainada a  $V_f$  de 15  $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$  da madeira de Jamelão. Percebe-se que não houve diferença na qualidade da superfície de Jamelão aplainada em diferentes velocidades de avanço. O mesmo resultado encontrado estatisticamente na análise visual (Figura 29).

Figura 32 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) das superfícies aplainadas a velocidade de avanço de 6 (A) e 15 (B)  $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$  da madeira de Jamelão na região intermediária. Barras: 200  $\mu\text{m}$

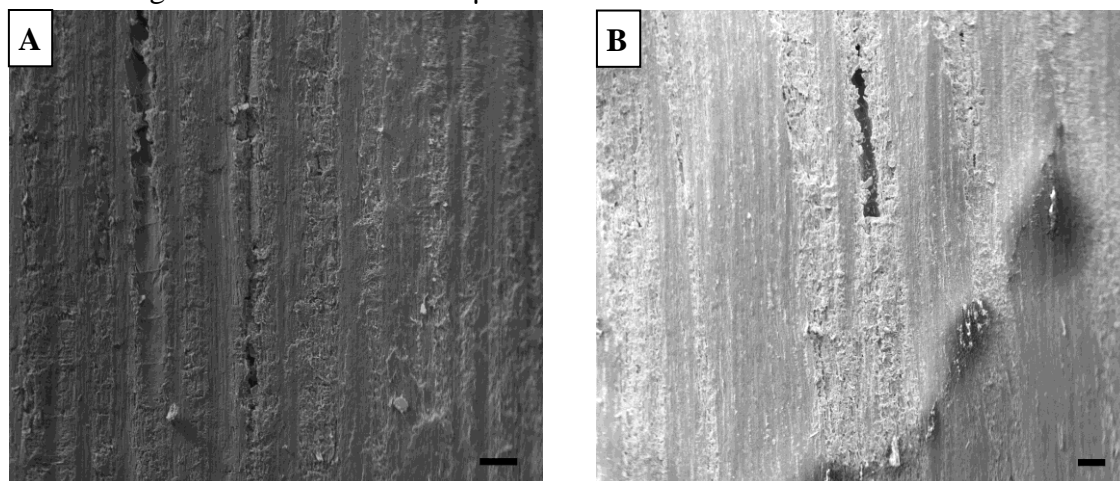


Fonte: Do autor (2020).

A superfície da madeira de Sombreiro aplainada na  $V_f$  6 e 15  $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ , respectivamente nas Figuras 33A e 33B. Nota-se que não houve diferença na qualidade da superfície de Sombreiro da região central aplainada em diferentes velocidades de avanço. Na análise visual não observou na região externa e central diferença significativa estatisticamente

entre a qualidade da superfície aplainada nas  $V_f$  de 6 e de 15  $m \cdot min^{-1}$ , apenas a região intermediária apresentou diferença estatística (Figura 30).

Figura 33 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) das superfícies aplainadas a velocidade de avanço de 6 (A) e 15 (B)  $m \cdot min^{-1}$  da madeira de Sombreiro na região central. Barras: 200  $\mu m$ .



Fonte: Do autor (2020).

### 3.3 Rugosidade

As médias dos parâmetros de rugosidade altura máxima do pico do perfil ( $R_p$ ), profundidade máxima do vale do perfil ( $R_v$ ), altura máxima do perfil ( $R_z$ ), altura total do perfil ( $R_t$ ) e rugosidade média ( $R_a$ ), em diferentes sentidos de leitura (paralelo e perpendicular às fibras), nas superfícies aplainadas em duas velocidades de avanço (6 e 15  $m \cdot min^{-1}$ ), em três regiões distintas (externa, intermediária e central) estão descritos na Tabela 32, 33 e 34, respectivamente para as da madeira de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro.

Na madeira de Jaqueira observou-se que a altura total do perfil ( $R_t$ ) foi maior na região intermediária quando o aplainamento foi realizado na velocidade de avanço de 6  $m \cdot min^{-1}$  e o sentido de leitura foi perpendicular às fibras. Nos demais parâmetros de rugosidade a região não é um fator que causa diferença significativa entre as médias (Tabela 32). A velocidade de avanço apresentou diferença significativa em todos os parâmetros apenas na região externa no sentido de leitura perpendicular. Sendo a  $V_f$  de 6  $m \cdot min^{-1}$  a que apresentou menores parâmetros de rugosidade. Na análise dos perfis de rugosidade superficial da madeira de Jaqueira com leitura paralela (Figura 35A) e perpendicular às fibras (Figura 35B), observou-se que na  $V_f$  de 6  $m \cdot min^{-1}$  os picos e vales foram menores do que no aplainamento realizado na  $V_f$  de 15  $m \cdot min^{-1}$ .

Tabela 32 - Parâmetros de rugosidade na superfície aplainada na  $V_f$  de 6 e 15  $m \cdot min^{-1}$ , leituras paralelas e perpendiculares às fibras, em três regiões da madeira de Jaqueira.

