



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

RHAGNYA SHARON FERREIRA MARTINS

**CARACTERIZAÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS PRODUZIDOS COM
MADEIRA DE EUCALIPTO E RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS
AGROINDUSTRIAIS**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2016

RHAGNYA SHARON FERREIRA MARTINS

**CARACTERIZAÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS PRODUZIDOS COM
MADEIRA DE EUCALIPTO E RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS
AGROINDUSTRIAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais. Orientador: Fabricio Gomes Gonçalves Coorientadora: Graziela Baptista Vidaurre

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)

(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

Martins, Rhagnya Sharon Ferreira, 1990-

M386c Caracterização de painéis aglomerados produzidos com madeira de eucalipto e resíduos lignocelulósicos agroindustriais / Rhagnya Sharon Ferreira Martins. – 2016.

77 f. : il.

Orientador: Fabricio Gomes Gonçalves.

Coorientadora: Graziela Baptista Vidaurre.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Painéis de madeira. 2. Taninos. 3. Ureia. 4. Resíduos agrícolas. 5. Caule de mamoeiro. 6. Carpelo de noz macadâmia. 7. Pergaminho de café. I. Gonçalves, Fabricio Gomes. II. Vidaurre, Graziela Baptista. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 630

**CARACTERIZAÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS PRODUZIDOS COM
MADEIRA DE EUCALIPTO E RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS
AGROINDUSTRIAIS**

Rhagnya Sharon Ferreira Martins

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

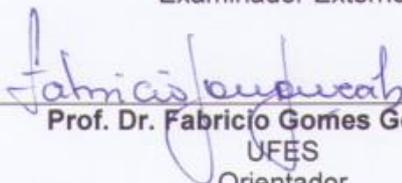
Aprovada em 16 de novembro de 2016.



Prof. Dr. Roberto Carlos Costa Leis
UFRRJ
Examinador Externo



Prof. Dr. Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho
UFES
Examinador Externo



Prof. Dr. Fabricio Gomes Gonçalves
UFES
Orientador

Aos meus pais Antônia e Elton; ao meu noivo Elcio; à minha irmã Rhangnys; às minhas amigas Sabrina, Izabella e Amanda; à minha madrinha Ivone e à minha avó “vó Dona”: Afetuosamente dedico!

AGRADECIMENTOS

A Deus por me amparar nos momentos difíceis, me dar força interior para superar as dificuldades, mostrar os caminhos nas horas incertas e me suprir em todas as minhas necessidades.

À minha família, a qual amo muito, pelo carinho, paciência e incentivo.

Ao meu noivo, Elcio, por sempre estar a meu lado, me pondo para cima e me fazendo acreditar que posso mais que imagino. Por seu companheirismo, amizade, paciência, compreensão, apoio, alegria e amor, este trabalho pôde ser concretizado. Obrigada meu amor!

Ao meu orientador Fabricio Gomes Gonçalves por ter acreditado no futuro desse projeto e orientado o desenvolvimento da pesquisa, fazendo com que se concretizasse nessa dissertação; e à minha coorientadora Graziela Baptista Vidaurre pelo auxílio e colaboração.

Aos colegas e amigos que fizeram parte desses momentos sempre me ajudando e incentivando, em especial às queridas Sabrina Santiago, Izabella Chaves, Amanda Mota, Sabrina Daré e Thaís Brito, que se tornaram verdadeiras amigas, com quem sempre pude contar. Obrigada queridas por dividirem comigo as angústias e alegrias!

Aos produtores agrícolas Sr. Clóvis Eduardo Nunes Hegedus, pela doação do pergaminho de café; Sr. Ítalo Santos Bonomo, pela doação do carpelo de macadâmia e Sr. Edvaldo Permanhane, pela doação do caule do mamoeiro. Obrigada por fornecerem as matérias-primas fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa, que se consolidou nesta dissertação.

À empresa Hexion Química do Brasil Ltda por ter fornecido o adesivo ureia formaldeído, e à empresa Seta pela doação do tanino comercial para produção dos painéis aglomerados.

Aos técnicos Zé Geraldo, Luciano e Alexandro pelo apoio técnico, contribuindo para o desenvolvimento deste trabalho; ao Sr. Elecy e Sr. Betinho (*in memoriam*) pelos serviços prestados na marcenaria. Ao professor Adriano, por ser prestativo, sempre ajudando a tirar dúvidas de estatística.

A todos os colegas, professores e funcionários do programa de pós-graduação em Ciências Florestais pelo convívio e aprendizado.

Agradeço também a Fibria pelo apoio financeiro, ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, à Universidade Federal do Espírito Santo e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais por permitirem a realização da minha dissertação de mestrado.

