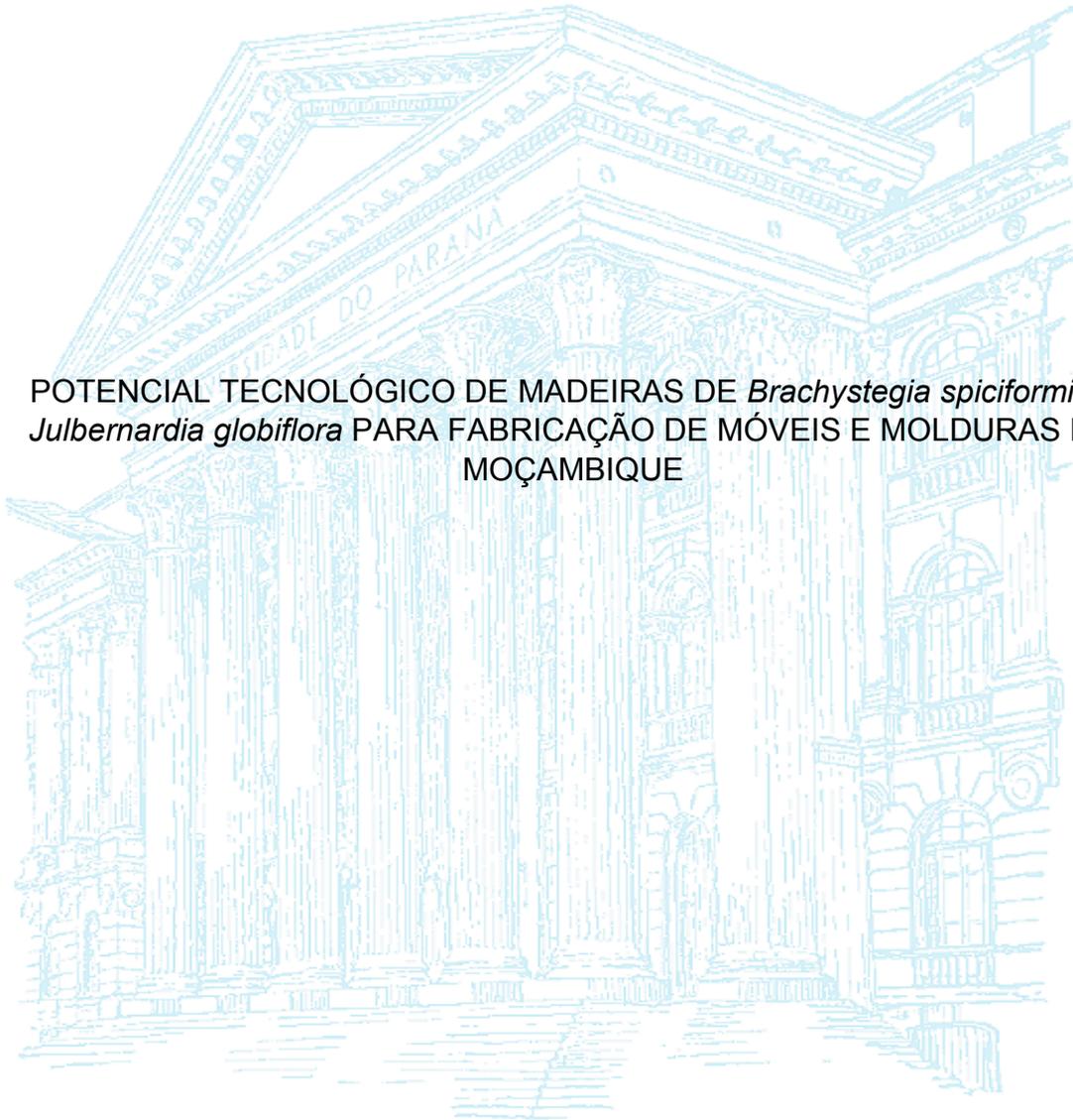


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

NARCISO FERNANDO BILA

POTENCIAL TECNOLÓGICO DE MADEIRAS DE *Brachystegia spiciformis* e
Julbernardia globiflora PARA FABRICAÇÃO DE MÓVEIS E MOLDURAS EM
MOÇAMBIQUE



CURITIBA-PR

2020

NARCISO FERNANDO BILA

POTENCIAL TECNOLÓGICO DE MADEIRAS DE *Brachystegia spiciformis* e
Julbernardia globiflora PARA FABRICAÇÃO DE MÓVEIS E MOLDURAS EM
MOÇAMBIQUE

Tese apresentada ao curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de doutor em Engenharia Florestal, Área de Concentração de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Orientador: Prof.^a Dr.^a. Rosilani Trianoski
Coorientadores: Prof. Dr. Andrade F. Egas
Prof. Dr. Marcio P. da Rocha
Prof. Dr. Setsuo Iwakiri

Curitiba-PR

2020

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Bila, Narciso Fernando

Potencial tecnológico de madeiras de *brachystegia spiciformis* e *julbernardiaglobiflora* para fabricação de móveis e molduras em Moçambique / Narciso Fernando Bila. - Curitiba, 2020.

110 f. : il.

Orientadora: Profa. Dra. Rosilani Trianoski

Coorientadores: Prof. Dr. Andrade Fernando Egas

Prof. Dr. Marcio Pereira da Rocha; Setsuo Iwakiri

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 14/10/2020.

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais

1. Madeira - Qualidade - Moçambique. 2. Indústrias madeireiras - Moçambique. 3. Desenvolvimento sustentável. 4. Madeira - Produtos. 5. Teses. I. Trianoski, Rosilani. II. Egas, Andrade Fernando. III. Rocha, Marcio Pereira. IV. Iwakiri, Setsuo. V. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. VI. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.851(679)

Bibliotecária: Berenice Rodrigues Ferreira – CRB 9/1160



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA
FLORESTAL - 40001016015P0

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **NARCISO FERNANDO BILA** intitulada: **POTENCIAL TECNOLÓGICO DE MADEIRAS DE *Brachystegia spiciformis* E *Juibernardia globiflora* PARA FABRICAÇÃO DE MÓVEIS E MOLDURAS EM MOÇAMBIQUE**, sob orientação da Profa. Dra. ROSILANI TRIANOSKI, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa. A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 14 de Outubro de 2020.

Assinatura Eletrônica
14/10/2020 20:51:48.0
ROSilANI TRIANOSKI
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica
15/10/2020 19:38:55.0
SILVIANA ROSSO
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA)

Assinatura Eletrônica
15/10/2020 20:07:43.0
CARLOS EDUARDO CAMARGO DE ALBUQUERQUE
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
15/10/2020 10:59:29.0
ADAUTO JOSÉ MIRANDA DE LIMA
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
14/10/2020 20:49:41.0
JORGE LUIS MONTEIRO DE MATOS
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
16/10/2020 09:04:40.0
ALEXSANDRO BAYESTORFF DA CUNHA
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA)

À minha Esposa Maria Amélia e filha Kédna
Aos meus pais José F. Bila e Regina Vasco M. Bila
Aos meus irmãos Vitória, Rita, Zito e Dinho
À família Bila no geral.....

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Paraná, Universidade Eduardo Mondlane em especial ao Departamento de Engenharia Florestal pela oportunidade oferecida para minha formação;

Ao MCTESTP- Ministério da Ciência e Tecnologia, Ensino Superior e Técnico Profissional de Moçambique pela bolsa de estudo e ao projeto FORECAS pelo apoio na coleta de material de pesquisa;

À minha orientadora, Prof^a. Rosilani Trianoski pelos valiosos ensinamentos e incentivos durante todo o desenvolvimento deste trabalho;

Aos meus co-orientadores, Prof. Dr. Andrade Fernando Egas, Prof. Dr. Setsuo Iwakiri e ao Prof. Dr. Márcio Pereira da Rocha pelas sugestões, críticas e auxílio na redação da tese;

Ao Mauro Tavora pela ajuda na preparação dos sarrafos e confecção dos corpos-de-prova;

Agradeço a minha família formidável, motivo de meu orgulho e que sempre me auxiliou na busca de ser uma pessoa melhor, sempre desejando sorte e forças para que este doutorado fosse concluído com êxito;

Aos companheiros e amigos de laboratório de painéis de madeira, Leticia Zimmermann, Renan Zunta Raia, Thiago Sousa da Rosa, Giuliano Ferreira, Josiane Keffer pela amizade e convívio;

A todos os que contribuíram de forma direta ou indireta para a conclusão deste trabalho, o meu muito Khanimambo (obrigado).

BIOGRAFIA

Narciso Fernando Bila, Filho da Regina Vasco Mouzinho Bila e de Fernando José Bila, de nacionalidade moçambicana, Engenheiro Florestal pela Universidade Eduardo Mondlane (2006). Mestrado em Engenharia Florestal (2014) na linha de pesquisa de Painéis de madeira e Doutorado em Engenharia Florestal (2020) na linha de pesquisa de Usinagem, Colagem e Acabamento da madeira, ambos pela Universidade Federal do Paraná. É Pesquisador auxiliar do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Eduardo Mondlane, atuando no curso de graduação em Engenharia Florestal e no Programa de Pós Graduação em Tecnologia da madeira. Tem experiência nas áreas de caracterização física e mecânica de espécies florestais e produtos de base florestal, painéis de madeira sólida (EGP) e reconstituída, adesivos para madeira, acabamento superficial de madeiras e produtos de madeira, processamento primário, usinagem e controle da qualidade de produtos de base florestal.

RESUMO

A caracterização tecnológica da madeira das espécies pouco valorizadas no mercado moçambicano, é de suma importância para possíveis utilizações em vários segmentos da indústria madeireira, ou ainda, em substituição das espécies tradicionalmente usadas como *Azelia quanzensis*, *Pterocarpus angolensis* e *Millettia stuhlmannii*. Desta forma, pode-se aumentar as opções de espécies disponíveis, bem como, para o desenvolvimento e geração de novos produtos de maior valor agregado. Neste contexto, o presente estudo objetivou avaliar o potencial tecnológico da madeira das messassas *Brachystegia spiciformis* (Benth) e *Julbernardia globiflora* (Benth) Troupin. para utilização na indústria de móveis e de molduras. O material de pesquisa foi proveniente da floresta Moçambicana nas coordenadas WSG84 17°18'22" S, 37°38'26" W. Foram determinadas as propriedades físicas e químicas, a trabalhabilidade das espécies através de ensaios de usinagem, a qualidade de colagem em adesivo polivinil acetato (PVA D3, PVA D4) e emulsão polimérica de isocianato (EPI), bem como o comportamento das espécies perante três produtos de acabamento (base água, copal e poliuretano) com base em normas técnicas. Os resultados demonstraram que a madeira da *B. spiciformis* (0,67 g.cm⁻³) e da *J. globiflora* (0,68 g.cm⁻³) é de média densidade e possui boa estabilidade dimensional com anisotropia entre 1,63 e 1,78, respectivamente. Tanto a *B. spiciformis*, como a *J. globiflora* apresentaram altos teores de extrativos (15,66 a 19,6)% e de lignina total (29,67 a 30,84)% característicos de madeira tropical. Quanto a usinagem, as espécies apresentaram bom desempenho e índice de aprovação acima de 70% em todas operações ensaiadas nomeadamente: aplainamento, moldura lateral, moldura de topo, fresagem axial e transversal, perfilagem axial sinuoso, rasgo, furação para cavilha e dobradiça. Os valores médios de qualidade de colagem indicaram melhor performance em ambas espécies do adesivo EPI em comparação aos adesivos PVA D3 e PVA D4. A gramatura ideal para colagem compreende intervalo de (120 a 180) g.m⁻², sendo o extremo inferior a proporcionar maior economia de adesivo. Com base nos resultados da colagem, recomenda-se as duas espécies e o adesivo EPI para a produção de painéis *EGP* de uso interno. Os produtos de acabamento tiveram valores de brilho, impacto, abrasividade e aderência equiparáveis e induziram a uma considerável variação de cor, principalmente na espécie *B. spiciformis*. Conclui-se que as espécies *B. spiciformis* e *J. globiflora* possuem aptidão para serem utilizadas na indústria madeireira moçambicana para produção de produtos de maior valor agregado como móveis e molduras.

Palavras-chave: madeira de messassa, sustentabilidade da floresta, produtos de maior valor agregado, usinagem, colagem, acabamento superficial, indústria madeireira moçambicana.

ABSTRACT

The technological characterization of wood from species that are currently underpriced in the Mozambican market, is of paramount importance for possible uses in various segments of the wood industry, or in substitution of species traditionally used such as *Azelia quanzensis*, *Pterocarpus angolensis* and *Millettia stuhlmannii*, thus increasing the options species that can contribute quantitatively and qualitatively to meet the needs of industries, as well as for the development and generation of new products with greater added value. Thus, this study aimed to evaluate the technological potential of two messassa wood *Brachystegia spiciformis* (Benth) and *Julbernardia globiflora* (Benth) Troupin. for use in the furniture industry. The wood came from Mozambican miombo woodland at coordinates WSG84 17°18'22" S, 37°38'26" W. The wood specie were assessed under physical, chemical, workability, bonding quality on polyvenyl acetate adhesive (PVA D3, PVA D4) and isocyanate polymer emulsion (EPI) as well as the coating performance against three finishing products (water based, copal and polyurethane) based on specific technical standards. The results showed that the wood of *B. spiciformis* (0.67 g.cm⁻³) and *J. globiflora* (0.68 g.cm⁻³) is of medium density and has normal dimensional instability with anisotropy between 1, 63 and 1.78 respectively. Both *B. spiciformis* and *J. globiflora* presented high levels of extractives 15.66 to 19.63% and total lignin 29.67 to 30.84% typical of tropical wood. Regarding machining, the species presented good performance in all tested operations, namely: planing, side frame, top frame, axial and transverse frame, winding axial profiling, tearing, pin and hinge drilling. The average values found in bonding quality test indicated better performance in both species of EPI adhesive compared to PVA D3 and PVA D4 adhesives. The ideal weight for bonding comprises a range of (120 to 180) g.m⁻² being the lower end to provide greater adhesive economy. Based on the results of the bonding, both species and the EPI adhesive are recommended for the production of EGP panels for internal use. The finishing products had similar brightness, impact, abrasiveness and adhesion and induced a considerable color change mainly in *B. spiciformis* species. It was concluded that *B. spiciformis* and *J. globiflora* species are apt to be used in the Mozambican timber industry to produce higher value-added articles such as furniture and frames.

Keywords: messassa wood, forest sustainability, products with higher added value, machining, gluing, surface finishing, Mozambican timber industry.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. LOCAL DE COLETA DE MATERIAL DE ESTUDO.....	18
FIGURA 2. ESQUEMA DE SECCIONAMENTO DA ÁRVORE.....	20
FIGURA 3. MODELO DE DESDOBRIO UTILIZADO PARA OBTENÇÃO DAS TÁBUAS...	20
FIGURA 4. DERRUBADA DE UMA ÁRVORE DA ESPÉCIE <i>Brachystegia spiciformis</i>	23
FIGURA 5. DERRUBADA DE UMA ÁRVORE DA ESPÉCIE <i>Julbernardia globiflora</i>	25
FIGURA 8. CORPO DE PROVA DOS ENSAIOS DE USINAGEM.	51
FIGURA 9. OPERAÇÃO DE APLAINAMENTO DE MADEIRAS DAS ESPÉCIES <i>B.spiciformis</i> E <i>J. globiflora</i>	53
FIGURA 10. OPERAÇÃO DE MOLDURAGEM AXIAL EM MADEIRAS DE <i>B. spiciformis</i> E <i>J. globiflora</i>	53
FIGURA 11. ENSAIO DE RASGO EM MADEIRA DE <i>B. spiciformis</i> E <i>J. globiflora</i>	54
FIGURA 12. OPERAÇÕES DE FRESAMENTO AXIAL E TRANSVERSAL EXECUTADAS EM MADEIRAS DE <i>B. spiciformis</i> E <i>J. globiflora</i>	54
FIGURA 13. OPERAÇÃO DE FURAÇÃO EM MADEIRA DE <i>B. spiciformis</i> E <i>J. globiflora</i> EM FURADEIRA VERTICAL	55
FIGURA 14. EQUIPE DE AVALIADORES DAS OPERAÇÕES DE USINAGEM EM MADEIRAS DE <i>B. spiciformis</i> E <i>J. globiflora</i>	56
FIGURA 15. CLASSES DE QUALIDADE SUPERFICIAL NO APLAINAMENTO DA MADEIRAS DAS ESPÉCIES <i>B. spiciformis</i> E <i>J. globiflora</i>	59
FIGURA 16. RASGO COM PRESENÇA DE ARREPIAMENTO E ARRANCAMENTO DAS FIBRAS EM MADEIRA DE <i>Julbernardia globiflora</i>	60
FIGURA 17. SARRAFOS DE <i>B. spiciformis</i> E <i>J. globiflora</i> UTILIZADOS PARA A MONTAGEM DE JUNTAS <i>FINGER JOINTS</i>	65
FIGURA 18. ESQUEMA DA RETIRADA DOS CORPO DE PROVA NAS JUNTAS COLADAS DAS ESPÉCIES <i>B. spiciformis</i> E <i>J. globiflora</i>	68
FIGURA 19. ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA E DE TRAÇÃO DAS EMENDAS <i>FINGER JOINTS</i> DAS ESPÉCIES <i>B. spiciformis</i> E <i>J. globiflora</i>	67
FIGURA 20. ENSAIO DE CISALHAMENTO	68
FIGURA 21. AMOSTRA COM E SEM COBERTURA EM OURO DA SUPERFÍCIE COLADA NA COLAGEM LATERAL DAS ESPÉCIES <i>B. spiciformis</i> E <i>J. globiflora</i>	69
FIGURA 22. ESTRUTURA GERAL DA LINHA DE COLA NAS JUNTAS COLADAS	79
FIGURA 23. ESTRUTURA DA LINHA DE COLA NOS ENSAIOS.....	79
FIGURA 24. EQUIPAMENTO UTILIZADO PARA O ENSAIO <i>PULL-OFF</i> EM MADEIRA DE <i>B. spiciformis</i> E <i>J. globiflora</i>	84
FIGURA 25. ABRASÍMETRO E CORPO DE PROVA UTILIZADO EM MADEIRA DE <i>B. spiciformis</i> E <i>J. globiflora</i>	85

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. DIÂMETROS DAS ÁRVORES DERRUBADAS POR ESPÉCIE	19
TABELA 2. DIMENSÕES DAS PEÇAS PRODUZIDAS PARA CADA ENSAIO.....	21
TABELA 3. COMPOSIÇÃO QUÍMICA MÉDIA DE MADEIRAS DE CONÍFERAS E FOLHOSAS	27
TABELA 4. CLASSE DOS ADESIVOS DE ACORDO COM O SEU USO	33
TABELA 5. RESULTADOS MÉDIOS DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DAS ESPÉCIES <i>B. spiciformis</i> E <i>J. globiflora</i>	44
TABELA 6. VALORES MÉDIOS DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DAS ESPÉCIES <i>B. spiciformis</i> E <i>J. globiflora</i>	46
TABELA 7. PARÂMETROS DOS ENSAIOS DE USINAGEM UTILIZADOS PARA MADEIRAS <i>B. spiciformis</i> E <i>J. globiflora</i>	52
TABELA 8. NOTAS E CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DA SUPERFÍCIE USINADA	55
TABELA 9. PERCENTAGEM DE PEÇAS EM CADA CLASSE DE QUALIDADE DE SUPERFÍCIE NA USINAGEM.....	57
TABELA 10. NOTAS DE CLASSIFICAÇÃO DAS OPERAÇÕES DE USINAGEM	61
TABELA 11. PROPRIEDADES FÍSICAS DOS ADESIVOS UTILIZADOS.....	64
TABELA 12. PLANO EXPERIMENTAL DA COLAGEM LATERAL.....	66
TABELA 13. RESULTADOS MÉDIOS DA RESISTÊNCIA DAS EMENDAS <i>FINGER - JOINTS</i> EM ENSAIOS DE TRAÇÃO E FLEXÃO.....	70
TABELA 14. SIGNIFICÂNCIA DAS VARIÁVEIS PARA O ENSAIO DE FLEXÃO E TRAÇÃO	72
TABELA 15. RESISTÊNCIA DAS JUNTAS COLADAS AO CISALHAMENTO DAS ESPÉCIES EM ESTUDO	74
TABELA 16. ANÁLISE FATORIAL PARA COLAGEM LATERAL.....	75
TABELA 17. EFEITO DO ADESIVO E DA GRAMATURA NAS JUNTAS COLADAS DA ESPÉCIE <i>Brachystegia spiciformis</i>	75
TABELA 18. EFEITO DO ADESIVO E GRAMATURA NAS JUNTAS COLADAS DA ESPÉCIE <i>Julbernardia globiflora</i>	77
TABELA 19. ESPECIFICAÇÕES DOS VERNIZES UTILIZADOS.....	86
TABELA 20. CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DA VARIAÇÃO DE COR (ΔE)	86
TABELA 21. VALORES MÉDIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO EM ENSAIOS DE ADERÊNCIA DO ACABAMENTO SUPERFICIAL	87
TABELA 22. RESULTADOS MÉDIOS DE BRILHO DOS PRODUTOS DE ACABAMENTOS	89
TABELA 23. RESISTÊNCIA AO IMPACTO DOS TRÊS VERNIZES.....	90
TABELA 24. RESISTÊNCIA À ABRASÃO DOS DIFERENTES ACABAMENTOS.....	91
TABELA 25. PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS DA SUPERFÍCIE ACABADA	93

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>EGP</i>	- Edge glued panel
PVA	- Acetato de polivinila
EPI	- Emulsão polimérica de isocianato
rpm	- Rotações por minuto
km	- Quilômetro
SWP	- Solid wood panel
NS	- Nonstructural
MITADER	- Ministério da Terra, Ambiente e Desenvolvimento Rural
DINAF	- Direção Nacional de Floresta

LISTA DE SIMBOLOS

tf	- Toneladas força
%	- Percentagem
g.cm ⁻²	- grama por centímetro quadrado
g.cm ⁻³	- grama por centímetro cúbico
kgf.cm ⁻²	- Quilograma força por centímetro quadrado
MPa	- Mega Pascal
GU	- Gloss units (unidades de brilho)

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1. ASPECTOS GERAIS DA PESQUISA: IMPORTÂNCIA E JUSTIFICATIVA	15
1.1 INTRODUÇÃO GERAL	15
1.2 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	16
1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA	17
1.3.1 GERAL	17
1.3.2 ESPECÍFICOS	17
1.4 METODOLOGIA DE COLETA DE MATERIAL	18
1.4.1 Descrição da área de coleta do material	18
1.4.2 Amostragem do material em campo	19
CAPÍTULO 2. REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ESPÉCIES DO ESTUDO	22
2.1.1 <i>Brachystegia spiciformis</i> Benth.	23
2.1.2 <i>Julbernardia globiflora</i> (Benth) Troupin	24
2.2 INDÚSTRIA MADEIREIRA MOÇAMBICANA: GENERALIDADES	26
2.3 PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA	27
2.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA	28
2.5 USINAGEM DA MADEIRA	29
2.5.1 Propriedades da madeira que afetam a usinagem	30
2.5.2 Qualificação da superfície usinada	31
2.6 ACABAMENTO SUPERFICIAL DE MADEIRA	32
2.6.1 Propriedades da madeira que influenciam a aplicação do produto de acabamento	34
2.7 COLAGEM DE MADEIRA	38
2.7.1 Fatores que afetam a colagem de madeira	39
2.7.2 Adesivos indicados para colagem da madeira sólida	36
2.7.3 Ensaios de avaliação da qualidade de colagem	36
CAPÍTULO 3. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DA MADEIRA DA <i>Brachystegia spiciformis</i> e <i>Julbernardia globiflora</i>	41
3.1 INTRODUÇÃO	41
3.1.1. Objetivos específicos	41
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS	42
3.2.1 Determinação da densidade	42
3.2.2 Propriedades químicas da madeira	42
3.2.3 Análise estatística	43
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
3.3.1 Propriedades físicas	43
3.3.2 Composição química quantitativa	46
3.4 CONCLUSÕES	49

CAPÍTULO 4. AVALIAÇÃO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM EM MADEIRA DE MESSASSAS	50
4.1 INTRODUÇÃO	50
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	51
4.2.1 Material.....	51
4.2.3 Método	52
4.2.3.1 Ensaio de usinagem	52
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
4.4 CONCLUSÕES	62
CAPÍTULO 5. QUALIDADE DE COLAGEM DAS ESPÉCIES <i>B. spiciformis</i> e <i>J. globiflora</i> PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS EGP'S	63
5.1 INTRODUÇÃO	63
5.2. MATERIAL E MÉTODOS	64
5.2.1 Material.....	64
5.2.2 Método	64
5.3 Análise de dados	70
5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	70
5.4.1 Resistência das emendas Finger-joints.....	70
5.4.2 Resistência das juntas coladas ao ensaio de cisalhamento.....	72
5.4.3 Análise MEV da linha de cola	78
5.5 CONCLUSÕES	80
CAPÍTULO 6. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ACABAMENTOS SUPERFICIAL DA MADEIRA DE MESSASSA PARA TRÊS TIPOS DE VERNIZES	81
6.1 INTRODUÇÃO	81
6.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	82
6.2.1 Material.....	82
6.2.2 Método	83
6.3 Análise de dados	86
6.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	87
6.4.1 Aderência (pull-off)	87
6.4.2 Brilho	88
6.4.3 Resistência ao Impacto	90
6.4.4 Resistência à abrasão	91
6.4.5 Análise colorimétrica	92
6.5 CONCLUSÕES	94
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	96
REFERÊNCIAS.....	97

CAPÍTULO 1

ASPECTOS GERAIS DA PESQUISA: IMPORTÂNCIA E JUSTIFICATIVA

1.1 INTRODUÇÃO GERAL

Moçambique possui uma cobertura florestal nativa de 38% (31,6 milhões de hectares), onde mais da metade dessa área (17 milhões de hectares) é de floresta produtiva. O volume comercial total existente no país é de 800 milhões de metros cúbicos de madeira. Deste volume, 63% corresponde ao tipo florestal genericamente conhecido como floresta de Miombo. Este tipo florestal é o mais extenso e cobre aproximadamente 2/3 do país e se caracteriza pela abundância de espécies dos gêneros *Brachystegia* e *Julbernardia*, comercialmente conhecidos por messassas (MAGALHÃES, 2018). Todo esse potencial é base para implementação de uma sólida indústria de produtos da madeira, em que Moçambique pode assumir um papel de destaque.

Estima-se que a exploração de madeira contribui com até 5% para o PIB e representa 1,5% do potencial de exportação do país (FLEGT, 2014; MITADER, 2017). Ademais, segundo Bila e Salmi (2003), o país dispõe de pelo menos 118 espécies conhecidas com potencial para produzir madeira. Todavia, a exploração da floresta moçambicana permanece seletiva concentrando-se em um número reduzido (abaixo de 10%) de espécies madeireiras de alto valor comercial, procuradas pelo mercado doméstico e internacional. Assim, além da exploração concentrada em poucas espécies o setor florestal enfrenta problemas de processamento industrial da madeira destacando-se equipamentos obsoletos e infraestrutura, manutenção inadequada e escassez de pessoal técnico qualificado (MITADER, 2017).

Adicionalmente, a indústria madeireira carece de investimento para modernizar a sua tecnologia de modo a se adequar à conjuntura atual de um mercado em crescimento e cada vez mais comprometido com qualidade. Este fato assume maior relevância com a aprovação recente da Lei de Sobrevalorização da Madeira que proíbe a exportação da madeira em tora (Decreto nº 21/2011) e portanto, incentiva o processamento local de madeira.

Por conta disso, nos últimos anos, órgãos públicos, organizações não governamentais e sociedade civil vêm se mobilizando com o intuito de aprimorar diretrizes e políticas que levem ao crescimento, sobretudo da indústria de madeira e de móveis, com vista à redução da dependência externa bem como, ao impulsionamento do mercado nacional.

1.2 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

As florestas de Moçambique constituem um sistema de estrutura complexa que possui composição altamente diversificada de espécies com potencial madeireiro. No entanto, apesar da diversidade de espécies com potencial para produção de madeira as mais exploradas são *Azelia quanzensis* (Chanfuta), *Dalbergia melanoxylon* (Pau Preto), *Millettia stuhlmannii* (Jambirre), *Pterocarpus angolensis* (Umbila) e *Swartzia madagascariensis* (Pau Ferro), devido à prevalência da procura das mesmas principalmente no mercado nacional, sendo que as demais espécies não são exploradas devido ao pouco conhecimento sobre as suas propriedades tecnológicas, bem como, para geração de produtos de maior valor agregado.

Atualmente, com a redução gradual da oferta de espécies tradicionais, surge a necessidade crescente de racionalização do uso da madeira em território moçambicano, através de pesquisas sobre as espécies menos utilizadas e as que necessitam de cuidados maiores no seu processamento. As messassas, particularmente *Brachystegia spiciformis* (messassa encarnada) e *Julbernardia globiflora* (messassa comum) são espécies pouco usadas na indústria madeireira moçambicana, mas que possuem potencial devido à sua grande disponibilidade (cerca de 46% do volume comercial), porém, sua exploração situa-se abaixo dos 3% (MITADER, 2017).