<b>Altura máxima do pico do perfil (Rp)</b>				
Sentido	Velocidade de avanço ( $m \cdot min^{-1}$ )	Região		
		Externa	Intermediária	Central
Paralelo	6	5,13 <b>a B</b>	5,72 <b>a A</b>	6,09 <b>a A</b>
	15	7,40 <b>a A</b>	7,62 <b>a A</b>	6,85 <b>a A</b>
Perpendicular	6	10,59 <b>a B</b>	10,84 <b>a A</b>	11,39 <b>a A</b>
	15	12,76 <b>a A</b>	12,19 <b>a A</b>	12,17 <b>a A</b>
<b>Profundidade máxima do vale do perfil (Rv)</b>				
Sentido	Velocidade de avanço ( $m \cdot min^{-1}$ )	Região		
		Externa	Intermediária	Central
Paralelo	6	6,19 <b>a B</b>	7,24 <b>a A</b>	6,97 <b>a A</b>
	15	7,95 <b>a A</b>	7,97 <b>a A</b>	7,10 <b>a A</b>
Perpendicular	6	14,91 <b>a B</b>	17,64 <b>a A</b>	16,23 <b>a A</b>
	15	17,69 <b>a A</b>	17,45 <b>a A</b>	17,91 <b>a A</b>
<b>Altura máxima do perfil (Rz)</b>				
Sentido	Velocidade de avanço ( $m \cdot min^{-1}$ )	Região		
		Externa	Intermediária	Central
Paralelo	6	11,31 <b>a B</b>	12,96 <b>a A</b>	13,06 <b>a A</b>
	15	15,35 <b>a A</b>	15,60 <b>a A</b>	13,95 <b>a A</b>
Perpendicular	6	25,50 <b>a B</b>	28,48 <b>a A</b>	27,62 <b>a A</b>
	15	30,45 <b>a A</b>	29,64 <b>a A</b>	30,08 <b>a A</b>
<b>Altura total do perfil (Rt)</b>				
Sentido	Velocidade de avanço ( $m \cdot min^{-1}$ )	Região		
		Externa	Intermediária	Central
Paralelo	6	16,73 <b>a B</b>	19,94 <b>a A</b>	19,25 <b>a A</b>
	15	24,51 <b>a A</b>	24,34 <b>a A</b>	21,38 <b>a A</b>
Perpendicular	6	36,43 <b>b B</b>	45,30 <b>a A</b>	41,36 <b>ab A</b>
	15	45,75 <b>a A</b>	43,82 <b>a A</b>	45,52 <b>a A</b>
<b>Rugosidade média (Ra)</b>				
Sentido	Velocidade de avanço ( $m \cdot min^{-1}$ )	Região		
		Externa	Intermediária	Central
Paralelo	6	1,88 <b>a B</b>	2,14 <b>a A</b>	2,10 <b>a A</b>
	15	2,58 <b>a A</b>	2,70 <b>a A</b>	2,23 <b>a A</b>
Perpendicular	6	4,53 <b>a B</b>	4,64 <b>a A</b>	4,84 <b>a A</b>
	15	5,12 <b>a A</b>	5,16 <b>a A</b>	5,17 <b>a A</b>

Médias seguidas por letras minúsculas distintas mostram diferenças significativas na mesma linha, pelo teste de Tukey, a 5% de significância, e por letras maiúsculas, na mesma coluna.

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 33 - Parâmetros de rugosidade na superfície aplainada na  $V_f$  de 6 e 15  $m \cdot \min^{-1}$ , leituras paralelas e perpendiculares às fibras, em três regiões da madeira de Jamelão.

<b>Altura máxima do pico do perfil (Rp)</b>				
Sentido	Velocidade de avanço ( $m \cdot \min^{-1}$ )	Região		
		Externa	Intermediária	Central
Paralelo	6	5,04 a A	5,64 a A	5,76 a A
	15	6,13 a A	6,15 a A	6,05 a A
Perpendicular	6	10,44 b B	11,12 ab A	11,92 a A
	15	12,82 a A	11,75 a A	12,67 a A
<b>Profundidade máxima do vale do perfil (Rv)</b>				
Sentido	Velocidade de avanço ( $m \cdot \min^{-1}$ )	Região		
		Externa	Intermediária	Central
Paralelo	6	6,38 a A	7,38 a A	7,22 a A
	15	7,21 a A	7,48 a A	7,61 a A
Perpendicular	6	17,72 ab A	15,86 b A	19,35 a A
	15	20,91 a A	16,83 a A	17,44 a A
<b>Altura máxima do perfil (Rz)</b>				
Sentido	Velocidade de avanço ( $m \cdot \min^{-1}$ )	Região		
		Externa	Intermediária	Central
Paralelo	6	11,42 a A	13,01 a A	12,98 a A
	15	13,34 a A	13,63 a A	13,67 a A
Perpendicular	6	28,16 ab B	26,98 b A	31,26 a A
	15	33,73 a A	28,58 a A	30,11 a A
<b>Altura total do perfil (Rt)</b>				
Sentido	Velocidade de avanço ( $m \cdot \min^{-1}$ )	Região		
		Externa	Intermediária	Central
Paralelo	6	17,34 a A	21,44 a A	21,31 a A
	15	19,62 a A	22,95 a A	22,06 a A
Perpendicular	6	40,30 ab B	39,10 b A	47,17 a A
	15	49,07 a A	42,42 a A	44,76 a A
<b>Rugosidade média (Ra)</b>				
Sentido	Velocidade de avanço ( $m \cdot \min^{-1}$ )	Região		
		Externa	Intermediária	Central
Paralelo	6	1,87 a A	2,23 a A	2,20 a A
	15	2,34 a A	2,34 a A	2,34 a A
Perpendicular	6	4,57 b B	4,79 b A	5,52 a A
	15	5,76 a A	4,96 a A	5,48 a A

Médias seguidas por letras minúsculas distintas mostram diferenças significativas na mesma linha, pelo teste de Tukey, a 5% de significância, e por letras maiúsculas, na mesma coluna.

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 34 - Parâmetros de rugosidade na superfície aplainada na  $V_f$  de 6 e 15  $m \cdot min^{-1}$ , leituras paralelas e perpendiculares às fibras, em três regiões da madeira de Sombreiro.