RESUMO

MARTINS, R. S. F. **Caracterização de painéis aglomerados produzidos com madeira de eucalipto e resíduos lignocelulósicos agroindustriais.** 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro – ES. Orientador: Prof. D.Sc. Fabricio Gomes Gonçalves, Coorientadora: Prof^a. D.Sc. Graziela Baptista Vidaurre.

O presente trabalho teve como objetivo caracterizar painéis aglomerados confeccionados com madeira de eucalipto em mistura com resíduos advindos da atividade agrícola (carpelo de noz macadâmia, pergaminho de café e caule de mamoeiro), usando como aglutinantes os adesivos ureia formaldeído e tanino ureia formaldeído. Analisaram-se as propriedades físicas densidade aparente, absorção de água e inchamento em espessura; as propriedades mecânicas resistência à flexão estática, arrancamento de parafusos, tração perpendicular (ligação interna) e dureza Janka; e a emissão de formaldeído. Os painéis aglomerados em sua maioria foram classificados como de média densidade; apesar do aumento do percentual de resíduos na composição dos painéis aglomerados e a substituição de 10 % de resina ureia formaldeído por extrato tânico terem promovido a redução das propriedades físicas, os aglomerados atenderam às especificações de desempenho para absorção de água e inchamento em espessura. Os valores médios das propriedades mecânicas tração perpendicular (ligação interna), arrancamento de parafuso e dureza Janka obtidos para os resíduos estudados no geral atenderam aos padrões de qualidade normativos, com exceção da propriedade flexão estática. A adição de 10% de extrato tânico na resina ureia formaldeído reduziu 22,5% a emissão de formaldeído livre nos painéis aglomerados. Os resultados obtidos indicam o potencial de utilização dos resíduos lignocelulósicos caule de mamoeiro, carpelo de noz macadâmia e pergaminho de café como matéria-prima para fabricação de painéis aglomerados, sendo estes não recomendados apenas quando submetidos a tensões de flexão.

Palavras-chaves: adesivo, carpelo de noz macadâmia, pergaminho de café, caule de mamoeiro

ABSTRACT

MARTINS, R. S. F. **Characterization of particleboards made of eucalyptus wood and lignocellulosic agro-industrial waste.** 2016. Dissertation (Master of Forest Science) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro - ES. Advisor: Prof. D.Sc. Fabricio Gomes Gonçalves. Co-Advisor: Prof^a. D.Sc. Graziela Baptista Vidaurre.

The present work had as objective to characterize particleboard made from eucalyptus wood in combination with waste from agricultural activity (carpel of macadamia nut, parchment coffee and papaya stalk), using as urea formaldehyde adhesives and binders tannin urea formaldehyde. Analysed the physical properties density, water absorption and swelling in thickness; the mechanical properties static bending strength, tensile perpendicular (internal link) and Janka hardness; and the emission of formaldehyde. The particleboards have been classified as medium-density. Despite the increase in the percentage of residues on composition of particleboard and replacing 10% of urea formaldehyde resin by tannic extract have promoted the reduction of the physical properties, the particleboard attended performance specifications for water absorption and swelling in thickness. The average values of mechanical properties perpendicular traction (internal link), and Janka hardness obtained for the studied wastes generally met quality standards, with the exception of bending property. The addition of 10% urea formaldehyde resin tannic extract reduced 22.5% the emission of free formaldehyde in the particleboard. The results indicate the potential for the use of lignocellulosic waste papaya stalk, carpel of macadamia nut and parchment coffee as a raw material for the manufacture of particleboard, which are not recommended when subjected to bending stresses.