Ademais, nas pesquisas moçambicanas relacionadas ao tema, têm sido testadas algumas espécies isoladamente ou combinadas entre si, buscando gerar dados que orientem a aplicação de espécies menos utilizadas em escala industrial. Pode-se citar estudos realizados por Bunster (1995); Ali et al. (2008); Uetimane (2009); Lhate (2011); Uetimane et al. (2018) e Bila et al. (2018); Egas et al. (2019), no entanto, observa-se que as variáveis mais estudadas experimentalmente foram as suas propriedades anatômicas, físicas, químicas,

mecânicas e secagem e pouco ou nenhum aprofundamento sobre comportamento das ligações entre peças para diferentes tipos de adesivos, usinagem de madeira, acabamento superficial, entre outras. Nessa ótica, pesquisas que enfocam a utilização das messassas na indústria madeireira nacional como no caso vertente podem contribuir para um melhor aproveitamento das espécies atualmente sub-utilizadas. Perante o exposto, a presente pesquisa pretende gerar informações tecnológicas que demonstram a aptidão das messassas para utilização na indústria de móveis e molduras.

1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.3.1 GERAL

- Analisar o potencial tecnológico da madeira das espécies *Brachystegia spiciformis* e *Julbernardia globiflora* para uso na indústria moveleira e de molduras.

1.3.2 ESPECÍFICOS

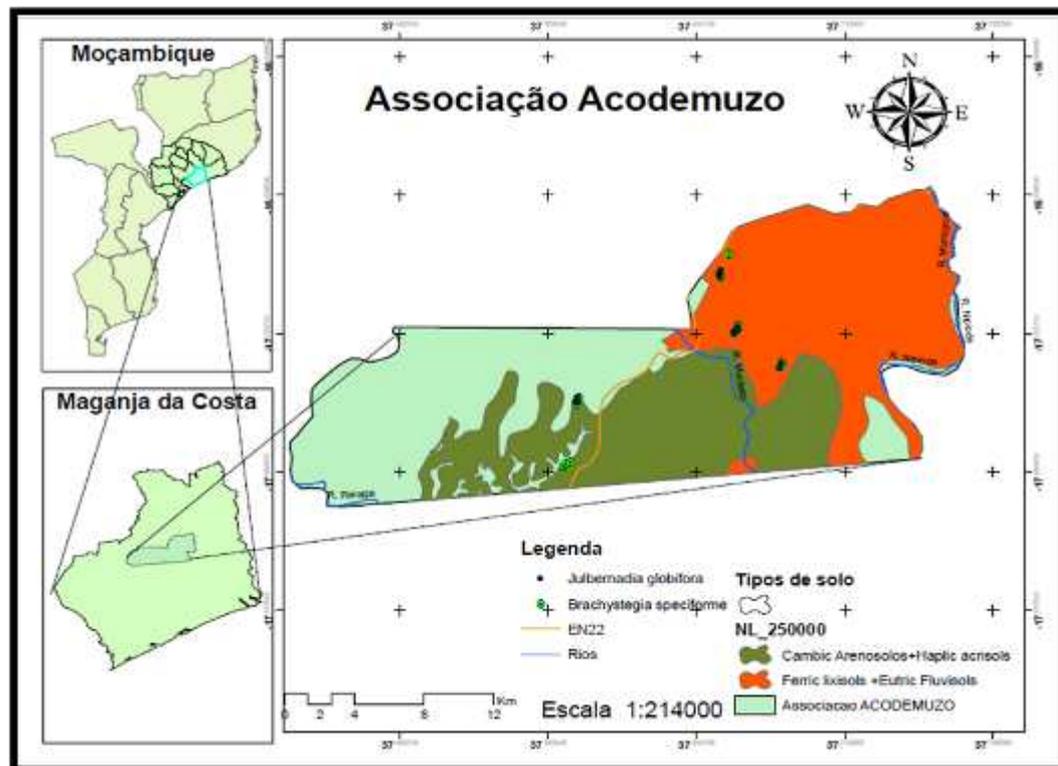
- Determinar as propriedades químicas e físicas da madeira das espécies *Brachystegia spiciformis* e *Julbernardia globiflora*;
- Avaliar o comportamento das espécies *Brachystegia spiciformis* e *Julbernardia globiflora* quanto às principais operações de usinagem efetuadas para fins moveleiros e de molduras;
- Avaliar o efeito do adesivo e gramatura na qualidade de colagem das espécies *Brachystegia spiciformis* e *Julbernardia globiflora* para produção de painéis EGP (*Edge Glued Panel*);
- Avaliar o comportamento das espécies *Brachystegia spiciformis* e *Julbernardia globiflora* em diferentes tipos de vernizes e análise colorimétrica.

1.4 METODOLOGIA DE COLETA DE MATERIAL

1.4.1 Descrição da área de coleta do material

O material foi coletado na concessão florestal comunitária Acodemuzo localizada na província da Zambézia (região centro de Moçambique), distrito de Maganja da Costa nas coordenadas WSG84 17°18'22" S, 37°38'26" W. A figura 1 apresenta a localização geográfica da área.

FIGURA 1. LOCAL DE COLETA DE MATERIAL DE ESTUDO



FONTE: Mussana (2018).

O clima do distrito é predominantemente do tipo “Tropical Chuvoso de Savana - AW” (classificação de Köppen), com duas estações distintas, a estação chuvosa e a seca. A precipitação média anual é cerca de 1365 mm. A maior queda pluviométrica ocorre sobretudo nos meses de dezembro a abril do ano seguinte, variando significativamente na quantidade e distribuição, quer durante o ano, quer de ano para ano, e a temperatura média é 25,7°C, sendo as médias máxima e mínima de 31,0 e 20,4°C, respectivamente. A cobertura vegetal do Distrito de Maganja da Costa é constituída, fundamentalmente, por savana

tropical arbustiva com algumas zonas de componentes arbóreas, havendo espécies de grande valor econômico (MAE, 2014).

1.4.2 Amostragem do material em campo

A concessão florestal (floresta nativa e sem atividades de manejo) possui uma extensão de 34 mil hectares subdivida em 10 blocos de exploração. Nessa ordem, para garantir maior representatividade foram selecionados aleatoriamente seis blocos para coleta do material. No total foram derrubadas 24 árvores sendo 12 de *Brachystegia spiciformis* e 12 *Julbernardia globiflora*. Anterior à derrubada, foram tomados dados de diâmetro à altura de peito (DAP) (Tabela 1). Ressalta-se que as árvores foram selecionadas de acordo com a necessidade de indivíduos com fuste reto e ótimo estado de sanidade. A identificação das espécies no campo foi feita por um botânico.

TABELA 1. DIÂMETROS DAS ÁRVORES DERRUBADAS POR ESPÉCIE

DAP (cm)	Espécie	
	<i>Brachystegia spiciformis</i>	<i>Julbernardia globiflora</i>
Máximo	55	53
Médio	40	39
Mínimo	26	26

O material lenhoso coletado por árvore para esta pesquisa consistiu em dois discos de 6 cm de espessura, um a 1,30 m (DAP) e outro disco no topo a 95% da altura comercial. Estes discos foram usados para determinação da densidade básica. Foi também retirado um torete de 1,5 m conforme ilustrado a figura 2 e 3.

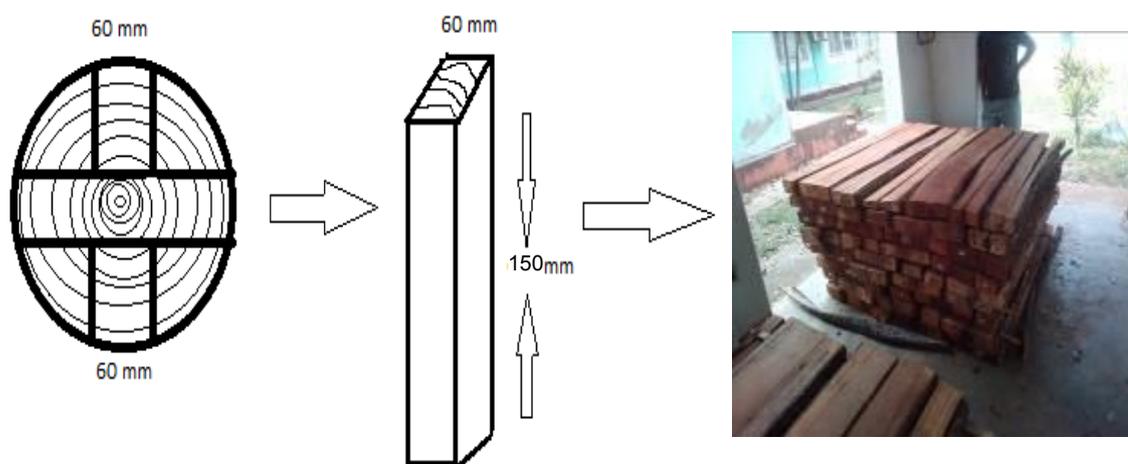
FIGURA 2. A - ESQUEMA DE SECCIONAMENTO DA ÁRVORE; B – TORETE E RETIRADA DO DISCO NO DAP; C – DISCOS ACONDICIONADOS NO FREEZER



FONTE: o Autor (2018).

Os toretes foram processados na forma de pranchas de larguras variadas e com espessura uniforme de 60 mm (Figura 3) na serraria da concessão Acodemuzo.

FIGURA 3. MODELO DE DESDOBRO UTILIZADO PARA OBTENÇÃO DAS TÁBUAS



Fonte: O autor (2018).

Em seguida as tábuas foram transportadas até o Laboratório de Tecnologia da Madeira, pertencente à Faculdade de Agronomia e Engenharia

Florestal da Universidade Eduardo Mondlane (UEM) em Maputo para conversão das mesmas em peças de dimensões variadas em função do tipo de ensaio que se pretendia realizar (Tabela 2).

TABELA 2. DIMENSÕES DAS PEÇAS PRODUZIDAS PARA CADA ENSAIO

Tipo de ensaio	Dimensões (mm)	Nr. Peças/spc	Total
Colagem			
- Lateral	350 x 55 x 25	40	80
- Tração	360 x 55 x 25	26	52
Usinagem	650 x 150 x 35	20	40

P

nte, as peças foram enviadas à Universidade Federal do Paraná para secagem, climatização em condições ambientais constantes de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ e $65\pm 5\%$ de temperatura e de umidade relativa, respectivamente até atingirem $12\pm 2\%$ de umidade para as etapas seguintes do estudo.

Ressalta-se que, estas peças foram seleccionadas de forma representativa das características intrínsecas das espécies com menor região de cerne, quando comparado com o alburno, devido geralmente o cerne tender ao apodrecimento na região próxima à medula e algumas peças possuem cerne e alburno, em diferentes proporções e outras possuem nós. Esta amostragem, permitiu ensaiar a madeira na forma como é comercializada no país.

ost
erio
rme

CAPÍTULO 2

REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ESPÉCIES DO ESTUDO

Na Lei de Florestas e Fauna Bravia de Moçambique (Lei nº 10/99 de 7 de junho)¹ as espécies *Brachystegia spiciformis* Benth e *Julbernardia globiflora* (Benth) Troupin, são classificadas como sendo madeiras de segunda classe. De acordo com Marzoli (2007), essas espécies ocorrem na maioria das províncias de Moçambique, em florestas densas, abertas, decíduas e em condições diferentes de altitude, precipitação e temperatura. A tabela 3, apresenta o corte anual admissível (CAA) para as espécies *B. spiciformis* e *J. globiflora* em diferentes províncias do país.

QUADRO 1. CORTE ANUAL ADMISSÍVEL PARA AS ESPÉCIES *Brachystegia spiciformis* e *Julbernardia globiflora*.

Região	Província	CAA (m ³ /ano)	
		<i>B. spiciformis</i>	<i>J. globiflora</i>
Sul	Gaza	994	-
	Inhabane	9070	491
Centro	Sofala	116918	-
	Manica	694	-
	Zambézia	311524	140236
	Tete	4770	638
Norte	Nampula	2337	17281
	Cabo delgado	15461	19327
	Niassa	49115	12694

Fonte: Magalhães, (2017); - ausente.

¹ De acordo com a Lei nº 10/99 de 7 de junho, as espécies produtoras de madeira são classificadas em preciosas, de primeira classe, de segunda classe, de terceira classe e de quarta classe de acordo com o seu valor comercial, científico, raridade, utilidade, resistência e qualidade.

2.1. 2 *Brachystegia spiciformis* Benth.

Espécie arbórea pertencente à família Fabaceae e subfamília Leguminosae (Caesalpiniaceae), vulgarmente conhecida como “messassa comum”, no entanto, em algumas regiões do país é também conhecida como morrôto; mucarara; metamba; marota; tamba; tondozi; tsondo; itondo; tondjo e mucarra. Árvore de porte variável 6 a 20m de altura, copa aberta, aproximadamente hemisférica, às vezes um pouco plana; tronco alto e subcilíndrico, um pouco tortuoso na parte superior (PIENAAR, 2015).

Alburno esbranquiçado tendendo por vezes para amarelado; cerne castanho claro ou bastante intenso, por vezes com manchas e listas de tom variável; camadas de crescimento distintas (ACDT, 2017). A figura 4 mostra uma imagem da árvore derrubada da espécie *B. spiciformis*.

FIGURA 4. DERRUBADA DE UMA ÁRVORE DA ESPÉCIE *Brachystegia spiciformis*



FONTE: O autor (2017).

Anatomicamente, a *B. spiciformis* apresenta anéis de crescimento indistintos ou ausentes, porosidade difusa, vasos em diagonal e solitários. Diâmetro tangencial 120,48 a 374,27 μm , placas de perfuração simples e pontuações opostas, fibras com pontuações de bordas simples a minúsculas, fibras não septadas, com 581,05 a 991,52 μm de comprimento. Espessura de paredes das fibras finas e espessas variando de 2,61 a 8,35 μm , parênquima axial paratraqueal losango-aliforme. Parênquima marginal ou em bandas

marginal, largura do raio exclusivamente uniseriados, sua altura varia de 107,03 a 975,81 μm , células do raio todas procumbentes (Mussana, 2018).

Bunster (1995), estimou para madeira dessa espécie densidade básica de 0,59 g.cm^{-3} e densidade aparente (12%) de 0,71 g.cm^{-3} . O mesmo autor ressalta que apesar de dura a madeira é muito susceptível ao ataque de xilófagos. Pode ser usada como moirões, esteios de minas; construção civil; carruagens e contraplacados. Quanto aos valores de retratibilidade, Bunster (1995) obteve para retração volumétrica total o valor de 13,6%, contrações radial e tangencial de 6,90 e 8,70% respectivamente, e considerou a madeira como medianamente retrátil. Magalhães (2018) estimou no âmbito do inventário florestal nacional um volume comercial de 110.220.000 m^3 existente no país para esta espécie.

2. 1. 3 *Julbernardia globiflora* (Benth) Troupin

Espécie arbórea pertencente à família Fabaceae e subfamília Leguminosae (Caesalpinaceae), vulgarmente conhecida como “messassa encarnada” em algumas regiões do país é também conhecida como tchongo, muminha, m'pagala, m'pacala, mepagala, tamba, mutondo, muimbe, pacala, mecapala, bombo e uacuane. Pequena árvore de até 12 m de altura, raras vezes um pouco mais alta; copa sub-horizontal; decídua; casca acinzentada e lisa nos ramos novos, no tronco e nos ramos mais velhos cinzento escura e rugosa. Possui casca taninosa e flores melíferas (BRUMMITT, 2007).

Madeira nem sempre diferenciada, o alburno quando existe é de cor castanho clara, o cerne em geral pequeno, às vezes apresenta o limite nítido por linha mais ou menos regular, outras a distinção é gradual pela diferença do tom castanho para o avermelhamento; textura heterogênea; camadas de crescimento distintas (ACDT, 2017). A figura 5 ilustra a árvore derrubada da *J. globiflora*.

FIGURA 5. DERRUBADA DE UMA ÁRVORE DA ESPÈCIE *Julbernardia globiflora*

Fonte: O autor, (2017)

Anéis de crescimento indistintos ou ausentes, porosidade difusa, vasos em diagonal e solitários. Placas de perfuração simples e pontuações opostas, fibras com pontuações de bordas simples a minúsculas, fibras não septadas com 763,44 a 1614,98 μm de comprimento. Espessura de paredes das fibras finas e espessas variado de 1,90 a 8,54 μm , parênquima axial paratraqueal losangoidaliforme, parênquima com bandas com mais de 3 células. Largura do raio uniseriados, sua altura varia de 102.29 a 970.23 μm , células do raio todas procumbentes (Mussana, 2018).

Bunster (1995) estimou a densidade básica de 0,71 $g.cm^{-3}$ e aparente (12%) de 0,86 $g.cm^{-3}$ classificado-a como madeira dura e pesada. Pode ser utilizada em moirões e marcenaria, porém necessita ser tratada contra agentes xilófagos. Em Moçambique é majoritariamente usada na construção civil, como escoras. A retração volumétrica total da madeira desta espécie estimada por Bunster (1995) foi de 15,1%; contrações radial e tangencial de 7,5 e 10,5% respectivamente, tendo considerado a madeira como muito retrátil. O volume comercial estimado e disponível no país da espécie *Julbernardia globiflora* é cerca de 54.114.000 m^3 (MAGALHÃES, 2018).

2.2 INDÚSTRIA MADEIREIRA MOÇAMBICANA: GENERALIDADES

As atividades e indústrias florestais são um importante contribuinte para a economia moçambicana e uma importante fonte de emprego nas zonas rurais de Moçambique. FAO (2011), estimou em cerca de vinte e duas mil pessoas diretamente empregadas pelo setor florestal. Por sua vez, Mitader (2017) afirma que a economia florestal contribui em cerca de 5% do PIB de Moçambique.

A indústria madeireira em Moçambique é baseada em unidades de processamento primário (serrarias) e um reduzido número de marcenarias e unidades de tratamento. Nhancale et al. (2009), salientam que apesar de Moçambique ter 118 espécies de árvores com valor comercial, a indústria madeireira não exporta e nem processa mais de 10 espécies.

Na análise recente da situação da indústria madeireira reportou-se que, praticamente, a maior parte das empresas madeireiras (considerando os estados com maior concentração das mesmas, nomeadamente: Maputo, Zambézia e Cabo Delgado) são sociedades constituídas por 100% de capital privado e geridas maioritariamente por expatriados (Zambézia e Cabo Delgado) e algumas por nacionais (Maputo). Mais de metade das empresas são relativamente recentes com menos de 10 anos. Entretanto as unidades sob gestão do empresariado nacional são de forma geral as mais antigas (mais de 20 anos) e de grande parte. A produção industrial inclui uma diversidade (limitada) de produtos consumidos tanto a nível doméstico como internacional, especificamente tábuas não-alinhadas e alinhadas, pranchas não alinhadas e alinhadas, caixilharia, portas, janelas, móveis, parquet, travessas e peças de instrumentos musicais. Os principais destinos de exportação de produtos da indústria madeireira moçambicana incluem a China, Vietnam, Maurícias e Índia seguidos pela África do Sul, Comores e França (Egas e Nhanthumbo, 2020).

Não obstante, os custos de produção de madeira processada são altos, levando o produto a ser pouco competitivo no mercado internacional devido principalmente à limitada capacidade técnica dos operadores tanto na exploração florestal como no setor industrial para garantir maior produtividade e alta qualidade; baixos níveis de aproveitamento na exploração florestal e nas

serrarias tornando o custo unitário do produto final alto; e equipamentos obsoletos, infraestrutura e manutenção inadequada (MITADER, 2017).

Este cenário impõe desafios ao setor industrial para garantir maior produtividade, alta qualidade da madeira processada (produtos de maior valor agregado) bem como o aumento da gama de espécies no mercado nacional e internacional através de pesquisas sobre as suas características tecnológicas.

2.3 PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA

De acordo com Sjöström (1981) e Marra (1992), a madeira é quimicamente constituída de componentes majoritários que compreendem a celulose, polioses e lignina, e os componentes minoritários, formados por extrativos e substâncias inorgânicas (cinzas), os quais são geralmente mais relacionados à madeira de certas espécies, no tipo e quantidade. As proporções desses componentes diferem entre coníferas e folhosas.

TABELA 3. COMPOSIÇÃO QUÍMICA MÉDIA DE MADEIRAS DE CONÍFERAS E FOLHOSAS

Constituinte	Coníferas	Folhosas
Celulose	42 ± 2%	45 ± 2%
Hemicelulose (Polioses)	27 ± 2%	30 ± 5%
Lignina*	21,7 – 37,0%	14 – 34,6%
Extrativos	2 ± 3%	3 ± 5%
Cinzas*	0.02 – 1.1%	0.1-5.4%

Fonte: Klock e De Andrade (2013); * Tsoumis (1991).

A composição química da madeira é de grande importância por estar relacionadas à transformação industrial, bem como a sua aptidão às mais variadas formas de utilização como a colagem da madeira, usinagem e o acabamento (PANSHIN; DE ZEEW, 1980).

Segundo Tsoumis (1991) e Iwakiri (2005), a influência dos componentes químicos da madeira na formação e performance da ligação adesiva está relacionada, principalmente à exposição de áreas de maior ou menor concentração de extrativos na superfície da madeira a ser colada, o que pode alterar o pH e, assim, influenciar as condições de colagem através da pré-cura do adesivo, inibindo a umectação, fluidez e penetração na madeira. Por outro

lado, os componentes químicos, como as cinzas podem afetar as características de usinabilidade da madeira, devido à presença de minérios como a sílica, responsáveis pelo desgaste excessivo das ferramentas de corte. O conteúdo de cinzas na madeira encontra-se, normalmente, abaixo de 0,5%, porém, algumas madeiras de clima tropical podem atingir 5% de materiais inorgânicos (BROWING 1963, citado por TRIANOSKI, 2010).

No acabamento, a madeira pode apresentar manchas metálicas provenientes da reação de substâncias do acabamento com substâncias presentes em sua constituição, como os extrativos, e podem ser removidas com o ácido oxálico juntamente com um alvejante (CRUMP, 1992).

2.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA

Segundo Burger e Richter (1991) a madeira é um material biológico, heterogêneo e bastante complexo, com elevada variabilidade em relação às suas características e propriedades que, por sua vez, diferem tanto entre espécies como entre indivíduos de mesma espécie, e até entre diferentes regiões de um mesmo indivíduo. Bowyer et al. (2003), relatam que as propriedades da madeira têm grande variação, decorrente de inúmeros fatores, entre os quais: condição do solo, localização geográfica e fonte genética.

As principais propriedades físicas da madeira comportam a densidade e a retratibilidade. A densidade está relacionada a muitas propriedades e características tecnológicas fundamentais para a produção e utilização da madeira, sendo que, quanto maior sua magnitude, maiores serão as propriedades de resistência mecânica e durabilidade e, em sentido contrário, diminuem a permeabilidade a soluções, preservantes, secagem e à trabalhabilidade/usinabilidade (PANSIN; ZEEUW, 1980; SHIMOYAMA, 1990; SILVA, 2002; OLIVEIRA et al., 2005).

A densidade básica é uma das propriedades físicas mais estudadas para caracterização tecnológica da madeira. Melo, Coradin e Mendes (1990) utilizam a densidade básica para classificar a madeira em madeira leve – aquela que possui densidade menor ou igual a $0,50 \text{ g.cm}^{-3}$, madeira média – densidade

entre 0,5 a 0,72 g.cm⁻³ e madeira dura – a que possui densidade igual ou acima de 0,72 g.cm⁻³.

Outra importante propriedade da madeira é a retratibilidade que corresponde à perda total de água desde o ponto de saturação das fibras até secagem completa em estufa a 103 ± 2°C (MORI et al., 2003). Os mesmos autores ressaltam que, quanto menores as contrações, melhores serão as suas propriedades, no entanto, varia muito de uma espécie para outra e com o modo de secagem, podendo inchar ou contrair de acordo com a umidade relativa do meio em que se encontra. Essa propriedade deve ser considerada para qualquer uso da madeira, evitando o aparecimento de fendas e empenamentos.

Segundo Durlo e Marchiori (1992), o índice mais representativo em termos da avaliação da estabilidade dimensional da madeira é o coeficiente de anisotropia, o qual é proveniente da razão das alterações sofridas nos sentidos tangencial e radial. Ainda de acordo com estes autores, madeiras com coeficiente de anisotropia de até 1,5 são consideradas madeiras muito estáveis (de pouca propensão a empenamento), madeiras com coeficiente de anisotropia de 1,6 até 2,0 são consideradas de média baixa estabilidade, de 2,1 a 2,5 são classificadas como alta instabilidade, e acima de 2,6 são madeiras muito instáveis (sujeita a empenamentos e rachaduras).

A estabilidade dimensional decorrente da anisotropia é uma característica que limita o comportamento ou performance da madeira em uso (STEWART; POLAK, 1975; TRIANOSKI, 2012).

2.5 USINAGEM DA MADEIRA

De acordo com Brown (1998), a usinagem de madeira é o processo mecânico que confere à peça sua forma, dimensões e acabamento através da remoção de material sobressalente na forma de cavacos, objetivando alcançar a qualidade da superfície e a precisão de corte. Para Silva (2005), o conhecimento das propriedades da madeira e de seu comportamento durante a usinagem é de fundamental importância para a sua correta utilização, assim como, a melhor seleção de espécies e o bom dimensionamento de máquinas e ferramentas utilizadas na sua usinagem. Esses e outro conjunto de informações

fornece uma ferramenta muito útil para o controle de qualidade durante o processo produtivo em indústrias madeireiras.

As operações de usinagem consistem no corte, aplainamento, fresamento, lixamento, furações e torneamento sendo esta última a mais difícil (PALERMO, 2010; ZAMARIAN, ALBURQUERQUE E MATOS, 2012).

2.5.1 Propriedades da madeira que afetam a usinagem

As propriedades da madeira mais relevantes que influenciam na fabricação de peças são a densidade, o teor de umidade e a presença de defeitos naturais (SILVA et al., 2009).

A densidade é uma propriedade intrínseca da madeira e está intimamente associada com sua resistência mecânica. Nesse contexto, para se conhecer o comportamento da madeira aos diferentes processos de corte, um dos parâmetros fundamentais a se estudar são as forças geradas durante a usinagem. Estas forças, desenvolvidas durante o corte, têm grande importância na escolha do tipo da ferramenta e no cálculo da potência das máquinas. Estas forças de corte variam com a espécie de madeira, direção das fibras, direção de corte, afiação das ferramentas de corte e outras variáveis relacionadas à matéria prima ou à ferramenta (PANSHIN; ZEEUW 1980; LUCAS FILHO, 1997).

Em relação ao teor de umidade, Koch (1964) e Kollmann e Cotê (1968) afirmam que na usinagem da madeira esta deve ser constante e se encontrar em torno de 8%, sendo que quando se aproxima do ponto de saturação das fibras, a qualidade de usinabilidade cai para $\frac{1}{4}$ ou metade. De forma geral, as forças de corte apresentam relação inversamente proporcional com o teor de umidade.

Por sua vez, defeitos naturais da madeira como presença de sílica ou outros depósitos de minerais abrasivos nas células, teor de resina, presença de nós, assim como, a porosidade, dimensões das fibras e a orientação da grã possuem grande influência na qualidade da superfície e na eficiência dos processos de transformação da madeira (KOCH, 1964; KOLLMANN; COTÊ, 1968).

2.5.2 Qualidade da superfície usinada

No processamento da madeira, a estrutura da superfície da peça usinada é considerada como uma das mais importantes características da qualidade. A qualidade superficial da madeira usinada pode ser influenciada pelas características inerente à própria madeira nomeadamente: a presença de materiais inorgânicos, alto teor de resina, porosidade, dimensões das fibras, orientação da grã e presença de nós, assim como pelas operações de processamento da madeira de maior destaque como aplainamento e lixamento (MCKANZIE, 1960; PETRI, 1987; MITCHELL, 2012).

A qualidade da superfície da madeira pode ser avaliada através da medição da sua rugosidade (ou seja, irregularidades e imperfeições no perfil da peça) por meio de aplicação de vários métodos como rugosímetros de agulha, perfilometria óptica, técnicas de análise de imagens usando câmera de vídeo, pneumática, ultrassom e microscopia. O método com agulha tem sido muito usado para determinar a rugosidade da superfície de madeira sólida e compósitos de madeira, apresentando bons resultados, isto é, permite obter o real perfil da rugosidade da superfície e os parâmetros numéricos padrões, que podem ser calculados a partir do perfil (HIZIROGLU et al., 2004; BURDURLU et al., 2005; KILIC et al., 2006; OZDEMIR; HIZIROGLU, 2007; SILVA et al., 2008; SULAIMAN et al., 2009; TIBURCIO, 2009; VARANDA et al., 2010).