<b>Altura máxima do pico do perfil (Rp)</b>				
Sentido	Velocidade de avanço ( $m \cdot min^{-1}$ )	Região		
		Externa	Intermediária	Central
Paralelo	6	9,69 <b>a A</b>	6,68 <b>b B</b>	9,28 <b>a A</b>
	15	8,76 <b>a A</b>	9,46 <b>a A</b>	8,22 <b>a A</b>
Perpendicular	6	13,15 <b>ab A</b>	10,83 <b>b B</b>	14,49 <b>a A</b>
	15	14,11 <b>a A</b>	14,90 <b>a A</b>	13,34 <b>a A</b>
<b>Profundidade máxima do vale do perfil (Rv)</b>				
Sentido	Velocidade de avanço ( $m \cdot min^{-1}$ )	Região		
		Externa	Intermediária	Central
Paralelo	6	11,32 <b>a A</b>	7,55 <b>b B</b>	10,84 <b>a A</b>
	15	9,22 <b>a A</b>	11,04 <b>a A</b>	9,35 <b>a A</b>
Perpendicular	6	16,44 <b>ab A</b>	13,34 <b>b B</b>	18,45 <b>a A</b>
	15	17,25 <b>a A</b>	18,49 <b>a A</b>	17,07 <b>a A</b>
<b>Altura máxima do perfil (Rz)</b>				
Sentido	Velocidade de avanço ( $m \cdot min^{-1}$ )	Região		
		Externa	Intermediária	Central
Paralelo	6	21,01 <b>a A</b>	14,23 <b>b B</b>	20,12 <b>ab A</b>
	15	17,99 <b>a A</b>	20,49 <b>a A</b>	17,57 <b>a A</b>
Perpendicular	6	29,58 <b>ab A</b>	24,18 <b>b B</b>	32,93 <b>a A</b>
	15	31,36 <b>a A</b>	33,39 <b>a A</b>	30,41 <b>a A</b>
<b>Altura total do perfil (Rt)</b>				
Sentido	Velocidade de avanço ( $m \cdot min^{-1}$ )	Região		
		Externa	Intermediária	Central
Paralelo	6	32,61 <b>a A</b>	21,06 <b>b B</b>	29,73 <b>ab A</b>
	15	27,86 <b>a A</b>	30,82 <b>a A</b>	27,92 <b>a A</b>
Perpendicular	6	42,18 <b>ab A</b>	35,81 <b>b B</b>	48,74 <b>a A</b>
	15	45,93 <b>a A</b>	50,46 <b>a A</b>	44,96 <b>a A</b>
<b>Rugosidade média (Ra)</b>				
Sentido	Velocidade de avanço ( $m \cdot min^{-1}$ )	Região		
		Externa	Intermediária	Central
Paralelo	6	3,66 <b>a A</b>	2,34 <b>b B</b>	3,53 <b>ab A</b>
	15	3,30 <b>a A</b>	3,55 <b>a A</b>	2,98 <b>a A</b>
Perpendicular	6	5,39 <b>ab A</b>	4,57 <b>b B</b>	6,24 <b>a A</b>
	15	5,78 <b>a A</b>	5,94 <b>a A</b>	5,27 <b>a A</b>

Médias seguidas por letras minúsculas distintas mostram diferenças significativas na mesma linha, pelo teste de Tukey, a 5% de significância, e por letras maiúsculas, na mesma coluna.

Fonte: Do autor (2020).

A madeira de Jamelão possui diferença significativa entre as regiões apenas na  $V_f$  de  $6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  no sentido perpendicular de leitura para todos os parâmetros, sendo a região central a que possui maior média. Silva et al. (2015) afirmam que a rugosidade das superfícies de madeira juvenil é maior do que nas superfícies de madeira adulta. As médias de  $R_p$ ,  $R_z$ ,  $R_t$  e  $R_a$  apresentaram diferença significativa entre as velocidades de avanço, apenas na região externa no sentido perpendicular de leitura, sendo a  $V_f$  de  $6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  a que apresentou menor média (Tabela 33).

Na madeira de Sombreiro verificou-se que há diferença significativa entre as regiões apenas quando o aplainamento é realizado na  $V_f$   $6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  nos dois sentidos de leitura para todos os parâmetros, sendo a região intermediária a que possui menor média (Tabela 34). Os parâmetros de rugosidade apresentaram diferença significativa nas velocidades de avanço de  $6$  e  $15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  apenas na região intermediária, nos dois sentidos de leitura (Tabela 34). O aplainamento na  $V_f$  de  $6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  proporcionou menor média dos parâmetros de rugosidade. Lopes et al. (2014) também observaram que menores velocidades de avanço promovem menores valores de  $R_a$ , indicando melhor qualidade da superfície da madeira.

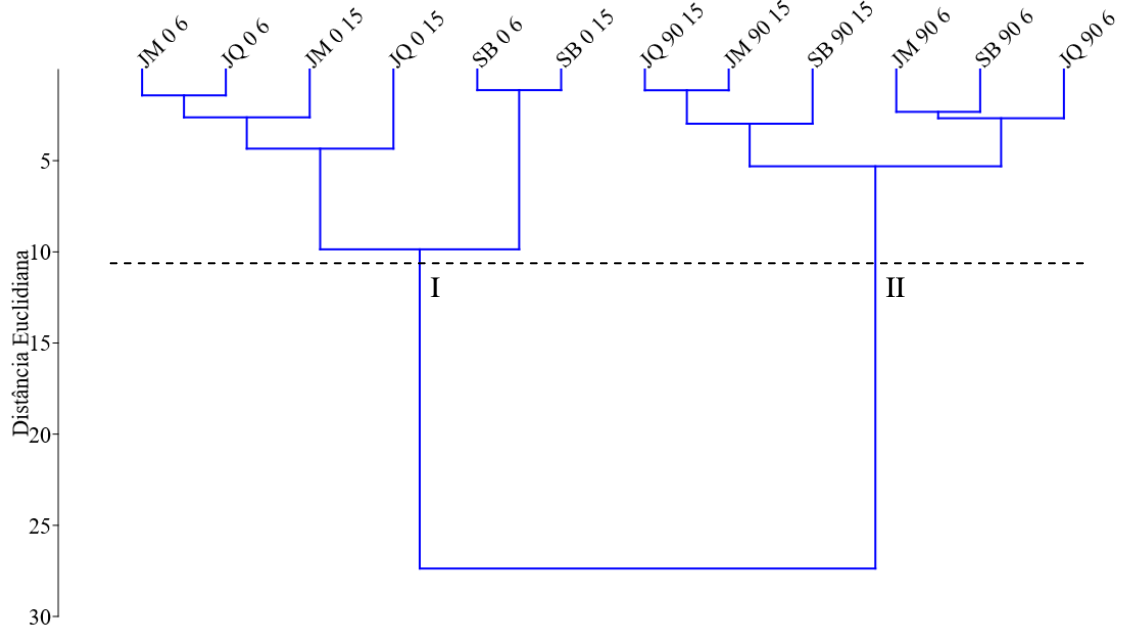
No dendrograma obtido pela análise de agrupamento (Figura 34) ao realizar um corte na distância Euclidiana de 11 obtemos dois grupos. Para validar o agrupamento é necessário avaliar o coeficiente cofenético ( $r$ ), que foi de 0,93, esse valor valida a consistência do padrão de agrupamento, pois valores próximos a um indicam melhor representação (BARROSO; ARTES, 2003 e CRUZ; CARNEIRO, 2003). Dessa forma, dois grupos distintos foram obtidos, o grupo I quando a leitura da rugosidade foi feita paralela às fibras e o grupo II quando a rugosidade foi obtida no sentido perpendicular às fibras. Assim, o sentido de leitura é um fator importante ao analisar a rugosidade da madeira.