Keywords: adhesive, carpel of macadamia nut, parchment coffee, papaya stalk

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	OBJETIVOS	11
1.1.1	Objetivo geral	11
1.1.2	Objetivos específicos	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1	RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS	12
2.1.1	Carpelo de noz macadâmia	12
2.1.2	Pergaminho de café	14
2.1.3	Caule do mamoeiro	16
2.2	PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE PAINÉIS AGLOMERADOS COMPOSTOS POR DIFERENTES MATERIAIS LIGNOCELULÓSIOS	17
2.3	CARACTERÍSTICAS DAS PARTÍCULAS QUE AFETAM A QUALIDADE DOS PAINÉIS AGLOMERADOS.....	19
2.4	FATORES DO PROCESSAMENTO QUE AFETAM A QUALIDADE DOS PAINÉIS RECONSTITUÍDOS DE MADEIRA.....	20
2.5	UTILIZAÇÃO DE ADESIVOS EM PAINÉIS RECONSTITUÍDOS DE MADEIRA	23
2.6	EMIÇÃO DE FORMALDEÍDO EM PAINÉIS RECONSTITUÍDOS DE MADEIRA.....	24
3	MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1	OBTENÇÃO E PREPARO DO MATERIAL LIGNOCELULÓSICO	27
3.1.1	Caracterização física dos materiais lignocelulósicos	28
3.1.2	Caracterização química dos materiais lignocelulósicos	28
3.2	PRODUÇÃO DOS PAINÉIS AGLOMERADOS.....	29
3.2.1	Caracterização físico-química dos adesivos	29
3.2.2	Aplicação do adesivo e prensagem do colchão de partículas	30
3.3	AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS E EMISSÃO DE FORMALDEÍDO DOS PAINÉIS AGLOMERADOS	32
3.3.1	Propriedades físicas dos painéis aglomerados	33
3.3.2	Propriedades mecânicas dos painéis aglomerados	34
3.3.3	Emissão de formaldeído nos painéis aglomerados	34
3.4	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.1	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS	38

4.1.1 Densidade.....	38
4.1.2 Teor de extrativos, lignina e cinzas.....	39
4.1.3 pH e capacidade tampão	41
4.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS ADESIVOS.....	43
4.3 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PAINÉIS AGLOMERADOS.....	44
4.3.1 Densidade aparente e razão de compactação.....	44
4.3.2 Absorção de Água (AA) 2 horas e 24 horas.....	47
4.3.3 Inchamento em Espessura (IE) 2 horas e 24 horas.....	50
4.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS AGLOMERADOS.....	52
4.4.1 Resistência à flexão estática: Módulo de Ruptura (MOR) e Módulo de Elasticidade (MOE).....	52
4.4.2 Resistência ao arrancamento de parafuso no topo e superfície.....	55
4.4.3 Dureza Janka	60
4.4.4 Resistência à tração perpendicular (Ligação interna).....	62
4.5 EMISSÃO DE FORMALDEÍDO.....	64
4.6 COMPARAÇÃO NORMATIVA PARA AS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DOS PAINÉIS AGLOMERADOS.....	66
5 CONCLUSÕES	67
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
7 APÊNDICES.....	77

1 INTRODUÇÃO

O setor madeireiro passou por várias transformações ao longo das décadas. A madeira maciça advinda de florestas nativas vem sendo substituída por àquelas provenientes de florestas plantadas e por materiais derivados e reconstituídos, como madeira laminada colada, compensado, aglomerado e painéis de fibra. A necessidade de minimizar as variações dimensionais da madeira maciça, reduzir seu custo, e conservar as propriedades isolantes, térmicas e acústicas contribuíram para o surgimento dos painéis de madeira. Esse setor cresceu com o desenvolvimento tecnológico, que contribuiu para o aumento do número de produtos reconstituídos a partir da madeira no mercado.

A exploração intensiva da madeira além da geração de resíduos provenientes do seu processamento, pode causar prejuízos ao ambiente; como perda da biodiversidade, degradação do solo, alterações no clima e ciclo hidrológico. Outro setor que preocupa quanto a geração de resíduos é a agricultura, área importante para economia brasileira. Com a expansão agrícola, houve um aumento na geração de resíduos, estes materiais gerados em grandes quantidades no Brasil podem acumular-se de forma desordenada e causar problemas ambientais.

A destinação dos resíduos lignocelulósicos provenientes tanto da indústria madeireira como da produção agrícola é um problema ambiental em muitas regiões do Brasil, ocasionando danos às vezes irreparáveis nos recursos hídricos e no solo.

Os painéis reconstituídos podem ser uma alternativa de aproveitamento simultâneo de resíduos provenientes desses dois setores. Dentre os resíduos que vem sendo estudados como constituintes de painéis aglomerados, pode-se citar o bagaço de cana de açúcar, casca de aveia, sabugo de milho, casca de amendoim, casca de semente de girassol e casca de café.

Nesse contexto destacam-se os resíduos agrícolas carpelo de noz macadâmia, pergaminho de café e caule de mamoeiro; materiais provenientes de culturas de importância econômica para o estado do Espírito Santo.