No método de agulha (haste), a análise da rugosidade se dá pela determinação de parâmetros como: R_a - média aritmética dos valores absolutos dos desvios do perfil da linha média; R_z - soma da altura média dos cinco picos mais altos do perfil e a profundidade dos cinco vales mais profundos do perfil, medidos de uma linha paralela à linha média; R_t - soma da altura do pico máximo do perfil e a profundidade do vale máximo do perfil sobre a extensão avaliada; R_q - raiz quadrada da média aritmética dos quadrados dos desvios do perfil a partir da linha média dentro do percurso de medição (JIS 0601, 2001). Esses parâmetros de rugosidade representam uma forma de expressão matemática entre a variação vertical das superfícies, expressa pelos picos e vales, e o deslocamento horizontal da agulha (sensor). Os valores dos parâmetros de rugosidade são inversamente proporcionais à qualidade da

superfície, ou seja, quanto menores forem os valores de Ra e Rz melhor é a qualidade da superfície (SILVA et al. 1999)

Outra forma de qualificação da superfície usinada é utilizando a norma ASTM D1666-87 (*American Society For Testing And Materials - ASTM*, 1995) que leva em consideração alguns defeitos como arrancamento de fibras, lasqueamento e falhas de usinagem. Apartir daí, por meio de inspeção visual, são atribuídas notas de 1 a 5 para qualificar essas superfícies. A nota 1 corresponde à melhor qualidade da superfície, a qual se apresenta isenta de defeito. Já, a nota 5 corresponde à pior qualidade superficial com maior grau de defeitos. Este método apresenta um caráter subjetivo.

Silva et. al. (1999), estudaram as relações entre a anatomia da madeira, qualidade da usinagem e acabamento da superfície e concluíram que a qualidade final de um produto se relaciona com as operações de usinagem e com a estrutura física e anatômica da madeira. Com relação à estrutura microscópica da madeira, em qualquer operação de usinagem as fibras são arrancadas e, raramente, cortadas. Ademais, madeiras com grã irregular apresentam superfície áspera nas regiões nas quais a ferramenta corta em sentido contrário à direção normal dos tecidos. Panshin e Zeeuw (1980) afirmam também que presença de substâncias especiais tais como canais celulares, resinas e células oleíferas, presentes em certas espécies, têm grande influência na qualidade da superfície e na eficiência dos processos de transformação da madeira.

2.6 COLAGEM DE MADEIRA

A colagem é uma etapa fundamental para a moderna indústria de produtos da madeira, promovendo um aproveitamento mais racional da matéria-prima e que ultimamente vem se tornando uma necessidade, tanto pela tecnologia desenvolvida quanto pela escassez de madeira sólida (LIMA et al. 2008). Ela também influencia outros processos de fabricação, como o acabamento ou a resistência da união adesiva (KILIC et al. 2006)

Nessa óptica, Frihart e Hunt (2010) salientam que, dada a crescente utilização de produtos à base de compostos de madeira torna-se importante

compreender a interação da interface entre a madeira e o adesivo utilizado na confecção de produtos colados. Ademais, o uso de substâncias adesivas com a finalidade de unir elementos de madeira promove a obtenção de peças com dimensões maiores que as obtidas diretamente da árvore e o aproveitamento dos resíduos de processamento, minimizando os defeitos técnicos e valorizando propriedades como resistência, desempenho, peso e aparência estética da superfície (VICK, 1999).

Existem duas classes de adesivos: os adesivos naturais e os adesivos sintéticos. No passado, a colagem de madeira foi baseada na utilização dos adesivos naturais de base vegetal ou animal, mas com a evolução do conhecimento, os adesivos sintéticos passaram a ser utilizadas na fabricação de produtos reconstituídos de madeira (TSOUMIS, 1991). No entanto, vale ressaltar que a escolha do adesivo mais adequado se faz em função das variáveis e necessidades de processo, das exigências técnicas da colagem e das condições ambientais do local da colagem e destino final do produto colado.

Segundo a norma EN 204 (2001), os adesivos também podem ser classificados em função de sua durabilidade em relação às condições ambientais do local de uso, conforme apresentado na tabela 4.

TABELA 4. CLASSE DOS ADESIVOS DE ACORDO COM O SEU USO

Classe	Condição de utilização
D1	Áreas internas onde a temperatura chega a 50°C ocasionalmente e por um curto período de tempo, e onde a umidade da madeira chega a no máximo 15%.
D2	Áreas internas com ocorrência de água de condensação por um curto período de tempo e um nível de umidade do ar que eleve a umidade da madeira até no máximo 18%.
D3	Áreas internas com ocorrência frequente de água escorrendo por um curto período e/ou presença de elevada umidade do ar por longo período. Áreas externas protegidas de intempéries.
D4	Áreas internas com forte e frequente presença de água corrente ou de condensação. Áreas externas expostas às intempéries, porém, com proteção adequada das superfícies.

FONTE: EN 204 (2001).

O conhecimento das potencialidades de um adesivo e como ele pode ser afetado pelo ambiente, é a base para a compreensão dos muitos fatores que afetam a resistência a colagem da madeira.

2.6.1 Fatores que afetam a colagem da madeira

De acordo com USDA (1999), Dunky et al. (2003) e Frihart e Hunt (2010), algumas características intrínsecas da madeira (físicas e químicas), bem como as características físico-químicas do adesivo promovem significativas interferências no processo de colagem. Em relação à madeira pode-se citar as principais propriedades físicas que influenciam a colagem: densidade e teor de umidade.

A densidade da madeira, apresenta uma relação inversa com a porosidade e a capacidade de penetração de adesivo na sua estrutura lenhosa. Sendo assim, o aumento da densidade tende a aumentar a resistência da linha de cola, principalmente na faixa de densidade de 0,7 e 0,8 g.cm⁻³. A partir deste ponto existe uma tendência de diminuição da resistência à ligação colada (VICK, 1999).

O teor de umidade causa alteração dimensional em madeiras instáveis originando tensões na linha de cola, efeito que é mais pronunciado em madeiras de alta densidade. Segundo Tsoumis (1991), o teor de umidade ideal para colagem de madeira deve estar entre 2 a 12%, sendo recomendado para a prensagem em alta frequência um teor de umidade de 2 a 8%, e para prensagem à frio 8 a 12%. No entanto, Wengert (2002), ressalta que não há um conteúdo de umidade padrão na indústria de produtos à base de madeira sendo importante apenas garantir que o produto final tenha uma umidade próxima da umidade de equilíbrio do local de utilização.

A rugosidade relaciona-se com a qualidade de preparação da superfície de madeira. Para Dunky et al. (2002), a superfície para colagem deve ser suave, lisa e livre de irregularidades como lascas ou fendas assim como estar isenta de óleos, poeiras ou outros fragmentos de modo a evitar falhas na linha de cola. Iwakiri (2005), corrobora que na preparação da madeira para a colagem, o aspecto relacionado com a qualidade da superfície, como aspereza e imperfeições superficiais (depressões e ondulações resultantes da perda de células e também pela danificação parcial ou total dos elementos anatômicos), reduz o grau de aproximação de duas peças a serem coladas, prejudicando as funções de movimento do adesivo.

Ainda de acordo com Iwakiri (2005), a influência dos componentes químicos da madeira na formação e performance da ligação adesiva está relacionada, principalmente, à concentração de extrativos na superfície da madeira a ser colada, pH e o teor de cinzas. Lima et al. (2007), afirmam que, em função da quantidade e do tipo de extrativo presente na madeira, pode ocorrer uma interferência nas reações de polimerização do adesivo ou uma reação entre o adesivo e o extrativo, influenciando conseqüentemente a qualidade de colagem, pois estes reduzem a higroscopicidade e a permeabilidade da madeira. Jankowsky (1988) complementa que o teor de extrativos é, em geral, inferior a 10%, podendo as madeiras tropicais apresentarem maiores quantidades, ocasionando, assim, maiores dificuldades de colagem.

No que tange ao pH, este pode favorecer o pré-endurecimento do adesivo impedindo a habilidade de fluidez, umectação e penetração (IWAKIRI, 2005). Na madeira, o pH varia conforme a espécie e situa-se geralmente na faixa de 3,0 a 5,5 (STAMM, 1964).

Em relação ao adesivo, Iwakiri (2005) destaca que as características físico-químicas que podem influenciar a colagem de madeira são: viscosidade, teor de sólidos e pH. Uma viscosidade alta resulta em dificuldade de espalhamento do adesivo sobre a superfície devido à baixa fluidez, condições inadequadas de umectação e menor penetração na estrutura capilar da madeira, formando uma linha de cola mais espessa, ocasionando ligação insuficiente no sistema madeira-adesivo e qualidade inferior da colagem. Por outro lado, a baixa viscosidade pode proporcionar maior penetração do adesivo e sua absorção pela madeira e, em situação extrema poderá resultar em linha de cola "faminta".

O pH do adesivo como também da madeira influenciam na solidificação da linha de cola. De acordo com Iwakiri (2005), o pH do adesivo não deve ultrapassar a faixa de 2,5 a 11, pois pode resultar em degradação das fibras da madeira. Além disso, pH muito baixo pode provocar uma formação excessiva de espuma na mistura, prejudicando sensivelmente a aplicação do adesivo.

A variação do teor de sólidos influencia outras propriedades como a aderência, viscosidade, tempo em aberto etc. Ressalta-se que, o maior valor desta propriedade, é um indicativo de existência de mais componentes formando

ligações adesivas ao substrato (madeira) beneficiando a colagem (IWAKIRI, 2005).

2.6.2 Ensaios de avaliação da qualidade de colagem

Para avaliar a capacidade de adesão da madeira, são realizados os ensaios de cisalhamento da linha de cola (colagem lateral) ou de *finger-joints* (colagem de topo) que consistem na separação das suas fibras, causada por um esforço paralelo e/ou perpendicular às mesmas. Esses ensaios têm como finalidade avaliar a qualidade da linha de colagem e classificar o produto segundo o local de utilização, ou seja, se o mesmo pode ser destinado ao uso interior, intermediário ou exterior (KOLLMANN; KUENZI; STAMM, 1978). As normas ASTM 5572-92 (2005), ASTM D-143 (2007) e ASTM D-198 (2009), NBR 9534 (1986), EN 314-2 (1993), EN 13353 (2008) e EN 13354 (2008), entre outras, versam sobre os procedimentos para determinação da capacidade de adesão da madeira sendo que todas exigem que entre os resultados dos testes sejam reportados os valores de resistência das juntas coladas e o percentual de falha na madeira, bem como a variabilidade destes resultados (ABRAHÃO; VARELLA; PINTO, 2003).

Segundo Vick (1999), quando uma cola penetra suficientemente fundo na madeira e se torna rígida após a sua cura, é esperado que a resistência da ligação seja maior que a resistência da própria madeira. As exceções a este comportamento só podem ser explicadas como consequência de uma escolha inadequada do adesivo, ou uma série de parâmetros relacionados às características físico-químicas do adesivo e do material a serem colados ou por defeitos na operação de colagem.

2.6.3 Adesivos indicados para colagem da madeira sólida

De acordo com Brady e Kamke (1988), a madeira é um material de fácil colagem, pois permite o desenvolvimento de uma linha de cola eficaz. Porém, madeiras de densidade diferentes necessitam diferentes tipos de composição de adesivos, objetivando, inicialmente, uma melhor penetração e garantia de uma boa colagem. Iwakiri et al. (2015) afirmam que os adesivos mais utilizados para

a colagem (lateral ou de topo) de madeira sólida são o poliacetato de vinila (PVA) e a emulsão polimérica de isocianato (EPI).

O adesivo PVA é comercialmente conhecido como “cola branca” e resulta da polimerização em solução aquosa do acetato de vinila. Este polímero é um excelente adesivo, possui boa resistência a solventes, óleos e graxas, e, sua resistência à passagem de oxigênio é superior à de qualquer polímero conhecido. O PVA é utilizado em aplicações industriais para colagem de madeiras na montagem de painéis sarrafeados (*edge glued painel- EGP*), no revestimento, na união de juntas de topo ou lateral, e de outros painéis com lâminas de madeira (MARTEN, 1985; IWAKIRI et al. 2015). Suas vantagens incluem o preço relativamente baixo se comparado a outros adesivos; sua solubilidade em água, não inflamabilidade, secagem rápida, fácil de limpar, e por originar uma linha de cola clara ou incolor. Como desvantagens são termoplásticos e sofrem fadiga (HEINRICH, 2001; CARNEIRO; VITAL; PEREIRA, 2007).

Por sua vez, os adesivos do tipo EPI (emulsão polimérica de isocianato) são aqueles que resultam da emulsificação em água do polímero de difenilmetano - diisocianato (MDI). Sua ativação se faz pela adição de um endurecedor ou catalisador o que torna esses adesivos bicomponentes. Os adesivos isocianatos são termorrígidos, muito resistentes à umidade e à solventes, apresentam uma colagem forte, boa estabilidade e cura rápida permitindo maior produtividade e rapidez no processo, além de emissão quase nula de formaldeído e outros gases nocivos ao meio ambiente, contudo, a necessidade de mistura com um catalisador e seu elevado custo constituem as suas desvantagens (SELLERS Jr., 1994; CONNER, 2001; ZIMMERMAN, 2006).

Segundo Frihart (2005), os adesivos EPI são indicados especialmente para colagem de artefatos de madeira, vigas, portas e janelas, *finger joint* assim como para colagem de materiais não madeireiros como o plástico. Faz parte também dos isocianatos o adesivo melamina uréia formaldeído (MUF), classificado como D4 segundo as normas EN 204 (2001) e EN 205 (2002), o qual é indicado para uso estrutural e para uso exterior.

2.7 ACABAMENTO SUPERFICIAL DE MADEIRA

Dentre as várias possibilidades, o tipo de acabamento mais adequado para a madeira depende da finalidade de uso da peça e a preparação da superfície é de primordial importância no acabamento, pois o filme ou revestimento aplicado não elimina os defeitos, mas os tornam mais evidentes. Nessa óptica, a qualidade do revestimento está relacionada com a superfície ancoradora (substrato), tipo e diluição do produto utilizado e a quantidade a ser aplicada (WATAI, 1995).

Segundo SENAI (1995) e Sousa et al. (2011), os produtos de acabamentos podem ser classificados como sendo de origem natural ou sintética. Os de origem natural são aqueles extraídos de animais ou vegetais. A cura se dá pela evaporação do solvente e o processo ocorre, geralmente, de maneira rápida, pois é dependente das condições internas do ambiente de secagem (temperatura e umidade relativa). Esses produtos são representados pelo grupo dos nitrocelulósicos, obtidos por nitratação, com uma mistura de ácido nítrico e ácido sulfúrico, a partir de algodão ou polpa de madeira. Por sua vez, os sintéticos são os produtos encontrados na forma de mono ou bicomponentes. A primeira parte é a resina propriamente dita e a segunda, o catalisador químico. Às vezes, é necessário a introdução de diluentes e aditivos para conferir características adequadas de aplicação ou propriedades específicas. Esses componentes não participam da reação de cura, sendo volatilizados após a aplicação. Os produtos sintéticos são representados, em sua grande maioria, pelos produtos poliuretânicos, possuindo alta resistência física, mecânica e química.

Os produtos sintéticos mais utilizados na indústria moveleira são as tintas, os vernizes, óleos, ceras e bases seladoras (produto químico com a função de cobrir e fechar os poros e espaços intercelulares da madeira, preparando-a para receber acabamentos). Esses produtos quando aplicados à superfície da madeira, tem como função proteger, limpar, lustrear e conservar (SOUSA et al., 2011).

A avaliação da qualidade de acabamento aplicada na superfície da madeira é feita por meio de ensaios de resistência à aderência, resistência

química, impacto, abrasividade, brilho, entre outros (DÉSOR et al., 1999; SILVA et al., 2010; GUEDES, 2011). O ensaio de resistência à aderência mede o quanto o acabamento aderiu à superfície da madeira, sendo considerado o teste mais importante na análise da qualidade do acabamento (SOUSA, 2008). Por sua vez, o ensaio de resistência química testa a capacidade de um acabamento resistir à ação da água ou mesmo ser manchado por diversas substâncias químicas num intervalo de tempo especificado. O teste de resistência à abrasão consiste na avaliação do desgaste gradual da superfície do acabamento por ação abrasiva que pode ser causado por calçados, transporte e movimentação de materiais sobre um piso, areia, sujeira entre outros (FAZANO, 1989; MORESCHI, 2005; SILVA et al., 2010). Por último, o ensaio de brilho de um acabamento, visa aferir a capacidade ou não deste refletir uma imagem na superfície. O brilho de um acabamento quanto à capacidade de refletir imagens, classifica a superfície em brilhante, acetinada e fosca ou mesmo em difusa ou especular considerando a sua suavidade, nitidez e contraste entre tipos de reflexão (GARDNER, 1937; GUEDES, 2011).

2.7.1 Propriedades da madeira que influenciam a aplicação do produto de acabamento

A qualidade de acabamento aplicada à superfície da madeira é afetada por características da madeira como aspecto, teor de umidade, coeficiente de contração, porosidade e conteúdo de exsudados (KOLLMANN; KUENZI; STAMM 1975; OLIVEIRA, 2008).

A coloração natural da madeira pode ser uma característica que interessa manter ou, por outro lado, pode ser desejável modificar, interferindo na escolha do produto a aplicar. Existem no mercado produtos que permitem preservar o tom natural da madeira e outros que o alteram através de pigmentos ou corantes. Por sua vez, um elevado teor de umidade da madeira promove a ocorrência de problemas no acabamento caracterizado pela falta de aderência desta e o seu conseqüente destacamento. Em madeiras de uso exterior, o teor em umidade, no momento da pintura, deve estar compreendido entre 15% e 20% e, para produtos de uso interior, o teor de umidade deve encontrar-se entre 8 a 15%. A variação dimensional da madeira (ocasionada pela variação de teor

de umidade) provoca frequentemente elevadas tensões que fazem romper a película de acabamento (OLIVEIRA, 2008).

Ainda de acordo com a autora, a porosidade influencia a quantidade de produto absorvido pela madeira, fazendo variar as demãos e gramatura, os rendimentos e os tempos de trabalho dos revestimentos. Uma madeira muito porosa necessitará de quantidades maiores de produto do que uma pouco porosa para que se consiga o mesmo efeito. Por último, a presença de exsudados como resinas, óleos, gomas, ceras, antioxidantes e corantes na superfície da madeira dificulta, retarda ou impede a polimerização ou secagem dos recobrimentos. Uma limpeza da madeira ajuda a prevenir o aparecimento dos extratos à superfície.

CAPÍTULO 3

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DAS MADEIRAS DE *Brachystegia spiciformis* Benth e *Julbernardia globiflora* (Benth) Troupin

3.1 INTRODUÇÃO

O conhecimento das propriedades da madeira é fundamental para se garantir a qualidade do produto final e otimização do uso da matéria prima, principalmente quando se refere ao uso de espécies alternativas (pouco conhecidas no mercado), que apresentam diversidade em características tecnológicas.

Sabe-se que as propriedades físicas da madeira como densidade, teor de umidade e retratibilidade podem influenciar significativamente na sua resistência, no processo de secagem, usinagem e na qualidade de colagem bem como na aplicação de produtos de acabamentos. Por sua vez, as propriedades químicas com destaque para os extrativos influenciam na durabilidade natural da madeira, na coloração, higroscopicidade e permeabilidade, assim como nas operações de colagem e aplicação de acabamentos superficiais.

O objetivo deste capítulo foi de determinar as propriedades físicas e químicas das madeiras das espécies *B. spiciformis* e *J. globiflora*, com intuito de favorecer sua melhor utilização e obtenção de produtos de qualidade com valor agregado, uma vez que não existe informação suficiente para qualificar essas madeiras (considerando as múltiplas possibilidades de uso) e consequente promoção das mesmas em nível da indústria madeireira moçambicana.

3.1.1. Objetivos específicos

- Determinar e comparar a densidade das espécies *B. spiciformis* e *J. globiflora*;
- Avaliar a retratibilidade das espécies estudadas;
- Determinar as propriedades químicas de teor de extrativos totais, lignina total, pH, solubilidade em NaOH e materiais inorgânicos.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

3.2.1 Determinação da densidade

De cada disco (60 mm de espessura) retirado na posição do DAP das árvores conforme a metodologia descrita no Capítulo 1, foram produzidos corpos-de-prova (região do cerne) com dimensões de 20 x 20 x 50 mm para determinação da massa específica básica com base na norma ISO 13061-2: 2014 (E). A determinação da densidade básica foi feita pelo método da balança hidrostática na qual, primeiramente, as amostras foram colocadas em recipiente contendo água até a saturação e, em seguida, pesadas obtendo-se o volume saturado em balança digital com precisão de 0,01g. Após a obtenção da massa saturada, as amostras foram secas em estufa à temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ para a obtenção da massa seca. Foram utilizadas 15 amostras por espécie. Foi também determinada a densidade aparente a 12% a partir da medição de todos os sarrafos preparados para a colagem lateral com dimensões de 20 x 50 x 320 mm.

A reprodutibilidade das espécies foi determinada com base na norma COPANT 462 (1972) e consistiu na confecção de corpos-de-prova (retirados das pranchas) com dimensões 25 x 25 x 100 mm (espessura, largura e comprimento) orientados nos planos radial e tangencial para determinação das respectivas retrações. Foi determinado também a retração volumétrica total e o fator anisotrópico. Foram usadas 10 repetições por espécie.

3.2.2 Propriedades químicas da madeira

Para realização das análises químicas das espécies, foram produzidos cavacos (a partir do material remanescente dos discos nas regiões do cerne e albarno) e, em seguida transformados em serragem classificada em peneira de 60 *mesh* de fração. A composição química quantitativa foi estimada através da determinação da solubilidade em hidróxido de sódio (NaOH) a 1% e materiais inorgânicos, de acordo com os procedimentos descritos na norma TAPPI T257 (2012) e TAPPI T211 (2002), respectivamente. Foi também determinado o teor de extrativos totais (TAPPI T 204 cm - 97) e teor de lignina total (solúvel + insolúvel) através dos métodos descrito por Gomide e Demuner (1986) (Lignina

Klason insolúvel) e Goldschimid (1971) (Lignina solúvel). Em cada análise do componente químico foram feitas três repetições por amostra/espécie.

A determinação do pH da madeira foi realizada adaptando-se a norma TAPPI 252 (2002), a qual consistiu em pesar 2g de serragem absolutamente seca, adicionando-se 100 ml de água destilada e submetendo a mistura a uma fervura em banho maria durante 1 hora. Em seguida, resfriou-se a mistura à temperatura ambiente (23° - 25°C) para execução das medições através de um pHmetro digital de marca DEL LAB, modelo DLA-PH, após o intervalo de 2 e 24 horas. A determinação do pH também foi realizada em triplicata. Os valores médios por espécie para todas propriedades químicas, foram obtidos pela média de valores encontrados na madeira do cerne e alburno.

3.2.3 Análise estatística

Os resultados dos ensaios foram submetidos ao Teste de homogeneidade das variâncias (Bartlett) e em seguida a análise de variância ao nível de 95% de probabilidade. Havendo diferença em alguma das propriedades avaliadas, aplicou-se o teste “t” a 95% de nível de probabilidade. Todos os testes foram efetuados no pacote estatístico “*Statgraphics Centurion XVI*”.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Propriedades físicas

Com base nos resultados da tabela 5, as espécies *B. spiciformis* e *J. globiflora* apresentaram valores médios de densidade básica e aparente estatisticamente iguais entre si, o que pressupõe um comportamento similar das mesmas em solicitações de uso que exijam a resistência mecânica. Ademais, considerando os valores médios obtidos de densidade básica de 0,67 e 0,68 g.cm⁻³ para *B. spiciformis* e *J. globiflora* respectivamente, tais espécies podem ser classificadas como madeiras de densidade média segundo a classificação de Melo et al. (1990) e IBAMA (2015).

TABELA 5. RESULTADOS MÉDIOS DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DAS ESPÉCIES *Brachystegia spiciformis* e *Julbernardia globiflora*

Propriedades físicas	Espécie		<i>p</i>
	<i>B. spiciformis</i>	<i>J. globiflora</i>	
Densidade básica (g.cm ⁻³)	0,67 (16,8)	0,68 (12,5)	0,2574
Densidade aparente (12%) (g.cm ⁻³)	0,74 (15,5)	0,76 (16,3)	0,1313
Contração volumétrica (%)	12,26 (14,8)	12,92 (17,7)	0,5268
Contração tangencial (%)	7,94 (15,1)	8,65 (21,5)	0,2527
Contração radial (%)	4,58 (13,9)	4,45 (19,3)	0,8247
Coefficiente de Anisotropia	1,63 (12,3)	1,78 (16,6)	0,1792

P - quando o valor da probabilidade for maior ou igual a 0,05 significa que não existe diferença estatisticamente significativa entre as médias das espécies para cada propriedade; Valores entre parênteses representam o coeficiente de variação em percentual;

De acordo com Marra (1992), Vick (1999) e Gaspar et al. (2005), madeiras com densidade básica menor que 0,70 g.cm⁻³ tendem a apresentar melhor resistência da ligação adesiva sendo, por conseguinte, preferíveis para produção de painéis *EGP*. Nessa ordem, considerando apenas a densidade das espécies em estudo, espera-se que as mesmas apresentem um bom desempenho de colagem.

Bunster (1995) determinou a densidade básica para madeira da espécie *B. spiciformis* obtendo valor médio de 0,59 g.cm⁻³, e densidade aparente (12%) de 0,71 g.cm⁻³. Khan (2018) obteve para a mesma espécie densidade básica e aparente (12%) de 0,62 e 0,77 g.cm⁻³ respectivamente. Os valores encontrados pelos dois autores são muito próximos aos determinados no presente estudo. Para a espécie *J. globiflora* a densidade básica e aparente (12%) obtida por Bunster (1995) foi de 0,71 e 0,86 g.cm⁻³, respectivamente. Por sua vez, Khan (2018) encontrou densidade básica de 0,68 g.cm⁻³ e densidade aparente (12%) de 0,82 g.cm⁻³. A diferença de valores em comparação aos encontrados nesta pesquisa pode ser explicada pela variação que ocorre na densidade em função da forma e condição da determinação, procedência, idade, variação dentro e entre árvores da mesma espécie.

Ali et al. (2008) determinaram a densidade aparente (12%) para as três espécies mais processadas comercialmente em Moçambique e obtiveram valores médios de 0,67, 0,59 e 0,72 g.cm⁻³ para *Azelia quanzensis* (chanfuta), *Pterocarpus angolensis* (umbila) e *Millettia stuhlmannii* (jambire), respectivamente. Nota-se com esses valores que as espécies em estudo

possuem seus valores de densidade aparente (12%) dentro do intervalo das espécies comerciais e tradicionalmente utilizadas, podendo se inferir (considerando apenas essa propriedade) que, provavelmente, teriam um comportamento similar em serviço. Por outro lado, este resultado consubstancia a tese de que as espécies em estudo constituem-se em alternativas que carecem de promoção no mercado nacional e, principalmente, na indústria moveleira e de molduras.

No que tange à análise das contrações da madeira, as espécies também apresentaram valores médios com diferença estatisticamente não significativa. No entanto, ressalta-se que este resultado é decorrente das características anatômicas intrínsecas de cada espécie. Por sua vez, encontrou-se o coeficiente de anisotropia de 1,63 e 1,78 para *B. spiciformis* e *J. globiflora*, respectivamente. Os resultados de coeficiente de anisotropia encontrados, permitem afirmar, considerando o critério de classificação de Durlo e Marchiori (1992), que a madeira de ambas as espécies possui uma boa estabilidade dimensional. Outro fator que sustenta a boa estabilidade dimensional das espécies em estudo são os valores das contrações volumétricas as quais foram baixas o que caracteriza uma espécie tida como estável.

Sabe-se que a importância desse coeficiente reside no fato de que quanto maior for o seu distanciamento da unidade, a madeira será mais propensa ao fendilhamento e empenamento durante as alterações dimensionais provocadas pela variação higroscópica. Por sua vez, Magalhães et al. (2006) afirmam que no caso de aplicação de produto de acabamento, a instabilidade dimensional da madeira ocasiona a perda de adesão e o conseqüente descascamento da película.

Sendo assim, pode afirmar-se que as espécies em estudo possuem valores de densidade e coeficiente de anisotropia que as favorece para uso na indústria de móveis e de molduras.

3.3.2 Propriedades químicas da madeira

Os resultados das propriedades químicas (Tabela 6) para as espécies em estudo foram estatisticamente diferentes (na sua maioria), com exceção do teor de lignina total, cujos os valores médios não apresentaram diferença estatisticamente significativa. Por sua vez, os valores médios das propriedades químicas em ambas as espécies foram superiores na posição do cerne quando comparadas ao alburno.