Ao realizar a leitura dos parâmetros de rugosidade no sentido perpendicular às fibras, obtiveram-se médias entre 36 a 144% maiores do que quando a leitura foi feita no sentido paralelo às fibras. Na Figura 36 compararam-se os perfis de rugosidade da madeira de Jaqueira no sentido paralelo e perpendicular, notou-se que em ambas as velocidades de avanço de  $6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  (Figura 35A) e  $15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  (Figura 36B) ocorreu o mesmo comportamento, no sentido de leitura perpendicular os picos e vales possuem maior amplitude.

Vitosyté et al (2015) observaram que ao realizar a leitura da rugosidade da superfície da madeira no sentido perpendicular às fibras o valor era 1,46 vezes maior em comparação com o paralelo às fibras. Gurau (2010) também observou que os parâmetros lidos perpendicular às fibras foram mais altos do que paralelos às fibras, afirmando que as

superfícies de madeira devem ser medidas na direção que forneça os valores máximos das irregularidades. O mesmo autor ainda observou que a direção de medição perpendicular às fibras (e perpendicular as marcas de lixamento) foi mais adequada para uma maior separação das marcas de lixamento da anatomia da madeira.

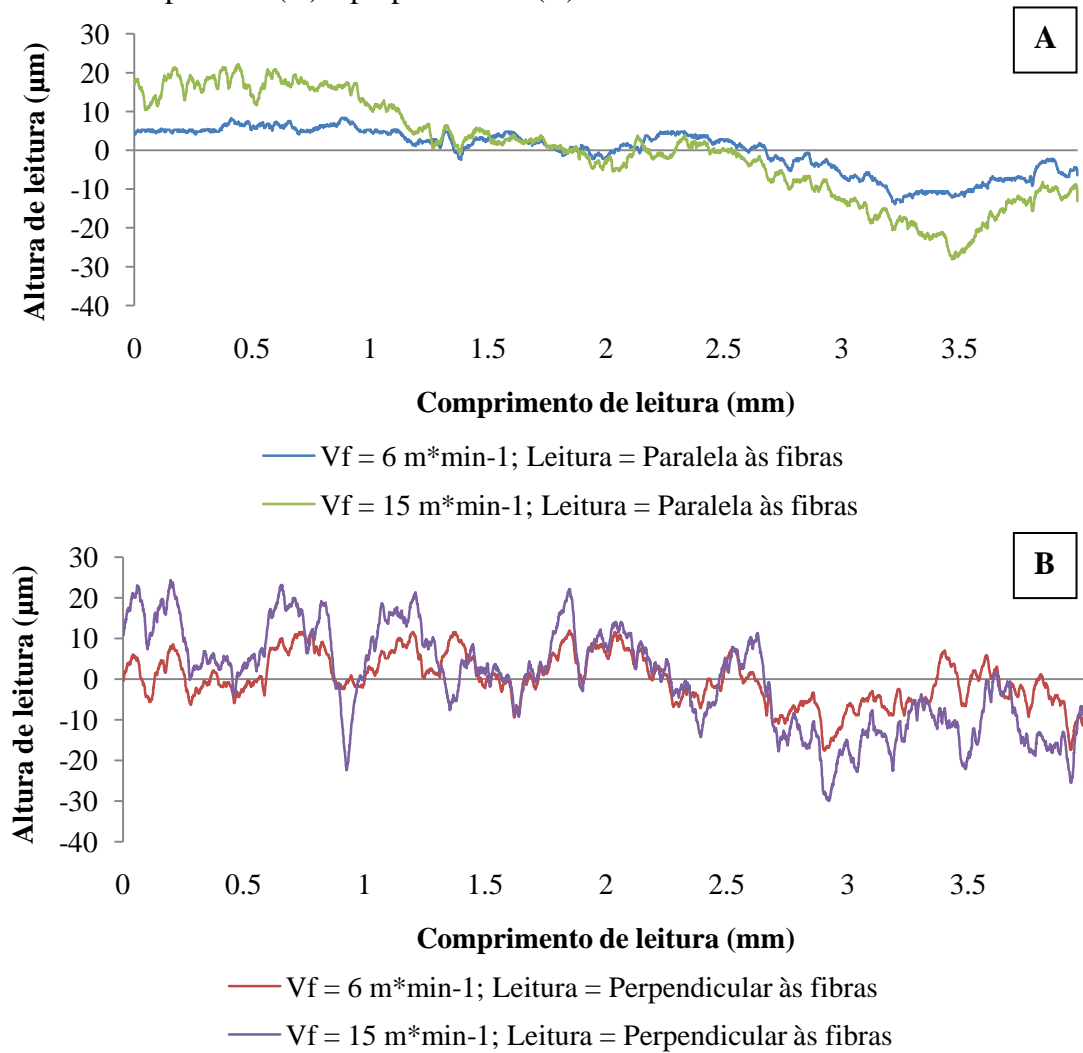
Figura 34 - Dendrograma de agrupamento dos parâmetros de rugosidade, em função da espécie, do sentido de leitura e da velocidade de avanço.



Legenda: JQ = Jaqueira; JM = Jamelão; SB = Sombreiro; 0 = leitura no sentido paralelo às fibras; 90 = leitura no sentido perpendicular às fibras; 6 = velocidade de avanço de  $6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ; 15 = velocidade de avanço de  $15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ .

Fonte: Do autor (2020).

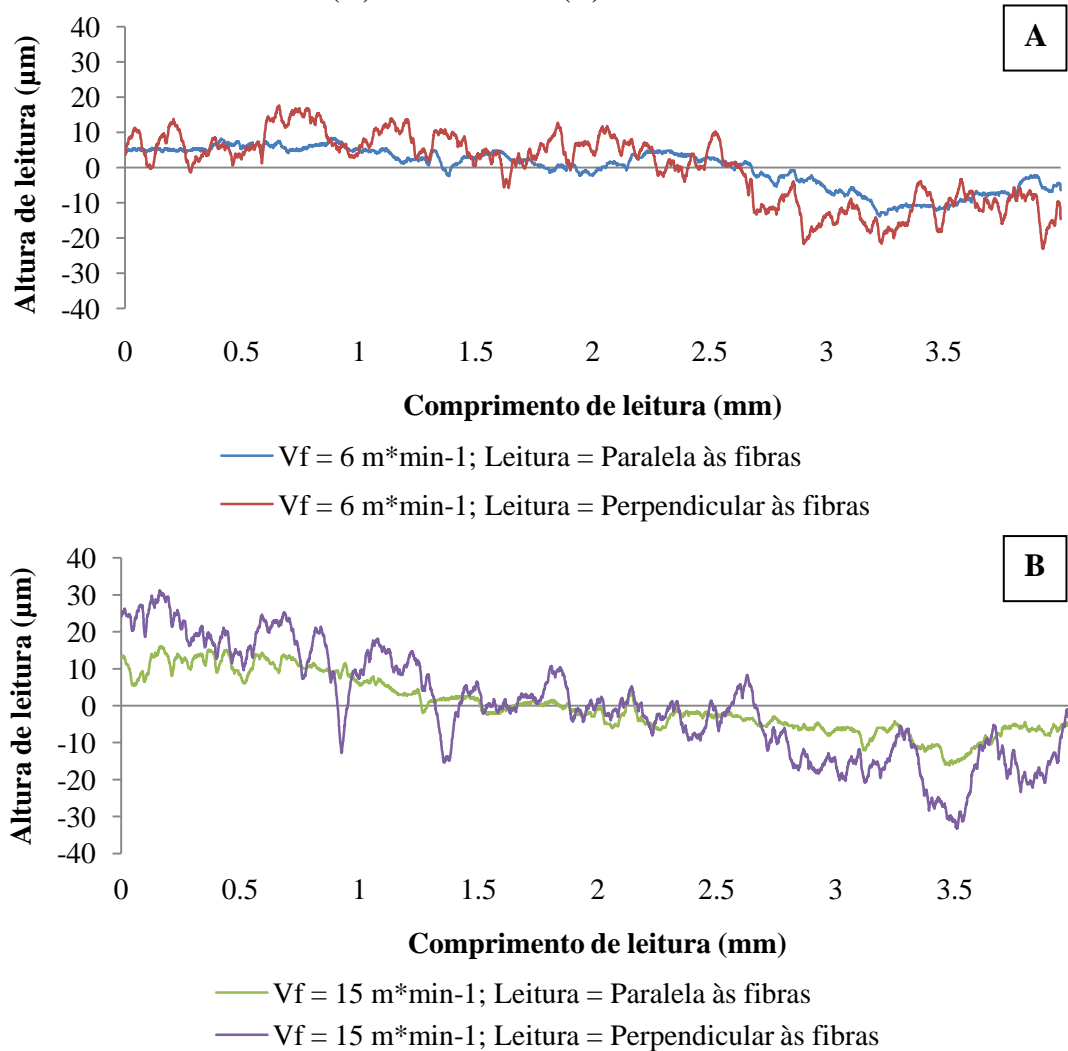
Figura 35 - Comparação do perfil de rugosidade superficial da madeira de Jaqueira, em função das velocidades de avanço de 6 e 15  $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ , no sentido de leitura paralelo (A) e perpendicular (B) às fibras.



Fonte: Do autor (2020).



Figura 36 – Comparação do perfil de rugosidade superficial da madeira de Jaqueira, em função do sentido de leitura paralelo e perpendicular, nas velocidades de avanço de  $6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  (A) e  $15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  (B).



Fonte: Do autor (2020).

### 3.4 Correlação entre rugosidade e avaliação visual

A Tabela 35 apresenta a correlação entre a densidade aparente, as notas atribuídas na avaliação visual e os parâmetros de rugosidade obtidos por leituras paralelo e perpendicular às fibras, de madeiras aplainadas na velocidade de avanço de  $6$  e  $15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ .

Tabela 35 - Correlação entre densidade aparente, notas atribuídas na avaliação visual e parâmetros de rugosidade obtidos por leituras paralelo e perpendicular às fibras, de madeiras apainadas na velocidade de avanço de 6 e 15 m\*min<sup>-1</sup>.