TABELA 6. VALORES MÉDIOS DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DAS ESPÉCIES *Brachystegia spiciformis* E *Julbernardia globiflora*

Propriedades Químicas	<i>B. spiciformis</i>			<i>J. globiflora</i>			Valor de p*
	Espécie	Cerne	Alburno	Espécie	Cerne	Alburno	
Extrativos totais (%)*	19,63	21,14a (18,4)	18,39b (26,3)	15,66	16,96a (16,7)	14,51b (19,2)	0,0000
M. inorgânicos (%)	1,33	1,89a (19,6)	0,99b (16,2)	2,36	3,51a (16,0)	2,14b (14,3)	0,0075
pH	6,10	6,63a (16,1)	5,77b (12,5)	6,56	6,97a (25,1)	6,45b (18,2)	0,0209
Lignina solúvel (%)	0,34	0,25a (19,5)	0,17b (18,6)	0,42	0,32a (14,3)	0,17b (12,0)	0,1820
Lignina insolúvel (%)	29,33	30,18a (16,3)	27,47b (15,0)	30,42	35,34a (28,3)	25,49b (16,4)	0,3272
Solubilidade em NaOH (%)	19,85	19,75b (23,1)	20,66a (19,4)	15,35	17,42a (27,0)	14,02b (14,7)	0,0000

P* - quando o valor da probabilidade for maior ou igual a 0,05 significa que não existe diferença estatística significativa entre as médias das espécies; Valores entre parênteses representam o coeficiente de variação em percentual; Médias seguidas pela mesma letra na linha entre as posições cerne e alburno dentro de cada espécie não diferem estatisticamente.

Os teores de extrativos totais das espécies *B. spiciformis* e *J. globiflora* se encontram na faixa dos resultados obtidos para outras folhosas, com destaque para estudos de Uetimane et al. (2017), que reportaram para uma das espécies nativas mais comerciais de Moçambique (*Millettia stuhlmannii*) um teor de extrativos totais de 18,5% enquanto que Lhate et al. (2010), reportaram para as outras duas espécies também comerciais (*Afzelia quazensis* e *Pterocarpus angolensis*) valores médios de 9,92 e 11,69%, respectivamente. Bila et al. (2016) quantificaram o teor de extrativos totais de seis espécies de madeiras da Amazônia e encontraram valores médios que variavam de 3,19 a 11,67%. No

entanto pode se afirmar que o teor de extrativos das espécies em estudo são característicos de madeira tropical.

Ressalta-se que, Sjöström (1981) e Jankowsky (1988) afirmam que o teor de extrativos é, em geral, inferior a 10% e à medida que certas espécies (tropicais) apresentam valores superiores a esse, aumenta a dificuldade de colagem devido a redução considerável da resistência à adesão interna (que se caracteriza em uma linha de cola de baixo desempenho); ou resultar em uma pré-cura dos adesivo quando este entra em contato com os extrativos (TSOUMIS, 1991; MALONEY, 1993). Adicionalmente, Lima et al. (2007) afirmam que os extrativos podem ocasionar alteração da coloração das madeiras. Ghofrani et al. (2016) também relatam que o efeito do teor de extrativos, no caso da aplicação de produtos de acabamento, é a redução da compatibilidade e da força de adesão dos vernizes. Por sua vez, Hillis (1971) corrobora que, alguns tipos de extrativos podem propiciar boa aderência ao acabamento e estabilidade dimensional à madeira, outros são absorvedores de luz ultravioleta e aumentam a estabilidade dos vernizes.

Com relação ao teor de materiais inorgânicos, se pode observar que para ambas as espécies, os valores encontraram-se dentro da faixa de materiais inorgânicos estabelecido por Tsoumis (1991), e que se situa entre 0,1 a 5,4%. Constata-se também que o teor de cinzas das espécies em estudo é mais elevado (apesar de estar dentro do intervalo estabelecido para madeira) quando comparadas às espécies *Pinus sp.* e *Eucalyptus sp.* comumente usadas para produção do EGP. De acordo com Tsoumis (1991), o teor de materiais inorgânicos permite fazer uma inferência sobre o possível desgaste excessivo das ferramentas de corte durante o seu processamento, sendo maior a medida que estes aumentam.

Quanto ao pH, as espécies apresentaram valores médios fora da faixa de pH para madeira de 3,0 e 5,5 estabelecido por Stamm (1964). No entanto, este resultado pode estar associado ao valor de cinzas bem como aos extrativos possivelmente apresentarem qualidade mais básica, ou seja, menos componentes que proporcionam acidez e mais componentes alcalinos (Tabela 6). Esta afirmação é sustentada pela permissa de Kofman (2016), que afirma que o pH da madeira possui uma relação de proporcionalidade direta com teor

de materiais inorgânicos (cinzas) o qual, aumenta ou diminui à medida que este sofre alguma variação. Todavia, Kollmann et al. (1975) e Iwakiri (2005) afirmam que teores elevados de pH tornam as espécies menos ácidas o que favorece o uso das mesmas para produção de produtos colados, pois facilita a fluidez, umectação e penetração do adesivo. Com base no pressuposto dos autores citados, pode se prever que quando se considera apenas essa propriedade a madeira em estudo poderá apresentar um bom desempenho na colagem.

O valor médio do teor de lignina total para espécie *B. spiciformis* e *J. globiflora* foi de 29,67% e 30,84%, respectivamente. Esses valores encontram-se dentro da faixa de lignina para madeiras tropicais estabelecido por Fengel et al. (1983) que se situa entre 29,4 a 40,5%. Por sua vez, Tsoumis (1991) estabelece a faixa de teor de lignina para madeiras de folhosas entre 14 a 34,6 %. Sangumbe et al. (2018) encontraram para espécie *B. spiciformis* coletada na floresta angolana um teor de lignina de $22,5 \pm 0,7\%$. Na análise do teor de lignina para as principais madeiras comerciais de Moçambique, Lhate et al. (2010) encontraram um teor de lignina (insolúvel) para madeira de *Azelia quazensis* e *Pterocarpus angolensis* de 26,99 e 31,10%, respectivamente. Por sua vez, Uetimane et al. (2017), determinaram para madeira de *Millettia stuhlmannii* um teor de lignina total de 39,7%.

Santana e Okino (2007) estudaram 36 espécies de madeira da Amazônia e encontraram uma faixa de teor de lignina compreendida entre 26 a 37%. Nessa ótica, os resultados referentes à composição química analisados neste trabalho, podem ser considerados típicos para as espécies em questão. Perez et al. (2002), afirmam que a lignina confere rigidez à parede celular e, na madeira, age como um agente permanente de ligação entre as células, gerando uma estrutura resistente ao impacto, compressão e dobra.

Em relação ao teor de extrativos obtidos na solubilidade em hidróxido de sódio, ambas as espécies apresentaram valores médios estatisticamente iguais. Segundo Sjöström (1981), a solubilidade em hidróxido de sódio, pode ser um indicativo do grau de ataque na madeira por fungos e outros agentes de deterioração na madeira. No entanto, ressalta-se que a madeira usada nesta pesquisa se apresentava visualmente isenta de ataques por agentes biodeterioradores.

3.4 CONCLUSÕES

- A madeira das espécies *B. spiciformis* e *J. globiflora* apresentaram densidades estatisticamente iguais e que classificam-nas como sendo de média densidade;
- As espécies apresentaram boa estabilidade dimensional, ideal para produção de móveis e molduras;
- Tanto a madeira de *B. spiciformis* como a de *J. globiflora* apresentaram elevados teores de extrativos, lignina e de materiais inorgânicos, característicos de madeira tropical;
- A madeira de cerne em ambas as espécies apresentou valores de propriedades químicas superiores em relação à madeira de alburno.

CAPÍTULO 4

AVALIAÇÃO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM EM MADEIRA DE MESSASSAS (*Brachystegia spiciformis* e *Julbernardia globiflora*)

4.1 INTRODUÇÃO

A indústria madeireira moçambicana carece de modernização e expansão bem como demanda de novas espécies de madeira não utilizadas e conhecidas no mercado nacional e internacional. Neste contexto, o conhecimento das possíveis aplicações da madeira de espécies nativas é fundamental, considerando a alta biodiversidade existente nos biomas de Moçambique, assim como as características tecnológicas diferenciadas das mesmas.

Nos últimos 10 anos, verifica-se em Moçambique uma tendência de pesquisas voltadas a indicar outras espécies potenciais para a produção de madeira, por meio da determinação das suas características anatômicas (UETIMANE et al., 2009 e 2018; BILA et al., 2018), químicas (LHATE et. al., 2010), físicas e mecânicas (ALI et al., 2008; CRISTOVÃO et al., 2011), força de corte (LHATE; CRISTOVÃO, 2017) bem como sobre a secagem (Egas, et. al., 2019). Assim, tal como a caracterização tecnológica das espécies, o conhecimento sobre o comportamento na usinagem e qualidade superficial é de extrema importância para utilização da madeira sobretudo aquela destinada à produção moveleira, o que garante uma otimização no aproveitamento da mesma (SILVA et al. 2005; MUÑOZ, 2011).

A usinagem da madeira é o processo mecânico que visa conferir a forma desejada quanto às dimensões e qualidade de seus produtos (BROWN, 1998; SILVA, 2002). Lucas (2004), acrescenta que a usinagem e suas relações de causa e efeito com as variáveis envolvidas no processo, são primordiais para o posicionamento perante a concorrência e para o desenvolvimento de um processo de fabricação mais eficiente. Taylor et al. (1999) e Gupta et al. (2019) afirmam que durante a usinagem, diferentes espécies tendem a apresentar comportamento distinto, devido às características inerentes à suas madeiras, tais como densidade, teor de umidade, anisotropia, materiais inorgânicos,

extrativos, grã e textura, lenho juvenil/adulto, lenho de reação e presença de nós.

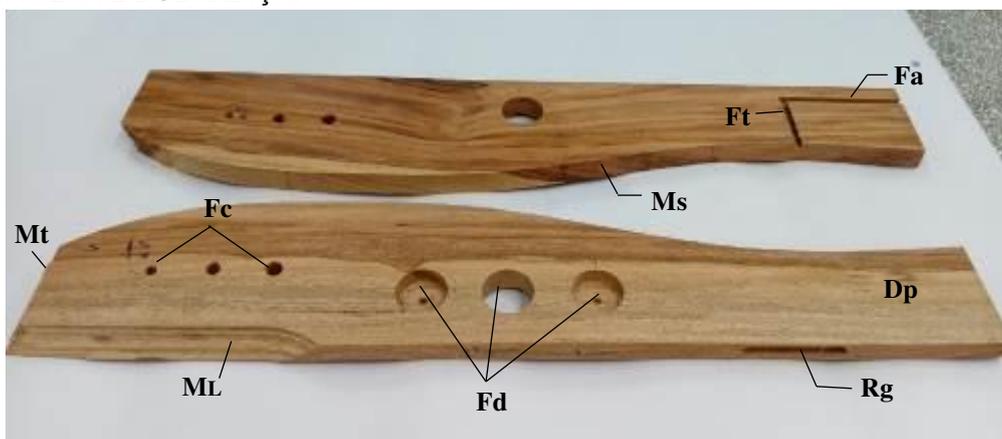
Desta forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar o comportamento da madeira das espécies de messassas *B. spiciformis* e *J. globiflora* nos processos de usinagem como aplainamento, moldura axial, moldura de topo, fresagem axial e transversal, perfilagem axial sinuosa, rasgo e furação para cavilha e dobradiça, com vista a determinar a sua adequabilidade para produção de móveis e molduras, aliado às questões de melhor aproveitamento da madeira.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Material

O material para essa parte do estudo consistiu em 20 peças de cada espécie aleatoriamente selecionadas para os ensaios de usinagem com base na norma ASTM D 1666-11 (2011). As peças apresentavam dimensões de 25 x 150 x 650 mm correspondente a espessura, largura e comprimento, respectivamente, e um teor de umidade de $12 \pm 2\%$. Foram realizados os seguintes ensaios de usinagem: aplainamento, moldura lateral, moldura de topo, fresagem axial e transversal, perfilagem axial sinuosa, rasgo, furação para cavilha e dobradiça conforme ilustrado na Figura 8.

FIGURA 6. CORPO DE PROVA DOS ENSAIOS DE USINAGEM: Dp – DESEMPENO (APLAINAMENTO); Mt, MI, Ms – MOLDURA DE TOPO, LATERAL E SINUOSA; Rg – RASGO; Fa, Ft – FRESAGEM AXIAL E TRANSVERSAL; Fc, Fd – FURAÇÃO PARA CAVILHA E DOBRADIÇA.



FONTE: O autor, 2019.

4.2.3 Método

4.2.3.1 Ensaios de usinagem

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Usinagem da Madeira, na Universidade Federal de Lavras, Brasil. Os parâmetros de usinagem utilizados nas operações seguiram a metodologia de Zamarian et al. (2012). Ressalta-se que para evitar a influência dos desgastes dos gumes de corte na qualidade de usinagem entre as amostras, foi sorteada a sequência dos corpos-de-prova em cada operação. Com exceção do aplainamento, as velocidades médias de alimentação apresentadas para as operações restantes foram manuais e obtidos pelo quociente entre deslocamento de usinagem e o tempo cronometrado necessário para executá-lo. Todos os ensaios foram realizados na mesma peça obedecendo a sequência das operações da Tabela 7.

TABELA 7. PARÂMETROS DOS ENSAIOS DE USINAGEM UTILIZADOS PARA MADEIRAS *Brachystegia spiciformis* e *Julbernardia globiflora*

Operação	Z (nº)	n (min ⁻¹)	D (mm)	Vc (m*s ⁻¹)	V _f (m*min ⁻¹)
Aplainamento	3	3445	105	18,93	6,0;15,0
Moldura de topo	2	8000	135	56,52	0,65
Moldura lateral	2	8000	135	56,52	0,78
Moldura axial sinuosa	4	8000	90	37,68	0,50
Rasgo (furadeira horizontal)	2	3380	8	1,42	2,58
Fresamento axial	1	27000	5	7,07	0,78
Fresamento transversal	1	27000	5	7,07	1,38
Furação para cavilha	2	1735	8;10;12	0,73;0,91;1,09	0,50
Furação para dobradiça	2	1735	35	3,18	0,17

Z = número de gumes da ferramenta de corte; n = frequência de rotação do eixo porta ferramenta; D = diâmetro da ferramenta; Vc – Velocidade de corte; Vf = velocidade de alimentação da peça.

Na operação de aplainamento, as peças foram usinadas em faces opostas no sentido paralelo à grã, sendo cada face com velocidade de avanço distinta (sendo uma baixa de 6 m.min⁻¹ e outra alta de 15 m.min⁻¹) e velocidade de corte constante (Tabela 7). Em cada face foram feitas duas passadas, com espessura de corte igual a 0,5 mm, sendo que no final, todas peças tiveram uma redução de 2 mm na espessura. A figura 09, ilustra a plaina desempenadeira utilizada com o mecanismo de avanço mecânico.

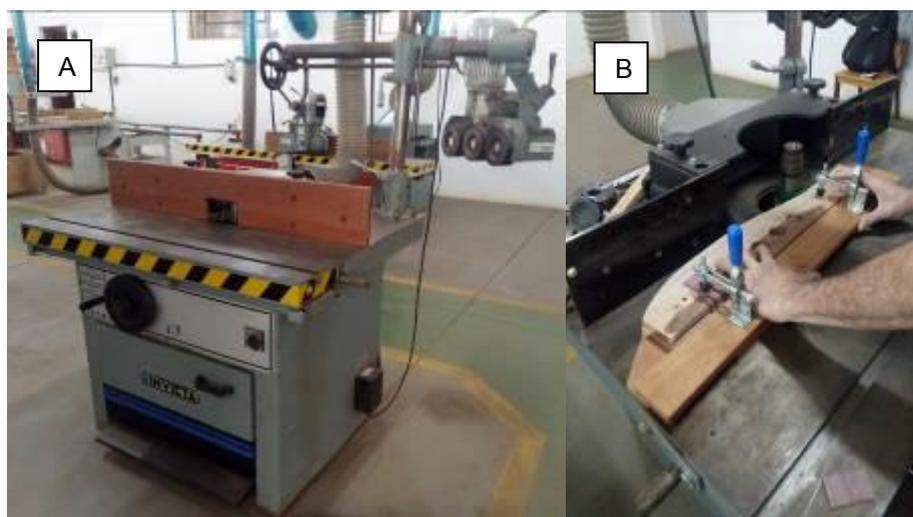
FIGURA 7. OPERAÇÃO DE APLAINAMENTO DE MADEIRAS DAS ESPÉCIES *Brachystegia spiciformis* e *Julbernardia globiflora* EM PLAINA DESEMPENADEIRA



FONTE: O autor, 2019.

A molduragem de topo e lateral, executada numa tupia (Figura 10), foi realizada no sentido transversal e ao longo da grã respectivamente, utilizando-se uma faca perfiladeira do tipo standard LEN-Perfil 24. Na moldura axial sinuosa foi usada uma faca perfiladeira plana que consistiu em executar uma curva sinuosa ao longo da grã em todo comprimento da peça.

FIGURA 8. OPERAÇÃO DE MOLDURAGEM AXIAL EM MADEIRAS DE *Brachystegia spiciformis* e *Julbernardia globiflora* (A DIREITA) EM A – TUPIA. B – OPERAÇÃO.

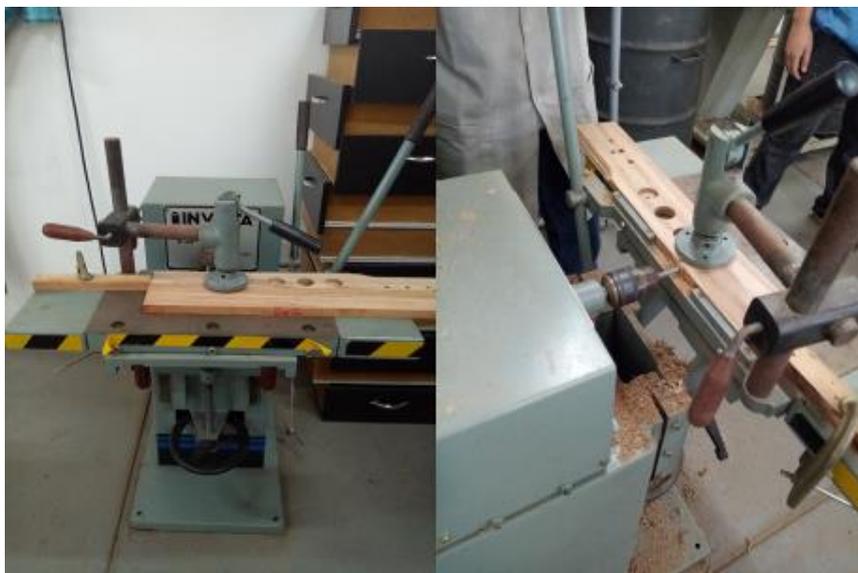


FONTE: O autor, 2019.

O ensaio de rasgo foi executado no mesmo canto, no lado ao qual se fez a moldura axial sinuosa, utilizando uma furadeira horizontal com avanço manual

(Figura 11). Foi feito apenas um rasgo em cada peça, cuja geometria foi de 5 x 8 x 70 mm correspondentes à profundidade, largura e comprimento, respectivamente.

FIGURA 9. ENSAIO DE RASGO EM MADEIRA DE *Brachystegia spiciformis* E *Julbernardia globiflora* NA FURADEIRA HORIZONTAL



FONTE: O autor, 2019.

A fresagem axial e transversal apresentou dimensões de 7 x 50 x 100 mm, de profundidade, largura e comprimento, respectivamente, formando um desenho em forma de “L”, realizada numa tupia manual de coluna com rotações de motor variando de 8000 a 27000 rpm.

FIGURA 10. OPERAÇÕES DE FRESAMENTO AXIAL E TRANSVERSAL EXECUTADAS EM MADEIRAS DE *Brachystegia spiciformis* E *Julbernardia globiflora* EM TUPIA DE COLUNA



FONTE: O autor, 2019.

No ensaio de furação para cavilha foram utilizadas brocas do tipo helicoidal de aço, diâmetro 8, 10 e 12 mm sendo todos furos passantes. Na furação para dobradiça foi usada uma broca de 35 mm e foram executados três furos, dos quais um passante e dois não passantes (Figura 8). Em ambos os casos, utilizou-se uma furadeira com avanço manual (Figura 13).

FIGURA 11. OPERAÇÃO DE FURAÇÃO EM MADEIRA DE *Brachystegia spiciformis* E *Julbernardia globiflora* EM FURADEIRA VERTICAL



FONTE: O autor, 2019.

4.2.3.2 Avaliação das operações de usinagem

A superfície de madeira usinada em cada operação foi qualificada por meio dos pressupostos subjetivos (visuais) conforme norma ASTM D 1666-11 (2011), sobre os defeitos pós-usinagem. A Tabela 8, resume os critérios usados para avaliação.

TABELA 8. NOTAS E CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DA SUPERFÍCIE USINADA

Notas	Critérios de qualidade da superfície	Classificação da superfície
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: Adaptado de ASTM 1666-11 (2011).

A qualificação foi feita por uma equipe de 3 avaliadores (Figura 14) que atribuíram (separadamente) notas que variavam de 1 a 5 nos defeitos, conforme a sua intensidade e frequência.

FIGURA 12. EQUIPE DE AVALIADORES DAS OPERAÇÕES DE USINAGEM EM MADEIRAS DE *Brachystegia spiciformis* E *Julbernardia globiflora*



FONTE: O autor, 2019.

As notas atribuídas, permitiram agrupar as peças em 5 classe de qualidade de superfície, sendo: Classe 1 (Excelente) - Indicava a ausência de defeitos na peça; Classe 2 (Boa) - Presença de menos de 50% de defeitos; Classe 3 (Regular) - Presença de 50% de defeitos; Classe 4 (Ruim) - Presença de mais de 50% de defeitos; e, Classe 5 (Muito ruim) - Presença de 100% de defeitos. Após a classificação, calculou-se para cada operação, a percentagem de peças que enquadravam-se em cada classe.

4.2.3.3 Análise de dados

Como o objetivo deste capítulo foi testar a madeira para uso em produtos cuja qualidade da superfície é primordial, tais como, móveis, molduras, portas, janelas, entre outros, aplicou-se o teste T^2 de Hotelling para avaliar a existência de diferença entre as notas atribuídas pelos avaliadores. Em seguida determinou-se um único valor por superfície, quando pelo menos dois dos três avaliadores colocaram a peça numa mesma classe ou pela média aritmética quando os três atribuíram classes diferentes e sem consenso. Os resultados em

cada operação de usinagem foram comparados com base em percentagens de peças classificadas como sendo de classe 1 e 2 conforme proposto pela norma.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 9 são apresentados os percentuais de peças em cada classe de qualidade de superfície da madeira obtidos nas diferentes operações de usinagem para as espécies *B. spiciformis* e *J. globiflora* nas condições de ensaio estabelecidas. Observa-se que, a maioria das peças ensaiadas, para ambas as espécies teve um percentual de aprovação acima de 70% e classificadas entre as classes 1 e 2, correspondentes à qualidade de superfície tida como excelente e boa, respectivamente. No entanto, vale destacar que, apenas na operação de rasgo na madeira da espécie *J. globiflora* ocorreu a classificação na classe 4. Por sua vez, não ocorreu a classificação de superfície de madeira na classe 5 em todo o estudo.

TABELA 9. PERCENTAGEM DE PEÇAS EM CADA CLASSE DE QUALIDADE DE SUPERFÍCIE NA USINAGEM DE MADEIRAS DAS ESPÉCIES *B. spiciformis* E *J. globiflora*

Operação	Parâmetro	Classe (%)									
		1		2		3		4		5	
		Bs	Jg	Bs	Jg	Bs	Jg	Bs	Jg	Bs	Jg
Aplainamento	6 m.min ⁻¹	60	45	25	35	15	20	0	0	0	0
	15 m.min ⁻¹	30	15	25	30	45	55	0	0	0	0
Moldura de topo	-	10	5	85	80	5	15	0	0	0	0
Moldura lateral	-	85	80	15	15	0	5	0	0	0	0
Moldura axial sinuosa	-	90	80	10	20	0	0	0	0	0	0
Rasgo	-	10	10	60	35	30	30	0	25	0	0
Fresagem axial	-	85	70	15	25	0	5	0	0	0	0
Fresagem transversal	-	15	0	85	90	0	10	0	0	0	0
Furação cavilha	8 mm	0	20	70	65	30	15	0	0	0	0
	10 mm	15	15	45	60	40	20	0	0	0	0
	12 mm	10	20	55	70	35	10	0	0	0	0
Furação dobradiça	Passante	35	25	65	60	0	15	0	0	0	0
	Não passante	40	15	60	65	0	20	0	0	0	0

Em que: Bs: *B. spiciformis* e Jg: *J. globiflora*.

A ocorrência de maior número de peças nas classes 1 e 2 nas diferentes operações de usinagem da madeira demonstra um desempenho satisfatório das

duas espécies, conseqüentemente, aptas para utilização em produtos de maior valor agregado, como produção de móveis e molduras. A indicação destas madeiras para produção de móveis, por exemplo, é justificada pelo bom desempenho nas operações de fresagem axial, transversal e furação para dobradiça (Tabela 9), bem como pela boa estabilidade dimensional reportada anteriormente. Por sua vez, a indicação para produção de molduras é sustentada pelos bons resultados nos ensaios de moldura de topo, lateral e sinuosa.

Ainda com base nos resultados da tabela 9, verifica-se que o aplainamento com velocidade de avanço igual a $6 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ apresentou a classificação das peças majoritariamente nas classes 1 e 2. Em contrapartida, o aplainamento com velocidade de avanço de $15 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ resultou na classificação da maioria das peças ensaiadas, tanto da *B. spiciformis* quanto da *J. globiflora*, na classe 3 (qualidade regular). Esta classe está associada com a presença de defeitos como arpejamento e arrancamento das fibras da madeira. Vančo et al. (2017) e Kaplan et al. (2018) reportaram para madeiras de *Pinus sylvestris* L. e *Quercus cerris*, respectivamente, o decréscimo da qualidade de superfície, como por exemplo o aumento da rugosidade em função do aumento da velocidade de alimentação. Sendo assim, estes resultados (tabela 9) demonstram a importância de aplainar a madeira destas espécies com velocidade de alimentação baixa, resultando em boa qualidade de superfície, bem como redução no consumo da madeira na fase de lixamento, que visa eliminar as depressões e suavizar a superfície usinada da madeira (LAINA et al. 2017). Burdurlu et al. (2005), Hernandez et al. (2001), Ratnasingam e Scholz, (2007) e Gupta et al. (2019) afirmam que no aplainamento, parâmetros como ângulos de corte e número de facas, também possuem efeitos diferentes na qualidade da superfície de madeira usinada, porém não foram alvos de análise no presente estudo.

A comparação entre as espécies no aplainamento revelou melhor desempenho da madeira de *B. spiciformis*. Possivelmente, este resultado se deu em função do lenho da espécie *J. globiflora* possuir grã intercruzada (como relatado no Capítulo 2), o que prejudica seu aplainamento com elevadas velocidades de alimentação. A figura 15 ilustra as classes de qualidade de superfície obtidas no aplainamento.

FIGURA 13. CLASSES DE QUALIDADE SUPERFICIAL NO APLAINAMENTO DA MADEIRAS DAS ESPÉCIES *Brachystegia spiciformis* (A) E *Julbernardia globiflora*



FONTE: O autor, 2019.

A operação de molduragem em ambas as espécies, teve um percentual de peças aprovadas acima de 85% na moldura de topo e lateral (Tabela 9), visto que, a maioria das peças foram classificadas como excelente (classe 1) e boa qualidade de superfície (classe 2). Por sua vez, a moldura axial sinuosa apresentou 100% de aprovação de peças em ambas as espécies nas classes enfatizadas anteriormente. Essas operações foram realizadas com velocidades de corte e de avanço distintas, sendo todas menores na moldura axial sinuosa devido à exigência da operação (Tabela 7). Diferentemente das outras molduragens, a moldura axial sinuosa é, sem dúvida, a menos delicada em razão da orientação dos esforços de corte em relação às fibras, o que favoreceu os resultados observados. Ressalta-se que além dos possíveis efeitos da anatomia da madeira, velocidades de corte e de avanço das peças nas operações de usinagem (SILVA et al. 2005; BUSTOS et al. 2010), o uso de ferramenta sem desgaste e boas condições das máquinas utilizadas no presente ensaio, contribuíram na obtenção da melhor qualidade da superfície usinada da madeira.

É de frisar que a madeira de ambas espécies necessita de cuidados para a operação de rasgo e furação. Nestas operações as espécies tiveram um desempenho similar nas quais as peças foram classificadas principalmente na

classe 2, seguidas pela classe 3. Excepcionalmente para a espécie *J. globiflora*, na operação do rasgo, ocorreram peças classificadas como sendo da classe 4 (Tabela 9). Este fato ocorreu em peças cujo rasgo coincidiu na região do albarno e se caracterizou pelo arrepiamento e arrancamento forte das fibras (Figura 16). Porém, esse defeito pouco compromete a aceitabilidade das espécies para diferentes aplicações como em móveis e que o mesmo pode ser eliminado com o lixamento, ou ainda, por o rasgo ser uma operação de encaixe, esse arrepiamento irá ser ocultado também. Além disso, novos estudos sobre os parâmetros de corte, como velocidade de corte e velocidade de avanço ou mudança nos ângulos do gume da ferramenta podem melhorar a qualidade de superfície desta operação.