Velocidade de avanço (m*min <sup>-1</sup> )	Sentido	Parâmetros de rugosidade	P6	P15	MT	MA	FSI	FSF
6	Paralelo	Rp	0,65*	0,10	0,26*	0,40*	0,36*	0,33*
		Rv	0,65*	0,12	0,18	0,31*	0,34*	0,26*
		Rz	0,66*	0,11	0,22	0,36*	0,36*	0,30*
		Rt	0,58*	0,04	0,15	0,29*	0,32*	0,25
		Ra	0,65*	0,09	0,23	0,37*	0,36*	0,29*
	Perpendicular	Rp	0,35*	-0,03	0,41*	0,27*	0,21	0,28*
		Rv	0,24	-0,04	0,15	0,11	0,05	0,12
		Rz	0,30*	-0,04	0,28*	0,19	0,12	0,20
		Rt	0,26	-0,01	0,31*	0,15	0,04	0,16
		Ra	0,31*	-0,04	0,38*	0,23	0,20	0,29*
15	Paralelo	Rp	0,26*	0,44*	0,35*	0,11	0,38*	0,34*
		Rv	0,22	0,37*	0,27*	0,08	0,26	0,26*
		Rz	0,24	0,41*	0,32*	0,10	0,33*	0,30*
		Rt	0,23	0,41*	0,28*	0,09	0,31*	0,30*
		Ra	0,23	0,38*	0,31*	0,09	0,35*	0,28*
	Perpendicular	Rp	0,14	0,35*	0,20	0,14	0,31*	0,23
		Rv	-0,03	0,20	0,03	-0,01	0,17	0,13
		Rz	0,04	0,28*	0,11	0,06	0,25	0,18
		Rt	0,06	0,24	0,10	0,02	0,25	0,21
		Ra	0,06	0,25	0,12	0,08	0,26*	0,17
Densidade aparente			-0,36*	-0,46*	-0,53*	-0,15	-0,42*	-0,19

Legenda: \*Significativo p<0,05. Rp = distância vertical do pico mais alto no comprimento de medição; Rv = vale mais profundo no comprimento de medição; Rz = rugosidade total; Rt = rugosidade máxima; Ra = rugosidade média; P6 = nota do apainamento na V<sub>f</sub> de 6 m\*min<sup>-1</sup>; P15 = nota do apainamento na V<sub>f</sub> de 15 m\*min<sup>-1</sup>; MT = Moldura topo; MA = Moldura axial; FSI = Fresagem sinuosa início; FSF = Fresagem sinuosa final;

Fonte: Do autor (2020).

Observou-se que todos os parâmetros de rugosidade no sentido de leitura paralela às fibras e com superfície apainada na V<sub>f</sub> de 6 m\*min<sup>-1</sup>, apresentaram correlação significativa para a nota da avaliação visual da superfície apainada com V<sub>f</sub> de 6 m\*min<sup>-1</sup>, da moldura axial, da fresagem sinuosa do início, e na fresagem sinuosa no final do processamento, apenas o Rt não teve correlação significativa.

Os parâmetros de rugosidade no sentido de leitura paralela às fibras e com superfície apainada na V<sub>f</sub> de 15 m\*min<sup>-1</sup>, apresentaram correlação significativa para as notas da avaliação visual da superfície apainada com V<sub>f</sub> de 15 m\*min<sup>-1</sup>, da moldura de topo, da

fresagem sinuosa no final do processamento, apenas o Rv na fresagem sinuosa do início do processamento não teve correlação significativa.

Dessa forma, com base nesses resultados constatou-se que a avaliação visual correspondeu aos parâmetros de rugosidade quando feita a leitura paralela às fibras. No sentido de leitura perpendicular houve poucas correlações com a avaliação visual. Pereira (2017) realizou as leituras de rugosidade no sentido perpendicular às fibras e verificou que a avaliação visual pouco correspondeu aos parâmetros de rugosidade superficial, obtendo correlações fracas entre as variáveis. Fujiwara et al. (2005) ressaltam a importância de estudar as correlações entre os parâmetros quantitativos e as avaliações visual e tátil, por serem essas avaliações frequentemente utilizadas nas indústrias de produtos de madeira.

A densidade aparente apresentou correlação significativa e negativa para as notas de aplainamento nas duas velocidades, exceto para moldura axial e fresagem sinuosa no final do processamento. Portanto, madeiras com maior densidade possuem superfície usinada de melhor qualidade, o que corrobora com KMINIAK; GAFF (2015) que afirmam que quanto mais densa a madeira, menor a rugosidade superficial. Lopes et al. (2014) observou que a qualidade da superfície da madeira usinada relacionou-se com a densidade, da seguinte maneira maior densidade básica propicia qualidade superior.

Madeiras de maior densidade apresentam menor valor de rugosidade superficial, pela relação da densidade/resistência mecânica e pela dificuldade de penetração dos dentes do equipamento, influenciando no esforço de corte e acabamento final da superfície da madeira (AGUILERA; MARTIN, 2001; MCKENZIE et al., 2001; NÉRI et al., 1999).

### 3.5 Correlação das características anatômicas, da avaliação visual e da rugosidade

A Tabela 36 mostra a correlação das características anatômicas, das notas da avaliação visual da moldura de topo e aplainamento na velocidade de avanço de  $6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  e dos parâmetros rugosidade obtidos no sentido paralelo às fibras.

Tabela 36 - Correlação das características anatômicas, notas da avaliação visual para a moldura de topo e aplainamento na velocidade de avanço de  $6 \text{ m}^*\text{min}^{-1}$  e parâmetros de rugosidade obtidos paralelo às fibras.

Características anatômicas	$V_f = 6 \text{ m}^*\text{min}^{-1}$ Sentido = Paralelo às fibras						
	MT	Plaina	Rp	Rv	Rz	Rt	Ra
Frequência de vasos	-0,56*	-0,64*	-0,59*	-0,51	-0,56*	-0,53	-0,49
Diâmetro de vasos	0,48	0,44*	0,61*	0,52	0,58*	0,63*	0,60*
Comprimento de fibras	-0,54	-0,61*	-0,47	-0,30	-0,39	-0,28	-0,29
Altura dos raios	-0,61*	-0,47	-0,70*	-0,49	-0,60*	-0,52	-0,57*

Legenda: \*Significativo  $p < 0,05$ . MT = moldura topo; Plaina = nota do aplainamento na  $V_f$  de  $6 \text{ m}^*\text{min}^{-1}$ ; Rp = distância vertical do pico mais alto no comprimento de medição; Rv = vale mais profundo no comprimento de medição; Rz = rugosidade total; Rt = rugosidade máxima; Ra = rugosidade média.

Fonte: Do autor (2020).

Em relação aos vasos, a frequência dos mesmos apresentou correlação forte e negativa para as notas atribuídas ao aplainamento na  $V_f$  de  $6 \text{ m}^*\text{min}^{-1}$ . E correlação moderada e negativa para as notas de moldura de topo e para os parâmetros de rugosidade Rp e Rz. Assim, quanto maior a frequência de vasos melhor será a qualidade da superfície. Verificou-se que quanto maior a frequência de vasos, menores foram os picos (Rp) altura máxima do perfil (Rz). Pereira et al. (2018) observou que a frequência de vasos é um dos parâmetros anatômicos que influencia na rugosidade da madeira.

O diâmetro de vasos possui correlação forte e positiva para os parâmetros de rugosidade Rp, Rz, Rt e Ra. Assim, quanto maior os vasos, maior será os picos (Rp), a altura máxima do perfil (Rz), a altura total do perfil (Rt) e a rugosidade média (Ra). Esse fato também foi observado por Pereira et al. (2018) que verificou que madeiras de textura fina (menores diâmetros de vasos) apresentaram menor rugosidade superficial do que as madeiras de textura grossa. Para o presente estudo não foi possível a separação das espécies por textura, visto que as três espécies possuem textura média. Contudo observou que a distribuição dos elementos anatômicos influi na rugosidade da madeira. A variação do tamanho e da quantidade de vasos entre espécie ou mesmo dentro de mesma espécie de madeira afeta a rugosidade da superfície (CSANÁDY et al., 2015).

O comprimento de fibras apresentou correlação forte e negativa em relação às notas atribuídas ao aplainamento na  $V_f$  de  $6 \text{ m}^*\text{min}^{-1}$ , ou seja, quanto maior as fibras melhor a qualidade da superfície usinada. A presença de fibras com maior comprimento possivelmente evita seu brusco arrancamento, com possível formação de orifícios ou arpejamentos (SILVA et al., 2005).

Foi observada para a altura dos raios correlação forte e negativa para as notas atribuídas a moldura de topo  $R_p$ ,  $R_z$  e  $R_a$ . Quanto menor a altura dos raios, maiores serão os picos ( $R_p$ ), a altura máxima do perfil ( $R_z$ ) e a rugosidade média ( $R_a$ ). A agulha do rugosímetro ao percorrer paralelamente às fibras irá atravessar os raios e quanto mais curtos propiciará maiores variações de picos e vales.

A rugosidade superficial da madeira depende do processamento e das características anatômicas, visto que o material possui cavidades celulares que são independentes de qualquer processamento (GURAU et al., 2005). Quando a rugosidade devido à anatomia é maior que a rugosidade devido ao processamento, processar dados com filtros de padrões gerais atuais, como o filtro Gauss da ISO 11562 (1996), causam um tipo de distorção conhecida como “flexão” (KRISH; CHIHA 1999), especialmente em áreas com poros agrupados (GURAU et al., 2005). Independentemente da distorção, irregularidades anatômicas podem obscurecer o padrão da rugosidade do processamento, especialmente quando um tamanho de grão fino de lixa for utilizado (GURAU et al., 2005).

Quando as ranhuras provocadas pela usinagem são mais finas que o tamanho médio do vale da anatomia da madeira, o resultado do parâmetro de rugosidade será dominado pela anatomia (HENDATO et al., 2006). Essa afirmação explica o fato de que no presente estudo as características anatômicas apresentarem correlação apenas com a superfície usinada com  $V_f$  de  $6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  e no sentido de leitura paralela às fibras. Pois, quando aplainadas na  $V_f$  de  $15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  os defeitos da usinagem da madeira são mais proeminentes do que a anatomia, anulando a correlação entre os parâmetros de rugosidade e as características anatômicas.

#### 4 CONCLUSÕES

A madeira de Jaqueira possui qualidade da superfície usinada de boa a regular, a madeira de Jamelão de excelente a boa e a madeira de Sombreiro de boa a regular, de acordo com a análise visual.

O aumento da velocidade de avanço de 6 para  $15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , diminuiu a qualidade da superfície da madeira de Jaqueira de excelente a boa, para regular a ruim e na região intermediária do Sombreiro de boa para regular.

Os parâmetros de rugosidade obtidos a partir de leituras no sentido perpendicular às fibras possuem acréscimo de 36 a 144% quando comparados a leituras realizadas paralelo às fibras.

A avaliação visual possui correlação com os parâmetros de rugosidade quando a leitura é feita paralela às fibras.

A distribuição dos elementos anatômicos possui grande influência na qualidade das superfícies usinadas com velocidade de avanço de  $6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ . Madeiras que possuem maior frequência de vasos têm melhor qualidade no aplainamento e menores valores de  $R_p$  e  $R_z$ . Maiores diâmetros de vasos propiciou maiores valores de  $R_p$ ,  $R_z$ ,  $R_t$  e  $R_a$ . Madeiras com fibras maiores apresentaram melhor qualidade no aplainamento. Maiores alturas de raios proporcionaram melhor qualidade na moldura de topo e menores valores de  $R_p$ ,  $R_z$  e  $R_a$ .

O aplainamento com velocidade de avanço de  $6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  propiciou parâmetros de rugosidade mais influenciados pela anatomia, do que pelos defeitos de usinagem.

As madeiras de Jaqueira e Jamelão possuem potencial para serem utilizadas como matéria-prima para a confecção de móveis.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O comportamento das árvores de Jaqueira, Jamelão e Sombreiro dentro de uma floresta são de fuste retilíneo. Essa característica é de importância para a produção de produtos serrados, visto que isto confere melhor aproveitamento no desdobro. A Jaqueira apresenta maior crescimento em altura e desrama natural, o Jamelão apresenta maior crescimento em diâmetro. Devido ao maior crescimento diamétrico, as árvores de Jamelão possuem maior volume de toras serradas dentre as três espécies. As características de conicidade e achatamento apresentadas pelas toras das espécies não diminuíram o rendimento de desdobro.