FIGURA 14. RASGO COM PRESENÇA DE ARREPIAMENTO E ARRANCAMENTO DAS FIBRAS EM MADEIRA DE *Julbernardia globiflora*



FONTE: O autor, 2019.

A furação para cavilha e dobradiça foi avaliada por meio de arrancamento das fibras na saída da broca nos furos passantes. Nos furos não passantes (dobradiça) a avaliação foi feita no fundo do furo. Houveram peças classificadas na classe 3 para a furação para cavilha, principalmente para a espécie *B. spiciformis*. No entanto, estes resultados podem não influenciar na qualidade final da superfície usinada da madeira, pois serão também removidos durante o lixamento. No geral, as espécies demonstraram bom desempenho perante a operação de furação.

A fresagem axial teve também um desempenho satisfatório tendo a maioria das peças aprovadas na classe 1 (excelente qualidade de superfície). Especial destaque deve ser dado à operação de fresagem transversal que,

apesar de ser executada com orientação de esforço de corte perpendicular à disposição das fibras, a madeira das duas espécies teve um bom desempenho, onde a maioria das peças aprovadas na classe 2 (boa qualidade) com percentual de 85 e 90% para *B. spiciformis* e *J. globiflora*, respectivamente. Segundo Silva (2002), a perfilagem da madeira, principalmente no sentido perpendicular as fibras, permite realmente avaliar a usinabilidade da madeira uma vez que ela é usinada sob drásticas condições, podendo demonstrar seu verdadeiro potencial. Ainda de acordo com o mesmo autor, recomenda-se o fresamento de espécies com grã inter cruzada, como a espécie *J. globiflora*, no sentido concordante, isto é, a ferramenta de corte avança na mesma direção de rotação da máquina de modo a minimizar o surgimento de defeitos de usinagem.

Os resultados obtidos na usinagem das espécies em estudo são equiparáveis aos resultados para madeira comprovadamente de boa usinagem, como a espécie mogno africano (*Khaya ivorensis*) reportados por Carvalho et al. (2010). Por outro lado, na tabela 10 apresenta-se o comparativo dos resultados médios das notas de classificação encontrados no presente estudo para as diferentes operações de usinagem em relação à algumas espécies para fabricação de móveis como *Swietenia macrophylla* (Mogno) com densidade de $0,530 \text{ g.cm}^{-3}$, *Ocotea porosa* (Imbuia) de $0,540 \text{ g.cm}^{-3}$ e *Eucalyptus grandis* ($0,510 \text{ g.cm}^{-3}$) estudadas por Silva (2002).

TABELA 10. NOTAS DE CLASSIFICAÇÃO DAS OPERAÇÕES DE USINAGEM NA MADEIRA DAS ESPÉCIES *B. spiciformis*, *J. globiflora*, *Ocotea porosa*, *Swietenia macrophylla* e *Eucalyptus grandis*

Operação	<i>Brachystegia spiciformis</i>	<i>Julbernardia globiflora</i>	<i>Ocotea porosa</i> *	<i>Swietenia macrophylla</i> *	<i>Eucalyptus grandis</i> *
Aplainamento	2,3 (20,2)	1,6 (33,9)	3,1	1,5	2,1
Moldura de topo	2,0 (15,5)	1,9 (19,1)	3,8	1,7	3,2
Moldura lateral	1,2 (25,0)	1,2 (30,5)	2,3	4,5	5,0
Moldura axial sinuosa	1,2 (16,4)	1,3 (18,8)	1,3	-	3,6
Rasgo	2,4 (25,4)	2,8 (22,9)	2,4	3,4	2,9
Fresagem axial	1,2 (22,0)	1,3 (31,2)			
Fresagem transversal	1,8 (16,4)	2,1 (16,4)	2,9	2,9	3,9
Furação cavilha	2,4 (14,7)	2,6 (12,9)	2,2	2,4	4,3
Furação broca	2,3 (11,9)	2,3 (15,4)	-	-	-

* Silva, (2002); Números entre parentes representam o coeficiente de variação; - ausente

Embora os resultados apresentados na tabela 10 não tenham sido obtidos nas mesmas condições de ensaio, o comparativo com algumas espécies de folhosas usadas na indústria madeireira, ilustra um desempenho similar e, as vezes, superior das espécies *B. spiciformis* e *J. globiflora* nas operações de

usinagem o que evidencia uma adequabilidade das mesmas para usos mais nobres como produção de móveis e molduras.

Ressalta-se que, segundo Barcík et al. (2014), Gaff et al. (2015) e Gupta et al. (2019), além das características anatômicas da madeira, parâmetros como densidade, velocidade de corte, entre outros, possuem uma proporcionalidade direta com a rugosidade da madeira, tendo como consequência a melhoria da qualidade da superfície usinada na medida que estes aumentam. Hernández et al. (2001) e Belleville et al. (2016) reportaram bom desempenho de usinagem com o aumento da densidade em madeira de *Picea glauca* e *Eucalyptus*, respectivamente. Nessa ótica, considerando a densidade da madeira das espécies pesquisadas, que é classificada como média, pode se afirmar que ela favoreceu a sua trabalhabilidade e, por conseguinte, bom desempenho demonstrado nas operações de usinagem.

4.4 CONCLUSÕES

- As espécies *B. spiciformis* e *J. globiflora* apresentaram usinagem satisfatória com índice de aprovação acima de 70% nas operações de aplainamento, moldura lateral, moldura de topo, moldura axial e transversal, perfilagem axial sinuosa, rasgo, furação para cavilha e furação para dobradiça;
- A qualidade da superfície usinada das duas espécies nas condições do ensaio foi superior para a espécie *B. spiciformis*;
- As espécies *B. spiciformis* e *J. globiflora* possuem adequabilidade para produção de móveis e molduras.

CAPÍTULO 5

QUALIDADE DE COLAGEM DAS ESPÉCIES *B. spiciformis* E *J. globiflora* PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE COLAGEM LATERAL - EGP

5.1 INTRODUÇÃO

A fabricação de painéis de madeira sólida conhecidos como *edge glued panel* (EGP) é uma tecnologia que vem sendo adotada para melhor aproveitamento de peças de madeira com menores dimensões proveniente de outros processos de fabricação, assim como proporcionar o uso de toras de menores diâmetros e geração de produtos de maior valor agregado.

O EGP é um painel constituído por um conjunto de sarrafos de madeira colados lateralmente, podendo ou não apresentar emendas de topo *finger-joints*, e unidos através de adesivos (TIENNE et al. 2011; IWAKIRI et al. 2015). Os EGP's ainda não são produzidos comercialmente em Moçambique, porém, apresentam potencial para a sua introdução devido a menor tecnologia requerida e, conseqüentemente baixos investimentos se comparados à outras indústrias de painéis como MDF e Aglomerados.

Não obstante, para produção do EGP é de suma importância o conhecimento da capacidade de adesão da madeira a ser utilizada, fato que pode ser alcançado por meio da realização de testes de carregamento específico, como de cisalhamento na linha de cola e percentagem de falha na madeira para avaliar a eficiência da união. Segundo Pizzi e Mittal (2003), a técnica de união com adesivo substituiu parcialmente as técnicas tradicionais de junta, reduz o peso, garante uma melhor distribuição de forças, além de melhorar a estética com uma linha de cola simples e praticamente invisível.

Sendo assim, visando fornecer subsídio sobre o potencial das espécies *B. spiciformis* e *J. globiflora* para geração de produtos de maior valor agregado como os painéis EGP's que podem ser utilizados em móveis, o presente capítulo objetivou avaliar a qualidade de colagem das mesmas.

5.2. MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Material

A partir de tábuas isentas de defeitos foram obtidos sarrafos com dimensões de 18 x 55 x 310 mm correspondentes a espessura, largura e comprimento, respectivamente. Em seguida os sarrafos foram submetidos a estabilização do seu teor de umidade até 12%. No total foram produzidos 52 sarrafos por espécie para colagem lateral (juntas coladas), 24 para ensaio de flexão estática e 18 para ensaios de tração (colagem de topo/*finger-joint*).

Para a colagem dos sarrafos foram utilizados os seguintes adesivos adesivos: estrutural (PVA classe D4), semi-estrutural (EPI) e não estrutural (PVA classe D3), todos fabricados pela empresa Henkel Ltda. Ressalta-se que o adesivo PVA D3 utilizado é o Aquence KL 240 enquanto o adesivo PVA D4 foi obtido adicionando ao adesivo PVA D3 o catalisador Aquence Dorus R 2301 na proporção de 100 para 5%. Na tabela 11 apresenta-se as propriedades físicas e químicas dos adesivos e do catalisador.

TABELA 11. PROPRIEDADES FÍSICAS DOS ADESIVOS UTILIZADOS

Propriedade	PVA D3	PVA D4	Catalisador	EPI
Viscosidade – 20 °C (cp.s)	≈ 6000	≈ 6000	-	11000
Teor de sólidos (%)	42 - 47	≈ 48	28	53
pH	4,5	3,0	< 1,0	9,0

Fonte: Henkel Ltda.

5.2.2 Método

5.2.2.1 Colagem de topo (*finger-joints*) e lateral

A colagem de topo consistiu na realização do teste de flexão estática e de tração. Para tal utilizou-se somente o adesivo PVA D3, por este ser o adesivo mais utilizado pelas indústrias para colagem de topo. Primeiramente, foram feitas as ranhuras em uma das extremidades dos sarrafos por meio de uma fresa perfiladora disponível no laboratório de painéis de madeira da UFPR. A geometria dos “*fingers*” foi de 50 mm, 4 mm, 1,2 mm e 10 mm correspondentes à

altura da emenda *finger-joint*, largura da base do dente, largura da ponta do dente e comprimento do dente, respectivamente. Em seguida, procedeu-se a montagem dos sarrafos através da aplicação do adesivo por meio de um pincel preenchendo em cerca de 70% o comprimento do dente da emenda. A quantidade do adesivo aplicado foi 120 g.m^{-2} , controlada por meio da pesagem dos sarrafos antes e depois da aplicação do adesivo. Por último, fez-se a prensagem dos sarrafos numa prensa pneumática fria durante 15 segundos a uma pressão de 0,2 MPa.

FIGURA 15. SARRAFOS DE *Brachystegia spiciformis* E *Julbernardia globiflora* UTILIZADOS PARA A MONTAGEM DE JUNTAS *FINGER JOINTS*



FONTE: O autor, 2018.

Quanto a colagem lateral, as juntas coladas foram obtidas colando-se os sarrafos aos pares (dois a dois) em função do tratamento (espécies/adesivo/gramatura). Na Tabela 12 é apresentado o plano experimental utilizado. A preparação do adesivo seguiu as prescrições do fabricante, e este foi aplicado em uma das faces do sarrafo (linha simples) e espalhado com ajuda de um rolo de espuma. A pressão específica aplicada nos sarrafos foi de 0,6 MPa, exercida por meio de um torquímetro (30 N.m) durante 1 hora em temperatura ambiente (20°C) para todos os adesivos. Foram produzidas cinco juntas por tratamento para os adesivos PVA classe D4 e EPI, enquanto que para o adesivo PVA classe D3, colou-se 3 juntas por tratamento. A diferença no número de repetições das juntas coladas entre os adesivos deve-se ao fato de o adesivo PVA classe D3 por não ser estrutural ser submetido a menos pré-tratamentos

durante os ensaios de qualidade de colagem quando comparados aos adesivos estruturais (Tabela 12).

TABELA 12. PLANO EXPERIMENTAL COLAGEM LATERAL DAS ESPÉCIES *Brachystegia spiciformis* e *Julbernardia globiflora*

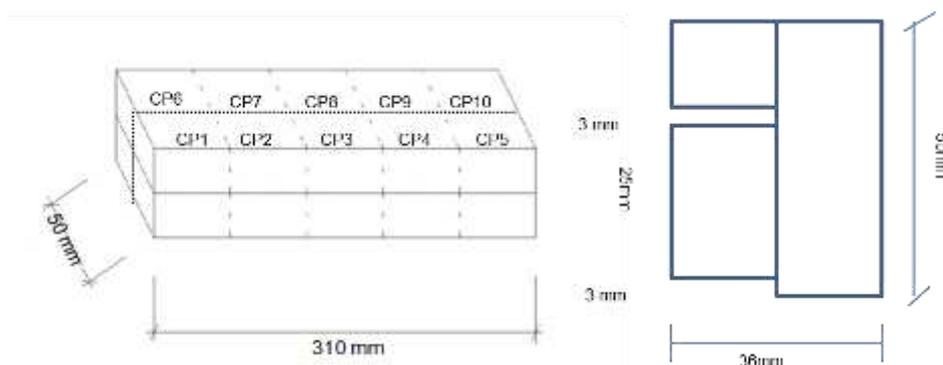
Adesivo	Gramatura (g.m ⁻²)	Pré-tratamento
PVA D3	120	Seco e úmido
	180	
PVA D4	120	Seco, úmido e Fervura
	180	
EPI	120	Seco, úmido e Fervura
	180	

Nota: Para cada pré-tratamento foram testados 15 corpos de prova

FONTE: O Autor, (2018).

Após a colagem as juntas foram acondicionadas por 7 dias para cura total do adesivo antes da confecção dos corpos-de-prova. De cada uma das juntas coladas, foram obtidos 10 corpos-de-prova conforme o esquema da Figura 18, totalizando 50 corpos-de-prova para os adesivos com 5 repetições de colagem (PVA D4 e EPI) e 30 para o adesivo PVA D3 com 3 repetições.

FIGURA 18. ESQUEMA DA RETIRADA DOS CORPO DE PROVA NAS JUNTAS COLADAS DAS ESPÉCIES *Brachystegia spiciformis* E *Julbernardia globiflora*



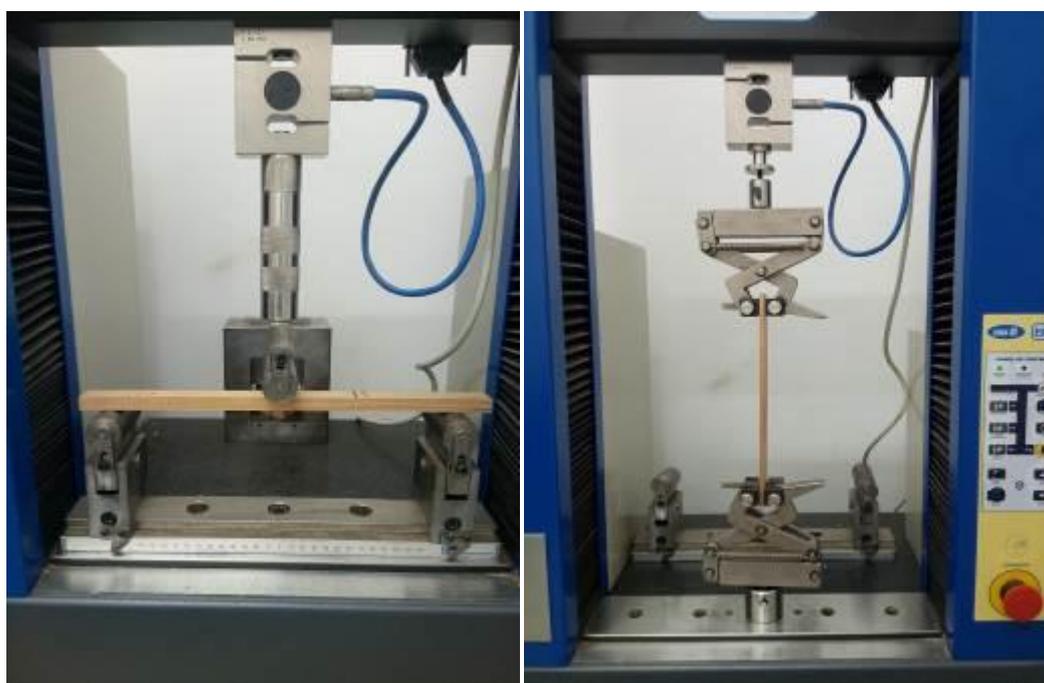
FONTE: O autor, 2018.

Ressalta-se que, devido a contração ocorrida nos sarrafos e a necessidade de uniformizar a espessura dos mesmos para confecção das juntas coladas alterou-se a dimensão da largura do corpo-de-prova prevista na norma CEN/TS 13354:2003E de 40 mm para 36 mm.

5.2.2.2 Avaliação da qualidade de colagem

As emendas *finger-joints* produzidas foram avaliadas através dos procedimentos descritos na norma ASTM D 5572 – 95 (2005) - *Standard Specification for Adhesives Used for Finger Joints in Nonstructural Lumber Products*. A Figura 19 ilustra o ensaio de corpo-de-prova para os ensaios de flexão estática e tração.

FIGURA 16. ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA (A ESQUERDA) E DE TRAÇÃO (A DIREITA) DAS EMENDAS *FINGER JOINTS* DAS ESPÉCIES *Brachystegia spiciformis* E *Julbernardia globiflora*



- Distância entre os apoios (Vão: 307,2 mm)
 - Largura do corpo de prova (19,05mm)
 - Espessura do corpo de prova (12,8mm)

- Comprimento do corpo de prova (254 mm)
 - Largura do corpo de prova (19,05mm)
 - Espessura do corpo de prova (6,35mm)

FONTE: O autor, 2018.

A norma ASTM D 5572 – 95 (2005) estabelece que os corpos-de-prova para ambos os testes devem ser submetidos a três tipos de pré-tratamentos: (i) *seco* - o conjunto de corpos-de-prova é submetido ao esforço de flexão estática na condição seca; (ii) *alta temperatura* - o conjunto de corpos-de-prova é ensaiado logo após permanecer em estufa à uma temperatura de $104 \pm 3^\circ\text{C}$ por um período de seis horas e (iii) *ciclo triplo* – os corpos-de-prova são imersos em água fria (20°C) por 4 horas com posterior secagem por 19 horas em estufa à $41 \pm 3^\circ\text{C}$, por três vezes. Finalizado os três ciclos, os corpos-de-prova são ensaiados na condição ambiente. Foram ensaiadas 12 repetições por tratamento. Após o ensaio de tração foi avaliada a falha na madeira.

A resistência da linha de cola (colagem lateral) foi avaliada com base na norma CEN/TS 13354:2003 “*Solid wood panel – Bonding quality – test method*”. A norma pressupõe que os corpos-de-prova sejam submetidos a um pré-tratamento (antes de realizar os ensaios) em função da condição de uso final. No presente experimento foram ensaiadas as seguintes condições de uso: (i) *uso interno* - imersão em água a uma temperatura de 20°C durante 24h; (ii) *uso externo* - fervura dos corpos-de-prova por 6h em banho-maria a 100°C, seguido pelo resfriamento durante 1 hora em água fria. Foram também ensaiados corpos-de-prova sem nenhum pré-tratamento (controle) para todos adesivos. Ressalta-se que os corpos-de-prova colados com adesivo PVA D3 foram submetidos apenas ao pré-tratamento para uso na condição seca por este não ser adesivo estrutural. O ensaio de cisalhamento foi realizado numa máquina universal de ensaios de marca EMIC (Figura 20) com capacidade para 20kN equipada com uma célula de carga com capacidade de 2000kgf.

FIGURA 170. ENSAIO DE CISALHAMENTO DA COLAGEM LATERAL



FONTE: O autor, 2018.

5.2.2.4 Análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A análise MEV foi realizada para melhor avaliar a penetração do adesivo nas juntas coladas após o ensaio sem o pré-tratamento para todos adesivos (PVA D3, D4 e EPI) em cada espécie. Também se analisou o estado de degradação da linha de cola após aplicação de todos os pré-tratamentos na fase anterior. Para tal, selecionou-se, aleatoriamente, alguns corpos-de-prova de onde foram retirados, com ajuda de um estilete, pequenas amostras retangulares da superfície colada a ser observada. Em seguida, as amostras foram fixadas sobre um porta amostra (*stubs*) com fita de carbono e mantidas a 70°C numa estufa por um período de 48h. Posteriormente, as amostras foram recobertas com ouro e acondicionadas em vácuo para evitar a sua contaminação. A Figura 21, ilustra as amostras antes e após metalização.

FIGURA 18. AMOSTRA SEM COBERTURA (A ESQUERDA) E AMOSTRA RECOBERTA COM OURO (A DIREITA) DA SUPERFÍCIE COLADA NA COLAGEM LATERAL DAS ESPÉCIES *Brachystegia spiciformis* E *Julbernardia globiflora*



FONTE: O autor, 2018.

Para a obtenção das imagens MEV utilizou-se o microscópio eletrônico de varredura de marca SHIMANDZU, modelo JEOL JSM 6360-LV disponível no Centro de Microscopia Eletrônica (CME/UFPR) com aproximação de 250x visando obter uma visão geral da estrutura superficial da área da linha de cola.

5.3 Análise de dados

Para análise estatística dos dados aplicou os pressupostos estatísticos como o teste de Bartlett para verificar a homogeneidade das variâncias e em seguida o teste F em análise de variância em ambos os tipos de colagem, no entanto, a colagem lateral foi em arranjo fatorial (3 x 2 x 2) considerando as variáveis: Adesivo, gramatura e espécie, respectivamente. Quando os resultados revelaram existir diferenças estatisticamente significativas entre médias dos pré-tratamentos, foram comparadas pelo teste “Tukey” a 95% de nível de probabilidade.

5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.4.1 Resistência das emendas *finger-joints*

Os resultados da avaliação da resistência das emendas *finger-joints* sob os esforços de tração e flexão estática (MOR) são apresentados na Tabela 13.

TABELA 13. RESULTADOS MÉDIOS DA RESISTÊNCIA DAS EMENDAS *FINGER - JOINTS* EM ENSAIOS DE TRAÇÃO E FLEXÃO.

Pré-tratamento	Espécie	Flexão (MPa)	Tração (MPa)	F _M (%)
Seco	<i>B.spiciformis</i>	39,1 ^a (19,9)	30,8 ^a (14,4)	19
	<i>J. globiflora</i>	36,4 ^a (15,8)	29,3 ^a (17,2)	20
Alta temperatura	<i>B.spiciformis</i>	22,9 ^a (14,1)	30,6 ^a (19,5)	17
	<i>J. globiflora</i>	24,1 ^a (16,9)	28,6 ^b (11,4)	22
Ciclo triplo	<i>B.spiciformis</i>	31,1 ^a (14,5)	21,2 ^a (19,6)	13
	<i>J. globiflora</i>	25,9 ^b (25,4)	21,3 ^a (22,7)	7

Médias seguidas pela mesma letra na coluna por pré-tratamento não diferem estatisticamente entre si pelo teste t-Student a 95% de nível de probabilidade. Os valores entre parênteses se referem ao coeficiente de variação das amostras em percentual; F_M. Falha na madeira após o ensaio de tração.

De acordo com a Tabela 13, observa-se que no ensaio de flexão as espécies tiveram seus valores médios de resistência estatisticamente iguais nos pré-tratamentos a seco e a alta temperatura, sendo que os menores valores nesse ensaio para ambas as espécies foram observados no ensaio à alta temperatura. A redução dos valores de MOR com aplicação do pré-tratamento a alta temperatura foi reportada nos estudos desenvolvidos por Clauß et al. (2011)

e Almeida et al. (2017) em emendas *finger-joints* usando o adesivo PVA. Os autores, afirmam que esta situação se deve à proeminente degradação térmica do adesivo PVA a partir de 50°C o que influencia negativamente as propriedades adesivas do mesmo. No entanto, sabe-se que para diferentes estudos de avaliação de resistência das emendas *finger-joints* há que se considerar a influência de parâmetros como densidade da madeira, formulação do adesivo (VICK,1999), bem como a geometria dos dentes das junções *finger-joints* (ALMEIDA et al. 2017) para que os resultados sejam comparáveis. Excepcionalmente, as espécies apresentaram no pré-tratamento a ciclo triplo valores de resistência a flexão intermediários e estatisticamente diferentes.

Ressalta-se que a norma ASTM 5572 (2005) estabelece valores normativos de resistência mínima para o ensaio de flexão estática de 13,0 e 6,9 MPa para o ensaio a seco e ciclo triplo, respectivamente. Já para o ensaio a alta temperatura ela não faz referência a nenhum requisito. Sendo assim, por as espécies terem atingido os requisitos mínimos da norma ASTM 5572 (2005) nesse ensaio, demonstra-se a aptidão para utilização das mesmas em emendas *finger-joints* para uso na condição seca.

Com relação ao ensaio de tração, os valores de resistência variaram de 21,2 a 30,8 MPa (Tabela 13). Houve igualdade estatística nos valores de resistência à tração das espécies *B. spiciformis* e *J. globiflora* nos pré-tratamentos a seco e de ciclo triplo. Em estudo similar, Molina et al. (2016), encontraram para resistência à tração da madeira amazônica *Manilkara huberi* (maçaranduba) um valor médio de 23,12 MPa usando adesivo estrutural monocomponente Purbond HB 712, à base de poliuretano. Por sua vez, Zangiácomo e Lahr (2007) avaliaram a tração de *finger-joints* na colagem de quatro espécies amazônicas e obtiveram valores médios situados entre 25,66 e 54,04 MPa em adesivos à base fenólica (Cascophen) e à base poliuretano (Mamona).

De acordo com a norma ASTM 5572 (2005), a resistência da emenda em madeira de folhosas no ensaio de tração deve ser superior a 13,8 MPa para o pré-tratamento seco e percentual de falha na madeira superior a 30%. Já para os pré-tratamentos em alta temperatura e de ciclo triplo, a resistência da emenda deve ser superior a 6,9 MPa. A norma também estabelece que a falha na

madeira deve ser superior a 15% para o pré-tratamento de ciclo triplo enquanto que para o pré-tratamento à alta temperatura não existe nenhum requisito.

As espécies atenderam aos requisitos mínimos estabelecidos pela norma ASTM 5572 (2005) para resistência à tração em todos os pré-tratamentos. Para falha na madeira os requisitos da norma não foram atendidos no ensaio com pré-tratamento a seco e ciclo triplo. Ressalta-se que quando os valores médios de resistência à tração atendem os requisitos da norma (independentemente da falha na madeira), demonstra-se uma boa qualidade de colagem da espécie em emendas *finger-joints*.

Na Tabela 14 é apresentada a significância do efeito das variáveis espécie e pré-tratamento para os ensaios de flexão e tração com relação à resistência das emendas *finger-joints*.

TABELA 14. SIGNIFICÂNCIA DAS VARIÁVEIS PARA O ENSAIO DE FLEXÃO E TRAÇÃO

Fator de variação	Flexão (P)	Tração (P)
Espécie	0,0649 ^{ns}	21,8283 ^{ns}
Pré-tratamento	16,8733 *	15,0104 *
Espécie x pré-tratamento	4,1597 *	33,5512 *

* Significativo ($p \geq 0.05$); ns – não significativo, P – Valor de probabilidade.

Com base na Tabela 14, verifica-se a não influência da variável espécie tanto nos valores de resistência à flexão como de resistência à tração das emendas *finger-joints*, no entanto, a aplicação dos pré-tratamentos de alta temperatura e de ciclo triplo comprometeu a colagem e por conseguinte, a redução da resistência das emendas *finger-joints* conforme discutido anteriormente. Salienda-se que os resultados do ensaio de tração foram comparados somente aos requisitos mínimos da norma ASTM 5572 (2005), pois a maioria dos estudos dessa natureza se refere a madeiras de *Eucalyptus* e *Pinus* e poucos sobre madeira tropical com diferentes tipos de adesivos, o que dificulta obter dados comparativos.

5.4.2 Resistência da colagem lateral ao ensaio de cisalhamento

Na Tabela 15 estão apresentados os resultados médios da tensão máxima de cisalhamento, percentual de falha na madeira e o quinto percentil

inferior dos corpos-de-prova de cada espécie após o pré-tratamento para uso interno (água fria) e uso externo (fervura) assim como dos corpos-de-prova sem pré-tratamento (seco). Ressalta-se que, segundo a norma EN 13354 (2003), quando o quinto percentil inferior da tensão de cisalhamento dos corpos-de-prova, for igual ou superior a 2,5 MPa, significa que a espécie em questão possui boa qualidade de colagem lateral e, por conseguinte, aptidão para produção do painel *EGP*. No entanto, caso essa condição não seja atendida, demanda-se uma falha na madeira (avaliada após o ensaio de cisalhamento) superior a 40%, exceto quando a densidade da madeira estudada estiver acima de 0,60 g.cm⁻³.

Sendo assim, verifica-se que, no ensaio sem pré-tratamento (seco), as duas espécies atenderam aos requisitos da norma em todos os adesivos com valores médios de tensão de cisalhamento situados entre 6,86 a 11,82 MPa. Por sua vez, no pré-tratamento para uso interno as espécies atenderam os requisitos da norma, apenas quando coladas com o adesivo EPI e em ambas gramaturas, com valores de tensão de cisalhamento entre 3,46 a 6,11 MPa. Nenhuma espécie e adesivo satisfizeram a condição da norma quando pré-tratados para uso externo.