As espécies durante o processo de secagem apresentaram baixa tendência a empenamentos, moderada incidência de rachaduras de topo e superfície, não apresentando colapso e podem ser agrupadas em único programa de secagem. Por apresentar baixa incidência de defeitos durante a secagem da madeira, diminui o índice de perdas por defeitos e adiciona maior valor agregado ao material.

A madeira de Sombreiro e o alburno (região externa) da madeira de Jaqueira apresentaram susceptibilidade ao ataque de agentes xilófagos (fungos e insetos), para sua utilização como produto madeireiro seria necessário realizar tratamento com substâncias preservantes. A madeira de Jaqueira da região intermediária e central não possui essa susceptibilidade devido aos teores elevados de extrativos, o que confere resistência aos agentes xilófagos.

Devido a susceptibilidade ao ataque de agentes xilófagos, baixa resistência mecânica e qualidade da superfície regular, a madeira de Sombreiro é limitada a utilizações de baixo valor agregado de uso temporário, como exemplo formas de concreto utilizadas na construção civil.

A madeira de Jaqueira e Jamelão apresentaram boa trabalhabilidade, qualidade da superfície satisfatória e contrações baixas o que as tornam adequadas para produtos com maior valor agregado, como móveis, esquadrias, forros. A madeira de Jaqueira ainda possui a característica de ser de baixa densidade e ter coloração atraente para o mercado consumidor.

A madeira de Jamelão possui densidade média e mostrou-se ter resistência mecânica adequada para ser utilizada na construção civil como vigas, caibros, pranchas, tesouras, terças, colunas, ripas, moirões, cercas.

As madeiras de Jaqueira e Jamelão apresentam potencial para serem utilizadas em pisos, devido à boa qualidade da superfície e dureza adequada. Sugere-se a realização dos ensaios específicos para pisos para obter-se a comprovação.

## REFERÊNCIAS

- AGUILERA, A.; MARTIN, P. Machining qualification of solid wood of *Fagus sylvatica* and *Picea excelsa*: cutting forces, power requirements and surface roughness. **Holz als Rohun Werkstoff**, v. 59, n. 6, p. 483-488, 2001.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 1666-11: standard method for conducting machining tests of wood and wood base materials. Philadelphia, 2011. 20 p.
- CSANÁDY, E.; MAGOSS, E.; TOLVAJ, L. **Quality of machined wood surfaces**. Springer International Publishing Switzerland, 2015.
- CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 2003. 255 p.
- FUJIWARA, Y.; FUJII, Y.; OKUMURA, Y. Relationship between roughness parameters based on material ratio curve and tactile roughness for sanded surfaces of two hardwoods. **J. Wood Science**, v. 51, p. 274-277, 2005.
- GURAU, L.; MANSFIELD-WILLIAMS, H.; IRLE, M. Processing roughness of sanded wood surfaces. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v. 63, n. 1, p. 43-52, 2005.
- GURAU, L. An objective method to measure and evaluate the quality of sanded wood surfaces. **Proceedings...The Future of Quality Control for Wood & Wood Products**, 2010.
- GURAU, L.; IRLE, M. Surface roughness evaluation methods for wood products: A review. **Current Forestry Reports**, v. 3, n. 2, p. 119-131, 2017.
- HENDARTO, Benny et al. Analysis of roughness of a sanded wood surface. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 28, n. 7-8, p. 775-780, 2006.
- ISO 11562. Geometrical product specifications (GPS) - Surface texture: profile method—Metrological characteristics of phase correct filters. British Standards Institute, London. 1996.
- JAKUB, S; MARTINO, N. **Wood surface roughness—what is it?** Proc IWMS, v. 17, p. 242-250, 2005.
- KMINIAK, R.; GAFF, M. Roughness of surface created by transversal sawing of spruce, beech, and oak wood. **BioResources**, v. 10, n. 2, p. 2873-2887, 2015.
- LOPES, C. S. D.; NOLASCO, A. M.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C. T. D. S. Avaliação da rugosidade superficial da madeira de *Eucalyptus* sp submetida ao fresamento periférico. **Cerne**, v. 20, n. 3, p. 471-476, 2014.
- MCKENZIE, W. M.; CVITKOVIC, K. R.; RINGLER, M. Towards a model predicting cutting forces and surfaces quality in routing layered boards. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 35, p. 563-569, 2001.



NÉRI, A. C.; GONÇALVES, R.; HERNANDEZ, R. E. Forças de corte ortogonal 90-0 em três espécies de madeira de eucalipto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 2, p. 239-244, 1999.

PEREIRA, K. M. **Análise Físico-Química e Molhabilidade da Superfície de Madeiras Amazônicas**. 2017. 103 p. Tese (Doutorado em Ciência Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2017.

PEREIRA, K. M. GARCIA, R. A.; DO NASCIMENTO, A. M. Surface roughness of Amazonian woods. **Scientia Forestalis**, n. 119, p. 347-356, 2018.

SILVA, J. R. M.; MORI, F. A.; RABELO, G. F.; BRAGA JÚNIOR, R. A. Interação da luz laser para a avaliação da textura de madeiras nativas e de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 167-175, 2005.

SILVA DE C. J.; DE CASTRO, V. R.; EVANGELISTA, W. V. Influência da idade na usinabilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, visando uso na indústria moveleira **Scientia Forestalis**. v. 43, n. 105, p. 117-125, 2015.

VITOSYTĚ, J.; UKVALBERGIENĚ, K.; KETURAKIS, G. Wood surface roughness: an impact of wood species, grain direction and grit size. **Materials Science**, v. 21, n. 2, p. 255-259, 2015.

VALENTIN, J. L. (2000). **Ecologia numérica: uma introdução à análise multivariada de dados ecológicos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2000.

WILKOWSKI, JACEK; ZEREBIEC, B.; CZARNIAK, PAWEŁ. Analysis of surface roughness in wood milling. **Ann. Warsaw Univ. Life Sci.–SGGW For. Wood Technol**, v. 72, p. 474-479, 2010.