Em relação ao percentual de falha na madeira, a espécie *B. spiciformis* apresentou falha na madeira (superior a 40%) no adesivo PVA D4 e EPI somente na gramatura 180 g.m⁻². Por outro lado, a espécie *J. globiflora* também apresentou falha na madeira nos adesivos PVA D4 e EPI, porém em ambas gramaturas. Excepcionalmente, as juntas coladas com o adesivo EPI apresentaram falha na madeira em percentual acima de 50%. Segundo Marra (1992), um percentual de falha na madeira igual ou superior a 50% evidencia uma condição ideal de colagem com boas propriedades do adesivo e adesão mais forte.

TABELA 15. RESISTÊNCIA DAS JUNTAS COLADAS AO CISALHAMENTO DAS ESPÉCIES EM ESTUDO

Espécies	Adesivo x (g.m ⁻²)	Seco			Água fria			Fervura		
		RC (MPa)	5° P. (MPa)	F _M (%)	RC (MPa)	5° P. (MPa)	F _M (%)	RC (MPa)	5° P. (MPa)	F _M (%)
<i>B. spiciformis</i>	PVA D3 x 120	6,86 ^d (22,1)	5,26	10	1,35 ^e (17,3)	1,02	3	-	-	-
	PVA D4 x 120	8,21 ^{cd} (19,9)	5,82	5	1,64 ^d (24,2)	0,98	2	0,70 ^d (29,1)	0,41	0
	EPI x 120	8,65 ^c (20,8)	6,03	20	3,46 ^b (12,0)	2,58	10	0,97 ^{bc} (21,3)	0,37	0
	PVA D3 x 180	9,86 ^{bc} (8,3)	8,89	11	1,42 ^{de} (15,9)	1,13	5	-	-	-
	PVA D4 x 180	9,18 ^{ab} (16,9)	6,89	43	1,94 ^c (21,3)	1,41	3	1,14 ^b (13,0)	0,58	5
	EPI x 180	11,45 ^a (25,3)	7,28	95	5,72 ^a (15,4)	4,45	20	1,66 ^a (15,8)	0,54	2
<i>J. globiflora</i>	PVA D3 x 120	7,57 ^d (13,1)	5,74	10	1,42 ^d (8,6)	0,98	4	-	-	-
	PVA D4 x 120	9,48 ^b (7,82)	8,54	49	1,68 ^d (16,8)	1,22	7	1,03 ^b (14,1)	0,50	12
	EPI x 120	11,51 ^a (21,4)	8,63	60	4,27 ^b (19,4)	3,20	4	1,18 ^{ab} (27,8)	0,73	0
	PVA D3 x 180	8,58 ^{bd} (13,9)	6,80	23	2,16 ^c (7,4)	1,18	2	-	-	-
	PVA D4 x 180	9,89 ^b (8,7)	8,70	85	2,02 ^c (15,8)	1,68	2	1,39 ^a (21,8)	0,66	6
	EPI x 180	11,82 ^a (14,4)	9,35	56	6,11 ^a (17,2)	2,83	15	1,52 ^a (22,7)	0,99	11

Valores entre parênteses se referem ao coeficiente de variação das amostras em percentual; RC-Resistência ao cisalhamento; Valores em negrito atenderam os requisitos da norma EN 13354:2003; 5° P – Quinto percentil inferior; F_M – Falha na madeira.

Na Tabela 16, estão apresentados os resultados da análise fatorial feita para avaliar a significância do efeito das variáveis: espécie, adesivo, gramatura e suas interações através do valor do F.

TABELA 16. ANÁLISE FATORIAL PARA COLAGEM LATERAL DAS ESPÉCIES *Brachystegia spiciformis* E *Julbernardia globiflora*

Fator de variação	Significância (F)
Espécie	5,45 ^{ns}
Adesivo	8,77 [*]
Gramatura	93,05 [*]
Espécie x adesivo	60,43 [*]
Espécie x gramatura	6,09 ^{ns}
Adesivo x gramatura	1,87 ^{ns}
Espécie x adesivo x gramatura	129,61 [*]

* Significativo ($p \geq 0.05$); ns – não significativo.

Com base na Tabela 16, verifica-se que somente as variáveis adesivo, gramatura, a interação dupla (espécies x adesivo) e a interação tripla entre as variáveis tiveram efeito significativo na resistência ao cisalhamento na colagem lateral. Desta forma, as análises subsequentes sobre a influência destas variáveis são apresentadas por espécie individualmente.

TABELA 17. EFEITO DO ADESIVO E DA GRAMATURA NAS JUNTAS COLADAS DA ESPÉCIE *Brachystegia spiciformis*

Variável	Seco		Água fria		Fervura	
	RC (MPa)	5° P. (MPa)	RC (MPa)	5° P. (MPa)	RC (MPa)	5° P. (MPa)
Adesivo						
PVA D3	8,36 ^b (23,6)	5,37	1,36 ^b (16,8)	1,08	-	-
PVA D4	8,69 ^b (19,3)	5,63	1,72 ^b (25,1)	1,10	0,92 ^b (38,2)	0,43
EPI	10,05 ^a (28,5)	6,31	4,59 ^a (30,7)	2,75	1,31 ^a (61,5)	0,35
Gramatura (g.m⁻²)						
120	7,91 ^b (23,3)	5,39	2,81 ^a (51,6)	1,06	0,83 ^a (41,2)	0,39
180	10,16 ^a (21,7)	7,53	3,00 ^a (67,8)	1,18	1,40 ^a (53,8)	0,58

Médias seguidas pela mesma letra em cada variável em cada pré-tratamento não diferem estatisticamente entre si a 95% de nível de probabilidade; Valores entre parentesis são o coeficiente de variação em percentual; RC – Resistência ao cisalhamento; 5° P – Quinto percentil inferior.

A análise da influência do tipo de adesivo (Tabela 17) demonstrou melhor desempenho do adesivo EPI em relação aos adesivos PVA D3 e D4, comprovado estatisticamente pelos maiores valores médios de resistência ao cisalhamento em

todos pré-tratamentos. Observa-se ainda que, não houve diferença estatisticamente significativa de resistência ao cisalhamento entre os adesivos PVA D3 e D4. O baixo desempenho do adesivo PVA principalmente nos pré-tratamentos em água fria e fervura, justifica-se pela sua baixa resistência quando entra em contato com água por ser termoplástico. Por sua vez, segundo Grøstad e Pedersen (2012), o adesivo EPI possui, como principais vantagens, a rápida velocidade de endurecimento, alta resistência à umidade e baixa fluência da linha de cola. No entanto, dado ao alto custo do adesivo EPI, faz-se necessário realizar mais estudos com diferentes formulações do adesivo PVA como forma de minimização de custos na colagem da espécie em questão.

A gramatura é uma variável que influencia diretamente na resistência mecânica de um painel, tanto no caso de se utilizar uma quantidade menor que o ideal, como também uma quantidade excedente ao recomendado, e deve ser determinada em função da espécie de madeira e do produto final desejado (MARRA, 1992; NASCIMENTO et al., 2002). No presente estudo, o efeito da gramatura para a espécie *B. spiciformis* foi notório apenas no ensaio sem pré-tratamento (seco) com valores de resistência ao cisalhamento estatisticamente diferentes (Tabela 17). Nos ensaios com pré-tratamentos em água fria e fervura o aumento da gramatura de 120 para 180 g.m⁻² não resultou em aumento estatisticamente significativo de resistência ao cisalhamento. Resultados similares ao efeito da gramatura observados para a espécie *B. spiciformis*, foram também reportados por Iwakiri et al. (2018) na colagem das espécies *Eucalyptus camaldulensis* (de densidade básica 0,82 g.cm⁻³) e *Eucalyptus urophylla* (densidade básica de 0,72 g.cm⁻³) em que o aumento da gramatura de 150 para 180 g.m⁻² resultou em maior resistência ao cisalhamento apenas no ensaio a seco.

Os requisitos da norma EN 13354:2003 foram atendidos nesta espécie somente quando coladas com adesivo EPI no ensaio com pré-tratamento em água fria, indicando, desta forma, a adequabilidade da mesma para produção de painéis *EGP* para uso interno.

Na tabela 18, apresenta-se o efeito do adesivo e da gramatura na colagem da espécie *Julbernardia globiflora*.

TABELA 188. EFEITO DO ADESIVO E GRAMATURA NAS JUNTAS COLADAS DA ESPÉCIE *Julbernardia globiflora*

Variável	Seco		Água fria		Fervura	
	RC (MPa)	5° P. (MPa)	RC (MPa)	5° P. (MPa)	RC (MPa)	5° P. (MPa)
Adesivo						
PVA D3	8,08 ^c (15,3)	5,91	2,46 ^b (37,6)	1,16	-	-
PVA D4	9,68 ^b (8,7)	8,57	1,96 ^b (16,3)	1,71	1,03 ^b (32,2)	0,65
EPI	11,66 ^a (18,6)	8,90	4,27 ^a (17,2)	3,20	1,52 ^a (22,7)	0,93
Gramatura (g.m ⁻²)						
120	8,15 ^b (15,4)	6,00	2,89 ^a (41,9)	1,11	1,27 ^a (38,8)	0,51
180	9,23 ^a (13,6)	7,25	3,13 ^a (58,8)	1,63	1,29 ^a (32,2)	0,63

Médias seguidas pela mesma letra em cada variável por pré-tratamento não diferem estatisticamente entre si a 95% de nível de probabilidade; Valores entre parentesis são o coeficiente de variação em percentual; RC – Resistência ao cisalhamento; 5° P – Quinto percentil inferior.

Com base na tabela 18, verifica-se que o efeito tanto do adesivo assim como da gramatura na espécie *J. globiflora*, tiveram a mesma tendência verificada na espécie *B. speciformis*, na qual o adesivo EPI teve melhor desempenho em todas condições de ensaio e caracterizado pelos maiores valores de resistência ao cisalhamento, o aumento da gramatura resultou no aumento da resistência ao cisalhamento estatisticamente significativo somente no ensaio sem pré-tratamento (seco) enquanto que nos demais (pré-tratamentos) foi estatisticamente igual.

Os requisitos mínimos da norma EN 13354:2003 também foram atendidos nesta espécie somente em colagem com adesivo EPI no ensaio com pré-tratamento em água fria, indicando, desta forma, a adequabilidade da mesma para produção de painéis *EGP* para uso interno. Este resultado pressupõe a influência negativa dos pré-tratamentos sobretudo no adesivo PVA aliado à característica intrínseca da espécie.

Vale destacar que, apesar da não influência da variável espécie na colagem lateral, foram reportados (Capítulo 1) altos teores de extrativos totais das espécies em estudo, característicos de madeira tropical. De acordo com Moslemi (1974), espécies com alto teor de extrativos tendem a apresentar uma redução considerável da resistência à adesão, originando uma linha de cola de baixo desempenho. Por sua vez, Frihart e Hunt (2010) corroboram sustentando que os extrativos contribuem para inativação da superfície da madeira e como a maioria dos adesivos para

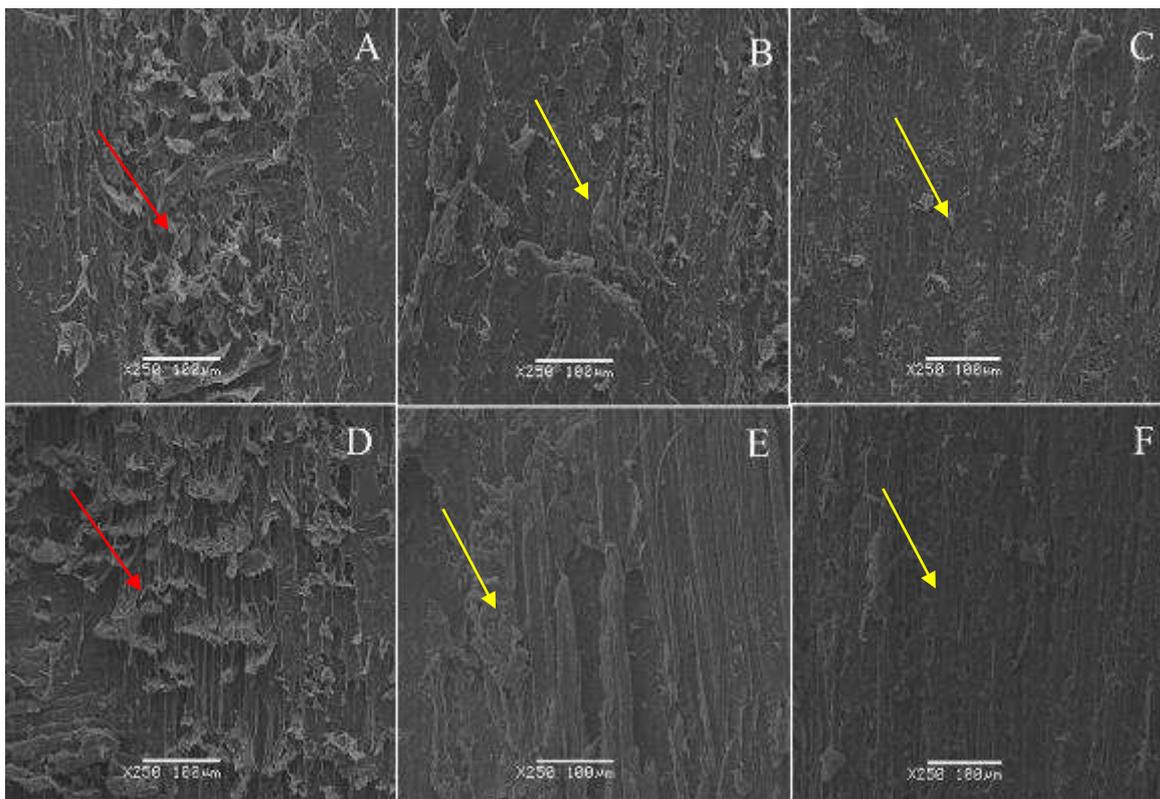
madeira são à base de água, ocorre dificuldade de molhabilidade e penetração do adesivo em superfícies cobertas com extrativos. Almeida (2013) e Bila et al. (2016) nos seus estudos de avaliação da qualidade de colagem de madeira de espécies amazônicas, também reportaram a influência significativa do teor de extrativos que as mesmas apresentavam e que se caracterizava pela migração e acúmulo dos mesmos na superfície da madeira inibindo a penetração do adesivo quando submetidos aos pré-tratamentos em água fria e fervura.

No entanto, Lima et al. (2007) ressalva que as reações entre adesivos e extrativos não dependem somente da quantidade, mas também do tipo de extrativo. Sendo assim, com base na teoria do Lima et al. (2007), pode-se inferir que as espécies em estudo podem possuir extrativos do mesmo tipo (carecendo de uma pesquisa mais aprofundada), visto que, apesar da diferença nos seus teores (19,63 % e 15,66% para as espécies *B. speciformis* e *J. globiflora*, respectivamente) apresentaram comportamento similar perante os adesivos utilizados.

5.4.3 Análise MEV da linha de cola

Na Figura 22, ilustra-se a estrutura geral da linha de cola para *B. spiciformis* e *J. globiflora* após o ensaio na condição seca em cada adesivo. Como se pode observar nas imagens, as amostras coladas com adesivo PVA D3 e D4 (fotos A, B e D, E) apresentam uma linha de cola pouco consolidada com salientes vestígios de adesivo na superfície, indicando baixa penetração na madeira em ambas as espécies. Por sua vez, as juntas coladas com adesivo EPI (fotos C e F) apresentam uma linha de cola uniforme com pouco vestígio de adesivo na superfície da madeira, o que denota uma melhor molhabilidade e penetração deste adesivo, quando comparado com o adesivo PVA. Este fato, pode também justificar os maiores valores de resistências ao cisalhamento verificados nas juntas coladas com o adesivo EPI em cada uma das espécies.

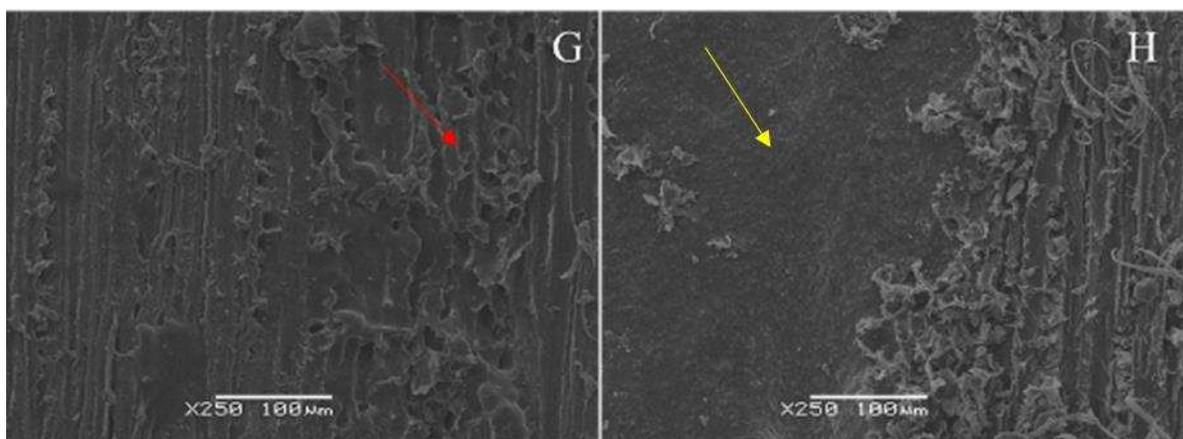
FIGURA 19. ESTRUTURA GERAL DA LINHA DE COLA NAS JUNTAS COLADAS E ENSAIADAS NA CONDIÇÃO SECA: A- PVA D3, B-PVA D4, C-EPI (*B. spiciformis*); D- PVA D3, E-PVA D4, F- PVA D4 (*J. globiflora*)



FONTE: O autor, 2018.

A linha de cola das juntas coladas ensaiadas após o pré-tratamento úmido para o adesivo PVA D3 e EPI é demonstrada na figura 23.

FIGURA 20. ESTRUTURA DA LINHA DE COLA NO ENSAIO NA CONDIÇÃO ÚMIDA: G - ADESIVO PVA D3; H - ADESIVO EPI.



FONTE: O autor, 2018.

Com base na Figura 23 verifica-se que o pré-tratamento causou uma degradação da linha de cola em ambos os adesivos. No entanto, no adesivo PVA (Figura 23-G) a degradação caracteriza-se pela hidrólise de adesivo na superfície da madeira reduzindo a adesão da linha de cola. Follich et al. (2010) também verificaram através de MEV um comportamento similar do adesivo PVA na condição úmida. Por sua vez, no adesivo EPI, a degradação foi menor quando comparado ao adesivo PVA. Na maioria das juntas coladas com adesivo EPI houve pouca penetração de adesivo em cerca de 50% na superfície da madeira e também ocorreu uma penetração (área plana e uniforme da figura 25-H) na mesma proporção. Este comportamento do adesivo é explicado pelas premissas de Grøstad e Pedersen (2012) que relatam, como principal característica deste adesivo, a sua resistência à umidade.

5.5 CONCLUSÕES

- Na colagem de topo os valores médios encontrados para resistência máxima nos ensaios de flexão estática e tração em ambas as espécies atendem aos requisitos de boa colagem. O percentual de falha na madeira não foi satisfatório;

- Na colagem lateral somente o adesivo EPI foi aprovado com melhor performance em comparação aos adesivos PVA D3 e D4;

- O aumento na gramatura de 120 para 180 g.m⁻² não contribuiu para o aumento significativo nos valores de tensão de cisalhamento exceto no pré-tratamento a seco;

- As espécies *B. spiciformis* e *J. globiflora* apresentaram comportamento similar perante a colagem e demonstram um potencial para sua utilização na produção de painéis *EGP* para uso interno.

CAPÍTULO 6

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ACABAMENTO SUPERFICIAL DA MADEIRA DE MESSASSAS PARA TRÊS TIPOS DE VERNIZES.

6.1 INTRODUÇÃO

A madeira é um material bastante utilizado nos mais variados tipos de produtos, nos quais o seu valor estético é de suma importância, principalmente na indústria moveleira. Com aplicação de acabamento melhora-se a estética de uma madeira usinada, proporcionando uma superfície limpa e proteção da mesma ao longo do tempo (WILLIAMS, 1999). Por outro lado, o acabamento pode agregar valor às madeiras pouco utilizadas ou conhecidas no mercado, conferindo-as uma aparência desejada. Segundo Whaler (1972) e Cox (2003) o acabamento da madeira refere-se ao processo de refinação ou proteção de uma superfície, especialmente na produção de móveis, e representa entre 5 e 30% dos custos de fabricação. Ozdemir e Hiziroglu (2007) afirmam que a qualidade final do acabamento depende de vários elementos, incluindo o método de aplicação do revestimento, características de substrato como porosidade, estrutura química e da interação entre o revestimento e o substrato.

Os produtos normalmente utilizados em acabamentos de madeiras são bases seladoras, tintas e vernizes. No entanto, ressalta-se que dentre as várias possibilidades, o tipo de acabamento mais adequado para a madeira depende da finalidade de uso da peça e/ou da preferência do consumidor (WATAI, 1995). A avaliação da qualidade de acabamento aplicado na superfície da madeira é feita por meio de ensaios de resistência à aderência, resistência química, impacto, abrasividade, brilho, entre outros (GUEDES, 2011; SILVA et al., 2010; DÉSOR et al., 1999).

A cor da madeira é também um componente importante de sua aparência e crucial na decisão final do consumidor assim como constitui um dos parâmetros físicos de avaliação da qualidade (JANKOWSKYA; OZAKIEWICZ, 2014; BARCIK et al., 2015; DZURENDA, 2018), portanto, esta propriedade deve ser incorporada ao planejamento, visando à caracterização tecnológica da madeira (MORI et al., 2005).

Dentre as propriedades organolépticas, a cor é a característica que apresenta maior subjetividade, por estar relacionada diretamente com a sensibilidade psicofísica do observador (ZENID; CECCANTINI, 2007). Sendo assim, a coloração natural da madeira pode ser uma característica que interessa manter ou, por outro lado, pode ser desejável modificar, interferindo na escolha do produto a aplicar.

A indústria madeireira moçambicana além de utilizar espécies tradicionais, vem, há alguns anos, explorando possibilidades de uso de espécies sob utilizadas e/ou conhecidas no mercado, bem como, melhoria da qualidade dos produtos comercializados, de forma a melhor se enquadrar num mercado cada vez mais competitivo. Neste contexto, considerando que não foram encontrados estudos de acabamento superficial em madeiras das messassas, esta pesquisa tem como objetivo gerar informações em relação ao comportamento dessas espécies à aplicação de vernizes, buscando promovê-las ao nível da indústria moveleira e de molduras.

6.2 MATERIAIS E MÉTODOS

6.2.1 Material

A partir de reaproveitamento de peças de madeira (aleatoriamente selecionadas) utilizadas em ensaios de usinagem e com teor de umidade em torno de $12 \pm 2\%$, foram produzidas 18 amostras para cada espécie as quais apresentavam-se isentas de defeitos, tais como nós, podridões e rachaduras. As amostras tinham dimensões de 230 mm de comprimento, 10 mm de espessura e largura que variava de 100 a 120 mm. Para o acabamento foram utilizados três tipos de vernizes adquiridos no comércio local (Tabela 19). A seladora serviu de fundo para o verniz poliuretano.

TABELA 19. ESPECIFICAÇÕES DOS VERNIZES UTILIZADOS

Propriedade	Base de água	Copal	Poliuretano	Seladora
Fabricante	Sayerlack	BASF/Suvinil	Sayerlack	Sayerlack
Densidade g.cm ⁻³	$1,03 \pm 0,02$	0,86 – 0,90	$1,00 \pm 0,02$	$1,02 \pm 0,02$
Sólidos (%)	$32,0 \pm 2$	33 - 37	$43,86 \pm 2$	$60,8 \pm 2$
Viscosidade (Cp.s)	20 ± 2 s CF4	-	$28,2$ s CF4	60 ± 5 s CF6

CF – copo Ford

6.2.2 Método

6.2.2.1 Aplicação do acabamento superficial

A preparação e aplicação do acabamento obedeceu às prescrições do fabricante. Ressalta-se que, antes da aplicação do produto de acabamento, as peças para produção de amostras foram submetidas ao lixamento sequenciado (no sentido das fibras) com lixas de grã 100, 150 e 180, em linha de produção industrial. Para tal foi utilizada uma lixadeira de banda com velocidade de alimentação de 8 m.min⁻¹ e pressão na superfície de 0,03 MPa. Foram executadas três passadas a uma espessura de desbaste de 0,5 mm cada.

A gramatura utilizada em todos os vernizes foi de 180 g.m⁻² estimada com auxílio de uma balança analítica. Foram aplicadas duas demãos de cada verniz através de um rolo de espuma, sem lixamento entre as demãos. Excepcionalmente, para o verniz PU, o fabricante recomenda a aplicação do fundo (seladora) antes do verniz e, as demãos, foram aplicadas no sentido cruzado entre si. O verniz à base de água já continha o selador na sua constituição. Após aplicação do verniz, as amostras permaneceram a temperatura ambiente $20 \pm 2^\circ\text{C}$, por um período de sete dias, para cura total do verniz. Foram utilizadas seis amostras por verniz para cada espécie.

6.2.2.2 Realização dos ensaios

Após a cura da película de acabamento, foram realizados os ensaios de resistência à aderência, impacto, abrasividade, brilho e determinação da variação de cor sobre a superfície de madeira acabada.

O ensaio de aderência (*pull-off*) foi realizado segundo a norma ASTM D 4541 – 17 (2017) método E (Figura 24). Pinos metálicos de 20 mm de diâmetro foram colados em cada amostra (acabada) através de adesivo epóxi bicomponente transparente com tempo de cura de 48 horas. Após a cura, foi feito um sulco circular em torno dos pinos para evitar a propagação de falhas para fora da área ensaiada. Em seguida, aplicou-se força de tração à camada superficial, puxando os pinos do revestimento da superfície a uma taxa de 0,20 MPa.s⁻¹. A força de resistência à

tração de cada amostra atingida na ruptura foi registrada no visor do equipamento em MPa. Foram realizadas três medições por amostra para cada verniz.

FIGURA 214. EQUIPAMENTO UTILIZADO PARA O ENSAIO *PULL-OFF* EM MADEIRA DE *Brachystegia spiciformis* E *Julbernardia globiflora*



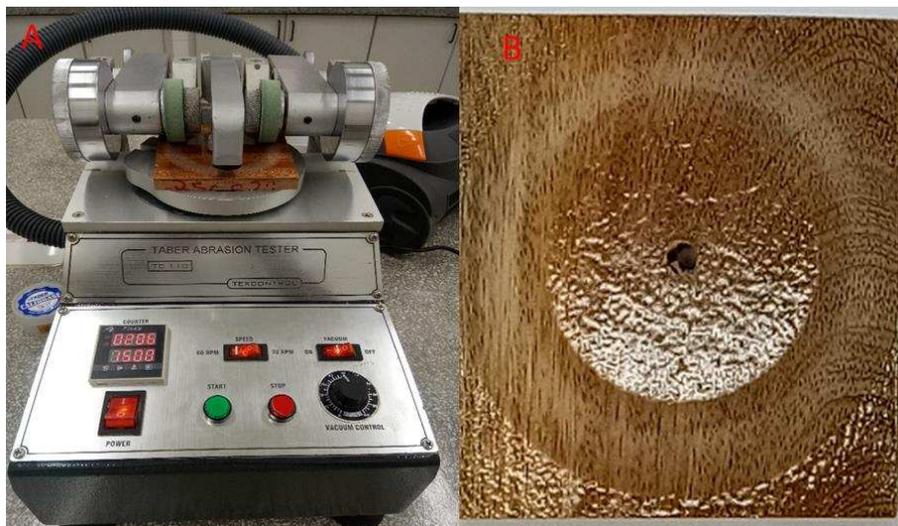
FONTE: o Autor, (2019).

O ensaio de resistência do filme ao impacto, foi realizado deixando-se cair uma esfera de aço de 19 mm de diâmetro a uma altura de dois metros sobre o corpo de prova. Em seguida avaliou-se com auxílio de uma lupa com aumento de 10x, o dano causado ao filme do acabamento com base na escala de graduação constante na norma NBR 14535 (2008) que varia de 5 a 1. O grau de impacto com valor 5 corresponde à ausência de impacto, isto é, nenhuma fissura ou trinca na superfície de madeira acabada. Por sua vez, o grau de impacto com valor 1 é atribuído quando mais do que 25% do filme de acabamento estiver removido da área de impacto. Foram usadas seis amostras por verniz e espécie com três repetições cada. Este ensaio simula o impacto durante a queda de pequenos objetos sobre a película de acabamento.

O ensaio de resistência à abrasão foi realizado através de um abrasímetro *Texcontrol* modelo TC 110 (Figura 25), também com base na norma NBR 14535 (2008). O equipamento foi composto por rebolos CS-17, carga de ajuste de 1000 g e revoluções de 60 rpm (rotações por minuto). Determinou-se a taxa de desgaste pelo quociente da diferença de perda em massa (miligramas) antes e após a abrasão da superfície acabada com o número de ciclos de abrasão realizados até que fosse atingido o substrato madeira, isto é, até que visualmente fosse verificado em toda extensão do círculo desgastado pelos rebolos a remoção total do revestimento. As

amostras foram pesadas em uma balança analítica de 0,0001g de precisão. Foram usadas três amostras para cada verniz e espécie, dimensionadas em 100 x 100 mm².

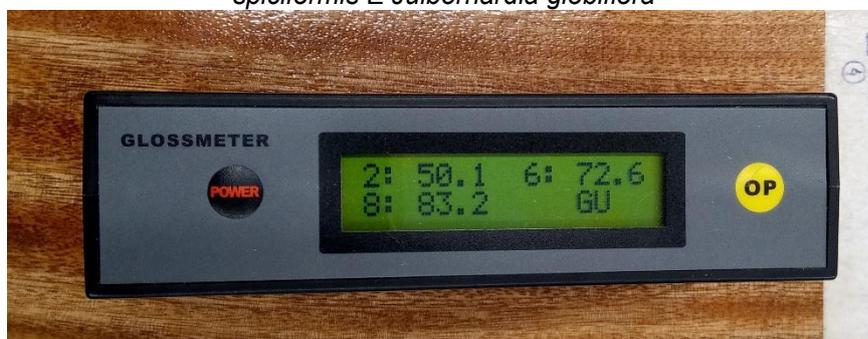
FIGURA 22. ABRASÍMETRO (A) E CORPO DE PROVA UTILIZADO (B) EM MADEIRA DE *Brachystegia spiciformis* E *Julbernardia globiflora*



FONTE: o Autor, (2019).

O ensaio de brilho consistiu na leitura dos valores de faixa de intensidade de luz fornecidos pelo aparelho Glossmeter (Figura 26) em ângulo de 60°. Com as leituras da faixa de luz foi possível inferir sobre a classe do brilho do verniz em contato com a madeira estabelecido pela norma NBR 14535 (2008). Foram realizadas dez leituras por amostra para cada verniz e espécie no sentido paralelo à grã.

FIGURA 26. MEDIÇÃO DO BRILHO DA SUPERFÍCIE ACABADA EM MADEIRA DE *Brachystegia spiciformis* E *Julbernardia globiflora*



FONTE: o Autor, (2019).

As análises colorimétricas foram realizadas com base no método CIE L^* , a^* e b^* de 1976 (Comissão Internacional de L'Eclairage) antes e depois da aplicação do

produto de acabamento, com o auxílio do espectrofotômetro de cor com ângulo de observação 10° e iluminante-padrão D₆₅. A medição da cor foi feita em três pontos da superfície acabada e não acabada de cada corpo de prova. No total, foram realizadas 18 medições por verniz dentro de cada espécie. Os parâmetros colorimétricos obtidos foram: L^* (luminosidade), a^* (coordenada no eixo vermelho-verde) e b^* (coordenada do eixo azul-amarelo). Para mensurar as alterações na cor (ΔE) causadas pela aplicação do acabamento, foi utilizada a equação a seguir:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Em que ΔE – é a mudança total de cor na superfície da amostra; ΔL^* , Δa^* e Δb^* - variação média das coordenadas L^* , a^* e b^* na superfície da amostra antes e depois da aplicação do acabamento (exemplo: $\Delta L^* = L^*_{\text{sem acabamento}} - L^*_{\text{com acabamento}}$)

A classificação da mudança total de cor (ΔE) na superfície da madeira foi realizada com base nos critérios de avaliação adotados por Cividini et al. (2007) (Tabela 20).

TABELA 19. CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DA VARIAÇÃO DE COR (ΔE) EM MADEIRA DE *Brachystegia spiciformis* E *Julbernardia globiflora*

$0.2 < \Delta E$	Diferença invisível
$0.2 < \Delta E < 2$	Pequena variação de cor
$2 < \Delta E < 3$	Variação de cor visível com filtro de alta qualidade
$3 < \Delta E < 6$	Variação de cor visível com filtro de média qualidade
$6 < \Delta E < 12$	Alta variação de cor
$\Delta E > 12$	Cor diferente

6.3 Análise de dados

Os dados obtidos nos ensaios foram submetidos ao teste de Bartlett para verificar a homogeneidade das variâncias. Em seguida, fez-se a análise de variância (ANOVA) em arranjo fatorial 3 x 2 (vernizes x espécies). A comparação de médias entre os produtos de acabamento foi realizado pelo teste *Tukey*, enquanto que, a comparação das médias das espécies foi feito pelo teste t-student ambos ao nível de 95% de probabilidade, de modo a verificar a melhor performance, tanto do produto de acabamento aplicado assim como da espécie.

6.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.4.1 Aderência (*pull-off*)

Os resultados do ensaio de aderência do acabamento demonstraram uma amplitude de variação de 2,60 a 5,97 MPa entre os vernizes assim como entre as espécies (Tabela 21).

TABELA 201. VALORES MÉDIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO EM ENSAIOS DE ADERÊNCIA DO ACABAMENTO SUPERFICIAL EM MADEIRA DE *Brachystegia spiciformis* E *Julbernardia globiflora*, SUBMETIDAS À APLICAÇÃO DE TRÊS TIPOS DE VERNIZES

Verniz	Resistência à tração (MPa)			CV (%)
	Mínimo	Média	Máximo	
<i>Brachystegia spiciformis</i>				
Base de água	2,60	2,83 b	3,47	13,10
Copal	3,68	4,16 a	4,58	7,32
Poliuretano	3,46	3,86 a	4,33	9,80
<i>Julbernardia globiflora</i>				
Base de água	3,90	3,41 b	4,50	4,63
Copal	3,47	4,17 a	5,72	19,61
Poliuretano	3,11	4,16 a	5,97	9,17

Média seguidas pela mesma letra dentro da espécie não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 95% de nível de probabilidade; CV - coeficiente de variação.

Ainda com base na tabela 21, observa-se que tanto na espécie *B. spiciformis* assim como na espécie *J. globiflora*, os vernizes copal e poliuretano tiveram valores médios estatisticamente iguais e superiores ao verniz à base de água. Este resultado está associada às especificações de cada produto de acabamento utilizado e, provavelmente, ao menor teor de sólidos e viscosidade do verniz à base água quando comparado aos demais (Tabela 19). Souza et al. (2011) reportaram em madeira maciça uma aderência de melhor desempenho de verniz à base de solvente em relação ao verniz à base de água, tendo também constatado que, essa situação, foi decorrente do tipo de verniz e da especificidade de formulações do mesmo.

Em contrapartida, Hazir e Koc (2019) reportaram para painéis MDF melhor desempenho do verniz à base de água em relação à base de solvente com valores de resistência à tração que variaram de 2,98 a 3,47 MPa e 2,06 a 2,31 MPa, respectivamente. Importa ressaltar que a diferença dos resultados entre diferentes estudos deve-se às características intrínsecas da madeira e/ou produtos derivados

de madeira avaliados, à incompatibilidade da madeira com o produto ou com a metodologia de aplicação ou de avaliação final, entre outros.

A comparação do desempenho das espécies, perante os três vernizes, demonstrou resistência à tração do filme estatisticamente igual, excepcionalmente quando acabadas com o verniz copal. A espécie *J. globiflora* teve maiores valores de resistência à aderência em comparação com a espécie *B. spiciformis* quando acabadas com os vernizes à base de água e poliuretano (Gráfico 1). Vale ressaltar que esse resultado pode ser decorrente da anatomia das espécies como um todo mas, também, do elevado teor de extrativos (em particular) da espécie *B. spiciformis* em relação à *J. globiflora* conforme reportado anteriormente. Este resultado é também suportado pela premissa de Ghofrani et al. (2016) de que os extrativos na madeira provocam uma redução da compatibilidade e da resistência à adesão dos vernizes.

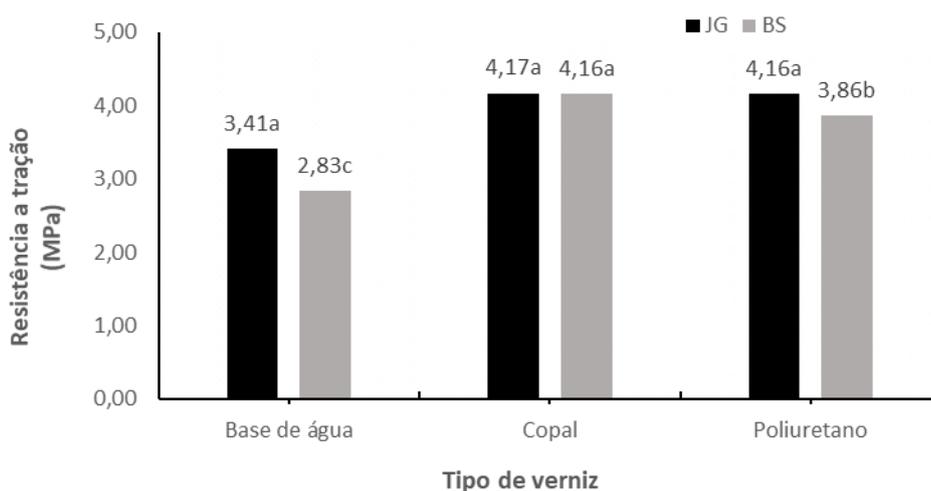


GRÁFICO 1. VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PARA CADA VERNIZ EM MADEIRA DA *Brachystegia spiciformis* (BS) e *Julbernardia globiflora* (JG); Média seguidas pela mesma letra dentro da espécie e tipo de verniz não diferem estatisticamente entre si a 95% de nível de probabilidade.

6.4.2 Brilho

Os valores médios de brilho obtidos nas amostras acabadas de *B. spiciformis* e *J. globiflora* foram classificados, na sua maioria, como semi-brilho. Excepcionalmente, para as amostras acabadas com o verniz copal na espécie *B. spiciformis*, esta propriedade foi classificada como brilhante, comprovado pelo maior valor médio encontrado (Tabela 22). Esta exceção foi ocasionada pela característica

intrínseca da madeira em apresentar cor clara associada a características do brilho inerentes ao verniz copal, quando comparado com os vernizes à base de água e poliuretano utilizados. Ademais, de acordo com o fabricante, os vernizes à base de água e poliuretano são acetinados com característica semi-brilhante, enquanto que o copal é brilhante, o que justifica a diferença (estatisticamente significativa) de brilho entre os produtos de acabamento e entre as espécies.

TABELA 212. RESULTADOS MÉDIOS DE BRILHO DOS PRODUTOS DE ACABAMENTOS APLICADOS EM PEÇAS DE MADEIRAS DE *Brachystegia spiciformis* E *Julbernardia globiflora*

Espécie	Brilho de Verniz (GU)		
	Base de água	Copal	Poliuretano
<i>B. spiciformis</i>	34,9 Ca (4,5)	73,8 Aa (2,7)	45,2 Bb (6,7)
<i>J. globiflora</i>	32,3 Cb (4,3)	66,7 Ab (5,0)	52,9 Ba (4,8)

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, dentro de cada verniz (teste t-student) e maiúscula na linha entre os vernizes (teste de Tukey) não diferem estatisticamente entre si ao nível de 95% de nível de probabilidade; valor entre parêntese é o coeficiente de variação em percentual, GU – *Gloss unit* (Unidades de brilho).

O valor médio de brilho, para ambas as espécies, teve uma tendência decrescente na ordem verniz copal, seguido do verniz poliuretano e, por último, verniz à base de água (Tabela 21). Resultados similares aos verificados no presente estudo foram também reportados por Namikata (2016) na avaliação do brilho na madeira *Cryptomeria japônica*. Por outro lado, estudos que compararam o brilho do verniz a base de água com verniz sintético e nitrocelulósico (ÇAKICIER et al., 2011) e verniz poliuretano (BUDAKÇI; SONMEZ, 2010) encontraram valor médio de brilho maior que a do verniz à base de água, ocasionado pela formulação dos vernizes utilizados. Ressalva-se que os vernizes são formulados de modo a obter-se o brilho desejado para a preferência do consumidor, sendo que, para cada tipo de verniz (seja à base de água, poliuretano ou copal) pode se encontrar variante de brilho fosco, acetinado, semi-brilho ou até brilhante.

A comparação da performance de cada espécie perante os vernizes, demonstrou que a espécie *B. spiciformis* teve maior brilho na madeira na aplicação de verniz à base de água e copal, enquanto que a aplicação do verniz poliuretano foi a que proporcionou maior brilho em relação à espécie *J. globiflora*.

6.4.3 Resistência ao Impacto

Nos resultados do ensaio de impacto não houve diferença estatisticamente significativa entre os vernizes à base de água e copal assim como entre as espécies em todos os vernizes. Por sua vez, o verniz poliuretano teve valores médios de resistência ao impacto menores em relação aos demais vernizes em ambas as espécies (Tabela 23).

TABELA 223. RESISTÊNCIA AO IMPACTO DOS TRÊS VERNIZES SOBRE A MADEIRA DE *Brachystegia spiciformis* E *Julbernardia globiflora*

Espécie	Tipo de Verniz		
	Base de água	Copal	Poliuretano
<i>B. spiciformis</i>	5,0 Aa (0,0)	5,0 Aa (0,0)	4,1 Ba (8,4)
<i>J. globiflora</i>	4,9 Aa (2,3)	5,0 Aa (0,0)	3,8 Ba (4,6)

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna dentro de cada verniz (teste t-student) e maiúscula na linha entre os vernizes (teste Tukey) não diferem estatisticamente entre si a 95%; valor entre parêntese ó coeficiente de variação.

Ressalta-se que o valor de grau de impacto é inversamente proporcional à presença de trincas ou fissuras na área impactada pela esfera, o que significa que o verniz poliuretano apresentou trincas ou fissuras em torno da área de impacto, tendo sido atribuída à graduação média de 4 contra a graduação 5 (ausência de fissuras e trincas) dos demais produtos de acabamento. Este resultado é decorrente da espessa camada do filme que o verniz poliuretano apresenta em função do seu maior teor de sólidos, associado à aplicação do fundo selador, como ilustrado na Tabela 19. Namikata (2016), também reportou menor resistência ao impacto no verniz poliuretano em relação aos vernizes nitrocelulósico, à base de água e copal sobre a madeira de *Cryptomeria japonica*. Por sua vez, Erdinler (2019) analisando a performance de dois produtos de acabamento em painéis MDF obteve maior resistência ao impacto no verniz poliuretano (4 e 5) quando comparado com o verniz celulósico (graus 2 e 3). Vale frisar que a variação nos resultados entre diferentes estudos pode ocorrer em função da composição do produto de acabamento, substrato e até o método de aplicação.

6.4.4 Resistência à abrasão

Os resultados do ensaio de resistência à abrasão são apresentados na tabela 24. Pode se observar que a taxa de desgaste variou de 0,1432 a 0,3635 mg/1000 ciclos. Comparando os produtos de acabamento em cada espécie, verifica-se uma tendência de maior taxa de desgaste no verniz à base de água, seguido do verniz poliuretano e por último o verniz copal. Todavia, observa-se que a resistência à abrasão ocorreu no sentido inverso, sendo maior no verniz poliuretano, seguido do verniz copal e a base de água, o que pode ser comprovado pelo maior número de ciclos de abrasão requeridos para a remoção da película do acabamento.

A maior resistência verificada no verniz poliuretano foi ocasionada pela sua espessa e dura camada de filme de acabamento que origina. Ademais Bulian e Graystone (2009), ressaltam que o verniz poliuretano possui algumas vantagens como flexibilidade, resistência à abrasão, resistência a químicos, boa adesão e cura rápida, quando comparado com os vernizes à base de água, nitrocelulósico e copal, e por este motivo são mais utilizados na indústria moveleira.

TABELA 234. RESISTÊNCIA À ABRASÃO DOS DIFERENTES ACABAMENTOS APLICADOS EM MADEIRA DAS ESPECIES *Brachystegia spiciformis* E *Julbernadia globiflora*

Verniz	<i>B. spiciformis</i>		<i>J. globiflora</i>	
	Nº de Ciclos	TD (mg/1000 ciclos)	Nº de Ciclos	TD (mg/1000 ciclos)
Base de água	169,6 c (3,3)	0,3635 Aa (40,9)	266 c (17,2)	0,3535 Aa (19,3)
Copal	195,3 b (5,6)	0,2159 Ab (45,2)	435 b (9,6)	0,1432 Ab (8,2)
Poliuretano	221,6 a (14,7)	0,3538 Aa (7,4)	443 a (8,0)	0,2733 Aa (24,9)

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si a 95% de nível de probabilidade; TD – taxa de desgaste; valor entre parêntese é o coeficiente de variação em percentual.

Ainda com base na Tabela 24, verifica-se que não houve diferença estatisticamente significativa na taxa de desgaste entre o verniz a base de água e poliuretano em ambas as espécies. Enfatiza-se o teste de resistência à abrasão por este avaliar o desgaste gradual da superfície do acabamento por ação abrasiva que pode ser causado pelos sapatos, transporte e movimentação de materiais sobre um piso, areia, sujeira entre outros (FAZANO, 1989; MORESCHI, 2005; SILVA et al. 2010).

6.4.5 Análise colorimétrica

Os valores médios dos parâmetros colorimétricos da superfície acabada de madeira de *B. spiciformis* e *J. globiflora* estão apresentados na Tabela 25. Em geral, houve um amplo espectro de variação dos parâmetros básicos L^* , a^* , b^* e ΔE utilizados para inferir sobre a variação de cor. Observa-se que com a aplicação do acabamento na madeira da *B. spiciformis* o valor da luminosidade (L^*) foi significativamente decrescente em comparação com a madeira sem acabamento (controle), isto é, a aplicação do acabamento ocasionou um escurecimento na cor natural da madeira cuja amplitude foi de 39,64 a 46,14. Ressalta-se que o valor do parâmetro L^* apresenta uma proporcionalidade direta com a claridade de um determinado material e/ou substrato a ser avaliado. Assim, o verniz copal ocupou o menor extremo entre os valores de L^* significando maior escurecimento da madeira. Não houve diferença estatisticamente significativa (Tabela 25) entre os valores de L^* dos verniz à base de água e poliuretano. Segundo Camargos e Gonzalez (2001), a madeira é considerada escura se o valor de L^* for menor ou igual a 56.

O valor de luminosidade L^* (53,92) da madeira não acabada da espécie *B. spiciformis* encontra-se dentro da faixa de claridade de trinta espécies tropicais reportada por Silva et al. (2017). Os parâmetros a^* e b^* aumentaram com a aplicação dos acabamentos significando, desta forma, o aumento da influência do eixo de cor vermelho-verde e azul-amarela, respectivamente. O aumento destes parâmetros, também pode explicar o escurecimento da madeira após a aplicação dos vernizes.

TABELA 245. PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS DA SUPERFÍCIE ACABADA DA MADEIRA DAS ESPECIES *Brachystegia spiciformis* E *Julbernardia globiflora*

Espécie	Verniz	Coordenadas colorimétricos			Variação total da cor	
		L^*	a^*	b^*	ΔE	Avaliação
<i>B. spiciformis</i>	Controle	53,92 a	12,01 bc	20,46 c	-	-
	B. de água	43,28 ab	17,16 a	25,89ab	13,0	Cor diferente
	Copal	39,64 c	17,91 a	27,81 a	17,1	Cor diferente
	Poliuretano	46,14 ab	15,29ab	27,57 a	11,0	Alta variação de cor
<i>J. globiflora</i>	Controle	38,38 c	10,06 d	19,01 d	-	-
	B. de água	44,61 ab	11,37 c	20,47 c	5,7	Variação de cor
	Copal	40,92 ab	11,49 c	21,90 bc	3,8	visível com filtro de
	Poliuretano	37,45 c	11,66 c	22,01 bc	3,1	média qualidade

Médias seguidas pela mesma letra dentro da mesma coluna, não se diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 95% de nível de de probabilidade.

Para a espécie *J. globiflora*, o valor de luminosidade L^* teve um aumento significativo somente nos vernizes à base de água (44,61) e copal (40,92), clareando até certo ponto a madeira em relação a amostra sem acabamento (controle). A aplicação do verniz poliuretano causou alteração estatisticamente não significativa (com a amostra de controle) na luminosidade da superfície (Tabela 25). Os parâmetros a^* e b^* apresentam comportamento similar, sendo crescentes com a aplicação do acabamento, tal como observado na espécie *B. spiciformis*.

A variação de cor inferida pelo parâmetro ΔE demonstrou que a madeira de *B. spiciformis* teve alteração considerável de cor com aplicação dos acabamentos. Por sua vez, para madeira da *J. globiflora* a variação de cor é visível com o filtro de média qualidade (Tabela 25), o que pressupõe que a cor natural desta madeira sofreu pouca alteração com a aplicação dos acabamentos. Ainda com base na Tabela 25, nota-se que a espécie *J. globiflora* apresenta uma cor natural escura ($L^* = 38,38$) em relação a *B. spiciformis* ($L^* = 53,92$).

O Gráfico 3 apresenta os valores de variação total de cor (ΔE) em relação aos três tipos de produtos de acabamento utilizados. Nele, observa-se que a variação total de cor, após a aplicação do acabamento, é caracterizada pelo escurecimento da madeira para a espécie *B. spiciformis* e um ligeiro clareamento para a espécie *J. globiflora*, comprovada pelos maiores valores de ΔE . Esta diferença de tonalidade de cor resultou da anatomia intrínseca das espécies, assim como das especificações dos produtos de acabamento em interação com componentes químicos da madeira (YAMAMOTO et al. 2007).

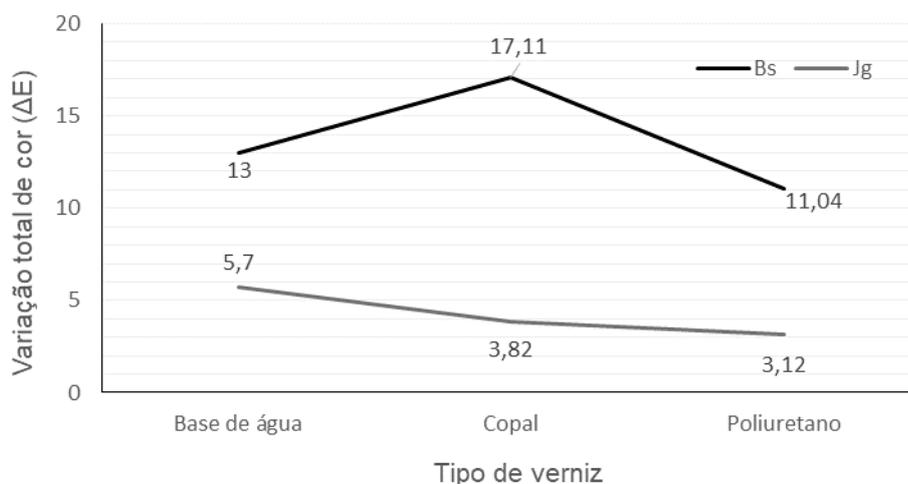


GRÁFICO 3. VARIAÇÃO TOTAL DA COR DA MADEIRA (ΔE) DAS ESPÉCIES *Brachystegia spiciformis* (BS) E *Julbernardia globiflora* (JG) EM RELAÇÃO AOS VERNIZES UTILIZADOS

Com base ainda no Gráfico 3 observa-se que para ambas as espécies o verniz poliuretano causou pouca variação de cor natural da madeira, justificado pelos menores valores de ΔE . O verniz à base de água teve valor de variação de cor intermediária na espécie *B. spiciformis*. Para espécie a *J. globiflora*, a variação de cor intermediária foi verificada no verniz copal. No entanto, ressalta-se que os efeitos destes produtos de acabamento utilizados sobre a qualidade da madeira das messassas será inferida no final pelo consumidor, uma vez que é, também, com base na cor que ela é classificada esteticamente como aceitável ou não.

6.5 CONCLUSÕES

- O brilho da superfície acabada com o verniz à base de água e poliuretano na madeira de *B. spiciformis* e *J. globiflora* se enquadram na classe de semi-brilho. O verniz copal originou brilho classificado como brilhante;
- A resistência ao impacto entre o verniz à base de água e copal assim como entre as espécies não teve diferença estatisticamente significativa. O verniz poliuretano foi menos resistente ao impacto;
- A aderência dos vernizes copal e poliuretano na madeira de ambas as espécies foi estatisticamente igual. O verniz à base de água teve a menor aderência em todas as espécies;

- O verniz poliuretano apresentou a maior resistência ao desgaste;
- Os vernizes utilizados originaram uma considerável variação de cor principalmente na espécie *B. spiciformis*, em relação à espécie *J. globiflora*.
- O desempenho dos três vernizes foi satisfatório e podem ser utilizados nas espécies estudadas para agregar valor à madeira, como acabamento em móveis e molduras de madeira sólida ou reconstituída (EGP).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados obtidos na presente pesquisa, conclui-se que, o estudo tecnológico de espécies nativas *B. spiciformis* e *J. globiflora* demonstrou seu potencial alternativo (às utilizadas comercialmente) para fins de utilização como madeira beneficiada e painéis de madeira sólida (*EGP*) nas indústrias de móveis e molduras em Moçambique.

Recomenda-se para a indústria a usinagem das messassas com altas velocidades de corte, baixa velocidade de alimentação, colagem com o desivo EPI a uma gramatura de 120 g.m⁻² e aplicação de produtos de acabamento como base de água, copal ou poliuretano.

Para futuras pesquisas, que sejam realizados outros estudos de otimização do ângulo de corte no aplainamento de madeira das messassas, assim como, avaliar amostras de madeira das espécies *B. spiciformis* e *J. globiflora* revestidas com os três tipos de vernizes e expostas à intempéries de modo a fornecer informações mais abrangentes sobre suas forças de adesão.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 1995.

ALI, A., UETIMANE JR, E., LHATE, I., TERZIEV, N. Anatomical characteristics, properties and use of traditionally used and lesser-known wood species from Mozambique: a literature review. **Wood Science and Technology**, v.42, nº 6, p. 453 - 472, 2008.

AGUILERA, A.; MUÑOZ, H. Rugosidad superficial y potencia de corte en el cepillado de *Acacia melanoxylon* y *Sequoia sempervirens*. **Maderas.Ciencia y Tecnología**, v. 13, nº 1, p.19 – 28, 2011.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **ASTM D 2394**. Simulated service testing of wood and wood-base finish flooring” Annual book of ASTM standards. 2011.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **ASTM D 1666**. Standard method for conducting machining tests of wood and wood base materials. 18p. 2011.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **ASTM D 5572**: Standard specification for adhesives used for finger joints in nonstructural lumber products. 17p. 2005.

ALMEIDA, V. C. **Avaliação do potencial de uso de resíduos de madeira tropical para produção de painéis colados lateralmente – EGP**. 122p.Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Paraná, Curitiba 2013.

ALMEIDA, C. C. F; CUNHA, A. B.; RIOS, P. D. Avaliação da qualidade da colagem de topo da madeira de *Cupressus lusitanica* Mill. para a produção de painéis colados lateralmente. **Scientia Forestalis**, v. 45, nº 113, p.9 -19, 2017.

Arquivo Científico Tropical (ACTD). Digital repository. **Brachystegia spiciformis Benth**. Disponível em: <http://actd.iict.pt/view/actd:XYLD0067>. Acesso: 17/07/2017

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR. **NBR 14535**: móveis de madeira - requisitos e ensaios para superfícies pintadas. 2ª edição, Rio de Janeiro. 32p. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR. **NBR 11003**: tintas - determinação da aderência. Rio de Janeiro. 7p. 1990.

BABIÁK, M.; KUBOVSKÝ, I.; MAMONOV M. Color space of the selected domestic species, In: **Interaction of wood with various forms of energy**. Technical University of Zvolen, Zvolen, Slovakia, p.113 - 117, 2004.

BARCÍK, S.; GASPARÍK, M.; HOUKA, A.; RAZUMOV, E.; JU; SELECKY, M. Influence of technological factors on the surface quality after milling of thermally modified pine wood. In: **Chip and Chipless Woodworking Process 2014: Conference Proceedings**, Zvolen, Slovakia, p.11 – 22, 2014.

BELLEVILLE, B.; ASHLEY, P.; OZARSKA, B. Wood machining properties of Australian plantation-grown Eucalypts. **Maderas.Ciencia y Tecnología**, v.18, nº 4, p. 677- 688, 2016.

BILA, A. D.; SALMI, J. **Fiscalização de Florestas e Fauna Bravia em Moçambique: passado, presente e acções para melhoramento**. Maputo. 42p. 2003.

BILA N.F., LUIS, R., GONÇALVES P. T. A., BOLZON de MUÑIZ G. I, NISGOSKI, S. Wood anatomy of five species from Mozambique and its potential application. **Bosque**, v. 32, nº 2, p.169 - 177, 2018.

BILA, N., IWAKIRI, S., TRIANOSKI, R. & PRATA, J. G. Evaluation of quality of the bonded joints of six species of amazonian tropical timbers. **Floresta**, v. 46, nº 4, p. 455 - 464, 2016.

BOWYER, J. L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J. G. **Forest products and wood science: an introduction**. Ames: Blackwell. 2003.

BRAGA, P. O. C; SILVA, J. R. M.; NÉRI, A. C.; CALEGÁRIO, N.; LIMA, J. T. Qualidade da superfície de madeira de *Coffea arábica*. **Cerne**, v. 20, nº 1, p.21 - 28, 2014.

BROWN, J. **Advanced machining technology handbook**. 2. ed. New York: Mcgraw-hill, 1998.

BUDAKÇI, M.; SONMEZ, A. Determining adhesion strength of some wood varnishes on different wood surfaces. **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, v. 25, nº 1, p.111 - 118, 2010.

BULIAN, F.; GRAYSTONE, J.A. **Wood Coating Theory and Practice**. Elsevier Science Ltd.: Amsterdam, 2009.

BRUMMITT, R.K., CHIKUNI, A.C., LOCK, J.M.; POLHILL, R.M. Leguminosae Subfamily Caesalpinioideae. **Flora Zambesiaca**, v. 3, nº 2, p.81 – 83, 2017.

BUSTOS, A.C.; MOYA L.C.; LISPERGUER, M.J.; VIVEROS, M.E. Effect of knife wear on the gluability of planed surfaces of radiata pine. **Wood and Fiber Science**, v. 42, nº 2, p.185-191, 2010.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel. 1991.

BURDURLU E.; USTA I.; ULUPINAR M.; AKSU B.; ERARSLAN C. The effect of the number of blades and grain size of abrasives in planing and sanding on the surface roughness of European black pine and Lombardy poplar. **Turkish Journal of Agriculture & Forestry**, v. 25, nº 4, p.315 - 321, 2005.

BUNSTER, J. **52 Madeiras comerciais de Moçambique**. Catálogo ecológico. Departamento de Engenharia Floresta-UEM. 1ª edição. Maputo. 1995.

ÇAKICIER, N.; KORKUT, S.; GÜLER, F. D. Effects of heating treatment on some of the physical properties of varnish layers applied on various wood species. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, nº 9, p.1578 - 1585, 2011.

CAMARGOS, J. A. A.; GONÇALEZ, J. C. A Colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. **Brasil Floresta**, v. 71, p.30 - 41, 2001.

CARVALHO, A. M.; SILVA, B. T. B.; LATORRACA, J. V. F. Avaliação da usinagem e caracterização das propriedades físicas da madeira de Mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.). **Cerne**, v. 16, Suplemento, p.106-114, 2010.

CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; PEREIRA, F. A. Adesivos e sua importância na indústria madeireira. In: **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro II**. Eds.: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. Vitória: Gráfica Aquarius, p.99 - 128, 2007.

CIVIDINI, R.; TRAVAN L.; ALLEGRETTI, O. White beech: A tricky problem in the drying process. In: **International Scientific Conference on Hardwood Processing**. Québec city, Canada, p.135 -140. 2007.

CLAUß, S.; JOSCAK, M.; NIEMZ, P. Thermal stability of glued wood joints measured by shear tests. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 69, nº 1, p.101-111, 2011.

CONTI, A. C. de. **Resistência mecânica de juntas coladas em madeira de *Eucalyptus* sp.** 103p. Tese (Doutorado em Materiais) - Setor de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

CONNER, A. H. **Wood: Adhesives**. Encyclopedia of Materials: Science and Technology. USA: Elsevier Science, 2001.

COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS - COPANT. **COPANT 462** – Método de determinación de la contracción. 5p.1972.

COX, ROBERT M. **Building an industrial wood finish**. Madison: Forest Products Society. 2003. ISBN 1-892529-30-0

CRISTOVÃO L.; LHATE, I; GRÖNLUND, A.; EKEVAD, M.; SITOIE, R. Tool wear for lesser-known tropical wood species. **Wood Material Science and Engineering**, v. 6, nº 3, p.155 - 161. 2011.

CRUMP, D. **The complete guide to wood finishes**. Simon & Schuster, 1992.

DIREÇÃO NACIONAL DE TERRAS E FLORESTAS (DNTEF). **Exploração Sustentável da Madeira em Moçambique**. Maputo, abril 2017. 16p

DIREÇÃO NACIONAL DE TERRAS E FLORESTAS (DNTEF). **Relatório das Actividades do Ano 2018**. Maputo, dezembro 2016. 28p

DEL MENEZZI, C. H. S. **Estabilização dimensional por meio do tratamento térmico e seus efeitos sobre as propriedades de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 226p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

DE SOUZA M.; ALVES O.; SILVA J. DE CASTRO; EVANGELISTA, W. V. Aplicação de acabamentos superficiais em madeira de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. & *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake visando ao uso na indústria moveleira. **Scientia Forestalis**, v. 39, nº 92, p.403 - 409, 2011.

DÉSOR, U.; KRIEGER, S.; APITZ, G.; KUROPKA, R. Water-borne acrylic dispersions for industrial wood coatings. **Surface Coatings International**, v. 10, p. 488 - 496, 1999.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e Estatística para Engenharia e Ciências**. 6ª Edição, São Paulo: Cengage, 708p. 2006.

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

DUNKY, M.; PIZZI, T.; LEEMPUT, M. V. – **“Wood Adhesion and Glued Products Working Group 1: Wood Adhesives”** – Cost Action E13 – State of the Art – Report, 2002.

DZURENDA, L. The shades of color of *Quercus robur L.* wood obtained through the process of thermal treatment with saturated water vapor. **BioResources**, v.13, nº 1, p. 1525 - 1533, 2018.

EGAS, A. F; NHANTHUMBO, I. **Proposta de modelo para a promoção da industrialização do sector florestal**. Projecto UTF/MOZ/123/MOZ. Maputo. 89p. 2020.

EGAS, A. F; KLITZKE, R. J.; LUIS, R. C. G.; JUNIOR, E. U.; BATISTA, D. C.; ROCHA, M. R. The effect of weather on air-drying of messassa wood. **Floresta e Ambiente**, v. 26, nº 3, e20171151, 2019.

ERDINLER, E. S; KOC, K. H.; DILIK, T.; HAZIR, Z. Layer thickness performances of coatings o MDF: Polyurethane and Cellulosic paints. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v. 21, nº 3, p.317 - 326, 2019.

EUROPEAN STANDARD – EN. **EN 13354. Solid wood panel – bonding quality – test method**. Technical specification, 12p. 2003.

FLEGT. **Forest governance and timber trade flows within, to and from Eastern and Southern Africa Countries. Mozambique study**. Maputo. 52p. 2014.

FAZANO, C. A. T. V. **Tintas: Métodos de controle de pinturas e superfície**. Brasil. Hemus. 287p.1989.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood Chemistry, ultrastructure reactions**. Berlin, 612 p. 1989.

FRIHART, C. R., Adhesive Bonding and Performance Testing of Bonded Wood

Products. **Journal of ASTM International**, v. 2, nº 7, p.10, 2005.

FRIHART, C. R.; HUNT, C. G. Adhesives with Wood Materials Bond Formation and Performance, chapter 10. In: **Wood Handbook. Wood as an Engineering Material**. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, p.1 - 24. 2010.

FOLLRICH, J.; VAY, O.; VEIGEL, S.; MÜLLER, U. Bond strength of end-grain joints and its dependence on surface roughness and adhesive spread. **Journal of Wood Science**, v. 56, p.429 - 434, 2010.

GASPAR, F.; CRUZ, H.; NUNES, L.; GOMES, A. **Fabrico de Estruturas Lameladas-Coladas com Madeira de Pinho Bravo Tratada em Autoclave**. 5º Congresso Florestal Nacional, Viseu, 2005.

GARDNER, H. A.; SWARD, G. G. **Physical and chemical examination of paints, varnishes, lacquers and colors**. 1937.

GAFF, M.; KVIETKOVÁ, M.; GAŠPARÍK, M., KAPLAN, L.; BARCÍK, S. Effect os selected parameters on the surface waviness in plane milling of thermally modified birch wood. **BioResources**, v.10, nº 4, p.7618 - 7626, 2015.

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

GOLDSCHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. **Lignin's**: occurrence, formation, structure and reactions. New York: John Wiley & Sons, p.241 - 266. 1971.

GOMIDE, J. L. & DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: Método Klason modificado. **O Papel**, v. 47, nº 8, p.36 - 38, 1986.

GUPTA, S.; SINGH, C.P.; KISHAN-KUMAR, V.S.; SHUKLA, S. Machining properties of *Melia dubia* wood. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v. 21, nº 2, p.197 - 208, 2019.

GUEDES, J. S. **Estudo e optimização do acabamento de orlas em tamos de mesas escolares**. 43p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Setor de Engenharia Química, Universidade do Porto, Porto, 2011

GRØSTAD K. & PEDERSEN A. Emulsion Polymer Isocyanates as Wood Adhesive: A Review. **Journal of Adhesion Science and Technology**, v. 24, p.1357-1381, 2010.

HAUBRICH, J.L.; GONÇALVES, C.; TONET, A. Adesivos Vinílicos Apresentam Soluções para Madeira. **Revista da Madeira**, v.103, p.66 - 70, 2007.

HAZIR, E. & KOC, K. H. Evaluation of wood surface coating performance using water 3 based, solvent based and powder coating. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v. 2, nº4, p.1 - 22, 2019.

HERNÁNDEZ, R. E.; CONSTANTINEAU, S.; FORTIN, Y. 2011. Wood machining properties of poplar hybrid clones from different sites following various drying treatments. **Wood and Fiber Science**, v. 43, nº 4, p.394 - 411, 2011.

HERNÁNDEZ, R.E.; BUSTOS, C.; FORTIN, Y.; BEAULIEU, J. Wood machining properties of white spruce from plantation forests. **Forest Products Journal**, v. 51, nº 6, p.82 - 88, 2001.

HILLIS, W. E. 1971. Distribution, Properties and Formation of Some Wood Extractives. **Wood Science and Technology**, v. 5, p.272 - 289, 1971.

HIZIROGLU, S.; JARUSOMBUTI, S.; FUEANGVIVAT, V. Surface characteristics of wood composites manufactured in Thailand. **Building and Environment**, nº 39, p.1359 - 1364, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Banco de dados de madeiras brasileiras**. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br>. Acesso em: 20 de maio 2019.

INTERNATIONAL STANDARD ISO 13061-2. **Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens** - Part 2: Determination of density for physical and mechanical tests. First edition, 2014.

ISO 13061-1. **Physical and mechanical properties of wood** - Test methods for small clear specimen - Part 1: Determination of moisture content for physical and mechanical tests. 2014

ISO 13061-2, **Physical and mechanical properties of wood** - Test methods for small clear specimen Part 16: Determination of volumetric swelling. 2014.

ISO 13061-2, **Physical and mechanical properties of wood** - Test methods for small clear specimen Part 13: Determination of radial and tangential shrinkage. 2014.

ISO 13061-2(E). **Physical and mechanical properties of wood - Test methods for small clear wood specimens**. 12p. 2014.

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

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R. NASCIMENTO, C. C. do; GUMANE, C.; LENGOWSKI, E. C.; SCHARDOSIN, F. Z.; AZAMBUJA, R. Resistência das juntas coladas de madeiras de *Inga alba* (SW) Willd e *Swartzia recurva* Poepp. **Cerne**, v. 21, nº 3, p. 457 - 463, 2015.

IWAKIRI S., TRIANOSKI, R.; STÜPP, A. M.; CABRAL, B. M.; JÉSSICA GAYER, J. A. C. A. The Use of *Eucalyptus camaldulensis* AND *Eucalyptus urophylla* wood in the production of edge glued panels. **Floresta**, v. 49, nº. 2, p.317- 324, 2019.

JANKOWSKY, I. P. **Colagem de madeiras**. Piracicaba: ESALQ, 45 p. 1988.

JANKOWSKA, A.; KAZAKIEWICZ, P. Influence of thermal modification of scots pine wood (*Pinus sylvestris* L.) on color change. 2014. Annals of Warsaw University of life sciences - SGGW. **Forestry and Wood Technology**, v. 88, p.92 - 96, 2014.

KAPLAN, L.; KVIETKOVÁ, MS.; SIKORA, A.; SEDLECKY, M. Evaluation of the effect of individual paramaters of oak wood machining and their impact on the values of waviness measured by a laser profilometer. **WoodResearch**, v. 63, nº 1, p.127-140, 2018.

KILIC, M.; HIZIROGLU, S.; BURDURLU, E. Effect of machining on surface roughness of wood. **Building and Environment**, v. 41 nº 8, p.1074 - 1078, 2006.

KHAN, I. **Análise da influência da posição da madeira na árvore em suas propriedades físico- mecânicas**. 70p. (Dissertação de mestrado) Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, Universidade Eduardo Mondlane, Maputo. 2018.

KOFMAN, P. D. **Wood Ash**. COFORD connects. Processing/Products No. 43. 2p. 2016. Disponível:
<http://www.coford.ie/media/coford/content/publications/projectreports/cofordconnects/cofordconnectsnotes/00675CCNPP43Revised091216.pdf>. Acesso: 20/03/20

KLOCK, U.; De ANDRADE, A. **Química da madeira**. 4ª Edição revisada. Curitiba, 85p. 2013.

KOCH, P. **Wood Machining Processes**. New York. Ronald Press Company. 530p. 1964.

KOLLMANN, F.F.P.; CÔTE, W.A.J. **Principles of Wood Science and Technology**. New ork. v.1, 592p. 1984

KOLLMANN, F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology**. 703p. 1975

LAINA, R; SANZ-LOBERA, A.; VILLASANTE, A; LÓPEZ-ESPÍ, P.; MARTÍNEZ-ROJAS, J. A.; ALPUENTE, J.; SÁNCHEZ-MONTERO, R.; VIGNOTE, S. Effect of the anatomical structure, wood properties and machining conditions on surface roughness of wood. **Maderas. Ciencia y tecnologia**, v.19, nº 2, p.203 - 212, 2017.

LHATE I.; CRISTÓVÃO, L. Machining properties of lesser-used wood species from Mozambique. **Wood Research**, v. 62, nº 4, p.635 - 644, 2007.

LHATE, I.; CUVILAS. C.; TERZIEV, N.; JIRJIS, R. Chemical compositions of traditional and lesser-used species from Mozambique. **Wood material science Engineering**, v.5, nº (3-4), p.143 -150, 2010.

LIMA, C. K. P.; MORI, F. A.; MENDES, L.M.; TRUGILHO, P.F; MORI, C. L. S.O. Colagem da madeira de clones de *Eucalyptus* com três adesivos comerciais. **Scientia Florestalis**, v.36, nº 77, 2008.

LHATE, I. **Chemical Composition and Machinability of Selected Wood Species from Mozambique**. 56p. Tese (Doutorado em tecnologia da madeira). Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. 2011.

LIMA, C. K. P.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.; CARNEIRO, A. de C. O. Características anatômicas e química da madeira de clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem. **Cerne**, v. 13, nº 2, p.123 -129, 2007.

LOPES, M. de C. **Espectroscopia no infravermelho próximo aplicada na avaliação de painéis de madeira colados lateralmente**. 131p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

LOPES, M. DE C.; MUNIZ, G. I. B. de; MATOS, J. L. M. de; TANOBE, V. O. de A.; CHINASSO, C. A. F.; ROSSO, S. Resistência da linha de cola de painéis de *Pinus taeda* colados lateralmente com diferentes adesivos. **Cerne**, V. 19, nº 4, p.613 - 619, 2013.

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

MAGALHÃES, W. L. E.; GUIOTOKU, M.; MARTINS, E. G.; SILVA, L. B. Desempenho de madeira de grevélea revestida com verniz, tinta e stain exposta a intemperismo natural. **Anais do 10º Encontro Brasileiro em Madeira e em Estrutura de Madeira - EBRAMEN**. São Paulo, 2006.

MAGALÃES, T. **Inventário Florestal Nacional**. DINAF, Maputo. 101p. 2018

MALONEY, T.M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. M. Freeman, San Francisco, USA. 689pp. 1993

MARTEN, F. L. **“Vinyl alcohol polymers”**, in: Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, vol. 17, H. F. Mark, N. M. Bikales, C. G. Overberger & G. Menges (eds.), John-Wiley, New York, 1985.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 453 p.

MELO, CORADIN & MENDES **Madeiras da Amazônia: Características e Utilização**. Vol. 3 – Amazônia Oriental, Laboratório de Produtos Florestais, IBAMA, 1990.

MELO, CORADIN & MENDES **Madeiras da Amazônia: Características e Utilização**. Vol. 3 – Amazônia Oriental, Laboratório de Produtos Florestais, IBAMA, 1997

MINISTÉRIO DE ADMINISTRAÇÃO ESTATAL (MAE). **Perfil do distrito de Maganja da costa província da Zambézia**. 2ª edição. Maputo. 70p. 2014

MINISTÉRIO DA TERRA, AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO RURAL (MITADER). **Exploração Sustentável da Madeira em Moçambique**. Maputo. 16 p. 2017

MORESCHI, J. C. **Propriedades da madeira**. UFPR. 124p. 2012.

MOLINA, J. C.; CALIL N. C.; CHRISTOFORO, A. L. Resistência à tração de emendas dentadas de madeira de *Manilkara huberi* para o emprego em madeira laminada colada. **Ambiente construído**, v. 16, nº 1, p.221 - 227, 2016.

MORI C.L.S.O.; LIMA J. T.; MORI F. A.; TRUGILHO, P. F.; GONÇALVEZ, J. C. Caracterização da cor da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, v. 1, nº 2, p.137-146, 2005.

MORI, C. L. S.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.; SILVA, J. R. M. **Caracterização da madeira de angicovermelho (*Anadenanthera peregrina* (Benth.) Spreng) para confecção de móveis**. Brasil Florestal, Brasília, p.29 - 36, 2003.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. London: Southern Illinois University Press, 245p. 1974.

MOURA, L. F.; HERNÁNDEZ, R. E. Effects os abrasive mineral, grit size and feed speed on the quality of sanded surfaces of sugar maple wood. **Wood Science and Technology**, v. 40, p.130 - 136, 2006.

MUSSANA, A. F. **Influência das classes diamétricas na variação das propriedades físico-mecânicas de *Brachystegia spiciformis* e *Julbernardia globiflora* nos distritos de Maganja da Costa e Mocubela (Zambézia)**. 66p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Eduardo Mondlane, Maputo-Moçambique, 2018.

NAMIKATA, A. P.; ROSILANI, T. Efeito da gramatura sobre a qualidade de colagem lateral da madeira de *Tectona grandis*. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.14, nº 3, p.224 - 233, 2015.

NAMIKATA, A. P. **Utilização da madeira de *Cryptomeria japonica* para a rodução de painéis colados lateralmente e aplicação de acabamento superficial**. 188f. Dissertação (mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Paraná, 2016.

NASCIMENTO, A. M.; LELLIS, R. C. C.; COSTA, D. L.; OLIVEIRA, C. S. Comportamento de ligações adesivas em madeiras de reflorestamento. **Floresta e Ambiente**, v. 9, nº 1, p.54 - 62, 2002.

NATIONAL DIRECTORATE OF LANDS AND FORESTS SUSTAINABLE (DNTEF). **Exploration of Madeira in Mozambique**. Maputo, 16p, Abril 2017.

NHANCALE, B.; MANANZE, S.; DISTA, N.; ISILDA N.; MACQUEEN, D. **Small and medium forest enterprises in Mozambique**. Centro Terra Viva - (CTV). Maputo, 58p, 2009.

RICHTER K.; FEIST W.; KNAEBE M. The effect of surface-roughness on the performance of finishes. Roughness characterization and stain performance. **Forest Products Journal**, v. 45, nº 7– 8, p.91 - 97, 1995.

SANGUMBE L. M. V.; CARRILLO M. P. I.; MENDOÇA R. T. An exploratory evaluation of the pulpability of *Brachystegia spiciformis* and *Pericopsis angolensis* from the Angolan miombo woodlands. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v. 20, nº 2, p. 183 -198, 2018.

SANTANA, M. A. E.; OKINO, E. Y. A. Chemical composition of 36 Brazilian Amazon forest wood species. **Holsforschung**, v. 61, nº 5, p.469 - 477. 2007

SELLERS JR., T. Adhesive in the Wood Industry. In: PIZZI. A.; MITTAL, K. L. **Handbook of adhesive technology**. New York: Marcel Dekker, cap. 37. 1994.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. **Acabador de móveis**. Ubá, 29 p. 1995.

SILVA, R. A. F.; SETTER, C.; MAZETTE, S. S.; MELO, R. R.; STANGERLIN, D. M. Colorimetria da madeira de trinta espécies tropicais. **Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 8, nº 1, p.36 - 41, 2017.

SILVA, J. R. M.; ALVES, J.; NOGUEIRA, M. O. G.; BRAGA, P. P. C. Qualificação da superfície acabada em madeiras de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Toona ciliata* M. Roemer e *Coffea arabica* L. **Cerne**, v. 16, nº Suplemento, p.15 - 22, 2010.

SILVA, J.R.M; MUÑIZ, G.I.B; LIMA, J.T; BONDUELLE, A.F. Relações da usinabilidade com a morfologia das fibras da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill Ex. Maiden. **Revista Árvore**, v. 29, nº 3, p.479 - 487, 2005.

SILVA, J. R. M. **Relações da usinabilidade e aderência do verniz com as propriedades fundamentais do *Eucalyptus grandis* hill ex. maiden**. 179p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SILVA, J.; MATTOS, J; MUNIZ, G.B. Influência das características anatômicas da madeira na sua usinagem. **XV Congresso florestal brasileiro**. Belo Horizonte. Anais. p.232 - 239, 1999.

SILVA, F. D.; BITTENCOURT, R. M. **Estudo do desgaste à abrasão do eucalipto, madeira laminada e bambu gigante laminado utilizados como elemento de piso**. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA. Uberlândia. Anais... Uberlândia, 2002

SHIMOYAMA, V.R. **Variações da Densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* sp**. 93p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1990.

SJÖSTRÖM, E. **Wood chemistry: fundamentals and applications**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 293 p, 1993.

SOUZA, M. O. A. DE; SILVA, J. D. C.; EVANGELISTA, W. V. 2011. Aplicação de acabamentos superficiais em madeira de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus urophylla* visando ao uso na indústria moveleira. **Scientia Forestalis**, v. 39, nº 92, p. 403 - 409, 2011.

STEWART, H. A.; POLAK, D. J. Relating specific gravity and mechanical properties of hardwoods to machining defects. **Forest Products Journal**, v. 35, nº 10, p.69 - 72, 1975.

SULAIMAN, O; HASHIM, R.; SUBARI, K.; LIANG, C. K. Effect of sanding on surface roughness of rubberwood. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 209, n. 8, p.3949 - 3955, 2009.

SULLIVAN, L. A. **Recognition of depositional clay coatings using scanning electron microscopy**. In: INTERNATIONAL WORKING MEETING ON SOIL MICROMORPHOLOGY, 10, Moscow–Wageningen. p.155 - 166, 1997.

TAYLOR, J. B.; CARRANO, A. L.; LEMASTER, R. L. Quantification of process parameters in a Wood sanding operation. **Forest Products Journal**, v. 49, nº 5, p. 41- 46, 1999.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY - **TAPPI 204. Test methods**. Atlanta: TAPPI Press, 2007. 2 v

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI 211**. Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C. Atlanta, 2002.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI 252**. pH and electrical conductivity of hot water extracts of pulp, paper, and paperboard. Atlanta, 2002.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI 257** cm-12: sampling and preparing wood for analysis. In: Tappi test methods. Atlanta, 2012.

TEIXEIRA, D. E.; MELO, J. E. & ANACLETO, J. E. Testing quality of compression bonding to shearing on six Brazilian hardwood species. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, nº 103, p.393 - 401, 2014.

TIENNE, D. L. D. C.; NASCIMENTO, A. M.; GARCIA, R. A.; SILVA, D. B. Qualidade de adesão de juntas de madeira de *Pinus* coladas em condições simuladas de serviço interna e externa. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 1, p.16 - 29, 2011.

TIBURCIO U.F.O. **Medição e análise do acabamento superficial da madeira de eucalipto na usinagem de torneamento cilíndrico e lixamento**. 101p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2009.

TINTAS CORAL. **Noções básicas em aplicação para madeira**. Santo André, 9 p. 1994.

TRIANOSKI, R. **Avaliação da qualidade da madeira de espécies de *Pinus* tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos**. 554p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood**. Structure, properties, utilization. 494p. 1991.

OLIVEIRA, D. M. **Especificações de acabamentos pintados ou envernizados para elementos construtivos exteriores em madeira**. 180p. Dissertação (Mestrado em Construções Civas) - Setor de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2008.

OLIVEIRA J. T. S; HELLMEISTER J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da Densidade básica da madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 29, nº 1, p.115 -127, 2005.

OZDEMIR, T.; HIZIROGLU, S. Evaluation of surface quality and adhesion strength of treated solid wood. **Journal of Materials Processing Technology**, v.186 nº 1, p. 311 - 314, 2007.

PALERMO, G. P. de M. **Propriedades e comportamento tecnológico da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex- Maiden visando a sua utilização em produtos de maior valor agregado**. 249p. Tese (Doutorado em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) - Setor de Ciências Ambientais e Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2010.

PANT, B.C.; SINGH, S.P.; GUPTA, S.; SHARMA, C.M. Working qualities of some Indian timbers - Part X. **Indian Forester**, v. 128, nº 9, p.1021 - 1032, 2002.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. New York: McGraw-Hill Book, 722 p. 1980

PÉREZ, J; MUÑOZ-DORADO, J.; RUBIA, T.; MARTÍNEZ, J. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview. **International Microbiology**, v. 5, nº 2, p.53 - 3, 2002.

PIENAAR, B.; THOMPSON, D.I.; ERASMUS, B. F.N.; Hill, T. R. & WITKOWSKI, E. T.F. Evidence for climate-induced range shift in *Brachystegia* (miombo) woodland. **South African Journal of Science**, v. 111, nº (7-8), p.42 - 51, 2015.

PIZZI, A. **Wood Adhesives Chemistry, Technology**. Vol. 12. Marcel Dekker, New York. 1983.

PIZZI, A.; MITTAL, K. L. **Handbook of adhesive technology**. Second edition. Revised and Expanded. Nova York: Marcel Deckker, 1017p. 2003.

PRATA, J. G. **Estudo da viabilidade tecnológica do uso de espécies de *Pinus* tropicais para produção de painéis colados lateralmente (Edge glued panels – EGP)**. 107p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

PONCE, R. H. **Madeira Serrada De Eucalipto: Desafios E Perspectivas**. Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria, p. 50-58, 1995

UETIMANE, E.; TERZIEV, N.; DANIEL, G. Wood anatomy of three lesser-known species from Mozambique. **IAWA Journal**, v. 30, nº 3, p.277 - 291, 2009.

UETIMANE, E. JR; JEBRANE M; TERZIEV N; DANIEL G. Comparative wood Anatomy and Chemical Composition of *Millettia mossambicensis* and *Millettia sthulmannii* from Mozambique. **BioResources**, v.13, nº 2, p.3335 - 3345, 2018.

VANČO, M.; MAZÁN, A.; BARCÍK, S.; RAJKO, L.; KOLEDA, P.; VYHNÁLIKOVÁ, Z.; SAFÍN, R. R. Impact os selected technological. Technical, and material factors on the quality of machined surface at face milling os thermally modified pine wood. **BioResources**, v.12, nº 3, p.5140 - 5154, 2017.

VARANDA, L. D.; ALVES, M.C.S; GONÇALVES, M.T.T; SANTIAGO, L.F.F. A influência das variáveis do lixamento tubular na qualidade das peças de *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, v.16, nº supl, p. 23 - 32, 2010.

VICK, C. B. **Adhesive Bonding of Wood Materials**. U.S. PRODUCTS LABORATORY. Wood handbook —Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Chapter 9, 463 p. Madison: U.S. 1999.

VICK, C. B.; ROWELL, R. M. Adhesive Bonding of Acetylated Wood. **Int. J. Adhesion and Adhesives**, v. 10, nº 4, p.263 - 272, 1990.

WATAI, L. T. **Tecnologia básica em acabamento de madeiras**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 103 p. 1995.

WENGERT, G. A umidade ideal para madeira. **Revista da madeira**. Ed. Nº 64, Maio, 2002.

WHALER, J.H. **Furniture finishing textbook**. Nashville: Production Publishing Company, 3 p. 1972.

WILLIAMS, R.S. **Finishing of Wood**. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory: 1 - 39p, 1999.

YAMAMOTO, K.; KATAOKA, Y.; FURUYAMA, Y.; MATSUURA, T.; KIGUCHI, M. The effect of irradiation wavelength on the discouration of wood. **Mokuzai Gakkaishi**, v. 53, nº 6, p.320 - 326. 2007.

ZAMARIAN, E. H.; ALBUQUERQUE, C. E.; MATOS, J.; LUIS M. Usinagem da madeira de Bracatinga para uso na indústria madeireira. **Floresta**, v. 42, nº 3, p.631 - 638, 2012.

ZANGIÁCOMO, A. L.; LAHR, F. A. R. Emprego de espécies tropicais alternativas na produção de elementos estruturais de madeira laminada colada. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, v. 9, nº 40, p.103 - 131, 2007.

ZENID, G. J.; E CECCANTINI, G. C. T. **Identificação macroscópica de madeiras.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, 24p, 2007.

ZIMMERMAN, D. Adesivos para pisos engenheirados: da fabricação à instalação. **Revista da Madeira.** Ed. 94. 2006.