Assim, o estudo da utilização de resíduos lignocelulósicos provenientes de atividades agrônomicas, na produção de painéis aglomerados, surge como uma alternativa que minimiza a extração de madeira e reduz a poluição ambiental.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Caracterizar painéis aglomerados confeccionados com madeira de eucalipto em mistura com resíduos da atividade agroindustrial.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar química e fisicamente os resíduos lignocelulósicos: caule de mamoeiro, carpelo de noz macadâmia e pergaminho de café;
- Analisar as propriedades físicas e mecânicas em painéis aglomerados confeccionados com diferentes proporções de resíduos lignocelulósicos em dois adesivos;
- Avaliar a emissão de formaldeído nos painéis aglomerados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

O Brasil possui terras que propiciam a prática da agricultura, grande extensão territorial associada ao clima favorável e oferta abundante de sol e água, esses fatores contribuem para que o país seja um dos maiores produtores agrícolas mundiais (OCDE - FAO, 2015).

A agricultura é um setor da economia importante para o crescimento econômico do Brasil, já que gera uma receita de valor significativo. No período entre 1996 e 2006, as colheitas aumentaram seu valor em mais de quatro vezes, passando de R\$ 23 bilhões para R\$ 108 bilhões. Já no ano de 2011, o agronegócio respondeu por mais de 38% das exportações brasileiras e por R\$ 131,75 bilhões do superávit comercial, colocando o Brasil como quinto maior produtor agrícola do mundo, com produção somando cerca de R\$ 170 bilhões (ÍCONE, 2013).

A produção agrícola brasileira teve um importante papel para a economia do país na última década (OCDE - FAO, 2015). Com a expansão agrícola, houve um aumento na geração de resíduos, estes materiais gerados em grandes quantidades no Brasil podem acumular-se de forma desordenada e causar problemas ambientais (IPEA, 2012).

Uma forma de reutilizar esses resíduos é utilizando-os como produtos em outros ramos industriais, como energia e painéis aglomerados. Entres as culturas que geram grande quantidade de resíduos pode-se citar a produção de noz macadâmia, café e mamão.

2.1.1 Carpelo de noz macadâmia

A noqueira macadâmia é uma planta frutífera pertencente à família das Proteaceae, nativa das florestas tropicais da costa da Austrália. Foram identificadas 10 espécies pertencentes a esta família, mas apenas duas são cultivadas comercialmente no Brasil, *Macadamia tetraphylla* e *Macadamia integrifolia* (KAIJSER et al., 2000; NAGAO, 2011).

A espécie *M. integrifolia* é a mais cultivada, caracterizada como uma espécie arbórea, perene de médio a grande porte, sua altura pode variar entre 10 a 20 metros. O fruto é globoso, composto pelo carpelo (casca externa) de coloração

verde escura e a amêndoa (núcleo) envolta por uma casca muito rígida de cor castanha; o núcleo comestível (a castanha) pode apresentar uma coloração variável, desde creme a amarelado (SOBIERAJSKI et al., 2006) (Figura 1).

Figura 1. Características do fruto e da noz macadâmia



Fonte: Piza e Moriya (2014).

Os frutos ao amadurecerem caem no chão, de onde podem ser colhidos, não sendo necessário realizar colheita mecanizada. Em 2013, o Brasil possuía 6.500 hectares plantados da espécie *M. integrifolia*, divididos entre os estados de São Paulo (46%), Espírito Santo (15%), Minas Gerais (13%), Bahia (8%), Rio de Janeiro (8%) e algumas regiões do norte Mato Grosso (8%) e Paraná (2%) (ABM, 2013).

O parque de processamento no Brasil é formado por três unidades de médio porte, que juntas beneficiam 79% da safra brasileira e vinte de pequeno porte. Em 2012, o país produziu 1.100 toneladas de amêndoas de macadâmia, 62,5% para exportação e 37,5% para o mercado interno (PIZA; MORIYA, 2014).

O Espírito Santo é o segundo maior produtor de noz macadâmia do país, quase 98% da produção do estado é exportado para países como Estados Unidos e China. No município de São Mateus, são aproximadamente 500 hectares de área plantada, sendo comercializado cerca de 800 toneladas por ano (GLOBO RURAL, 2011).

Para a produção de uma tonelada de noz macadâmia, são gerados aproximadamente 70% de resíduos de casca ou carpelo (taxa de retorno de 30%),

que geralmente são usados em jardins e na produção de mudas, e também na geração de energia (PENONI et al., 2010). As características físicoquímica de carvões produzidos a partir da biomassa residual de noz macadâmia (epicarpo ou casca) foram avaliadas por Maia et al. (2012), com resultados de rendimentos em carvão acima de 30% e teor de carbono acima de 70%, mostrando ser este uso promissor.

A utilização da casca de noz macadâmia na produção de painéis de partículas com madeira de eucalipto foi estudada por Ferreira (2013), testando quatro composições de partículas, 0%, 30%, 60% e 100% de casca. Este autor estudou a razão de esbeltez das partículas e as propriedades físico-mecânicas dos painéis.

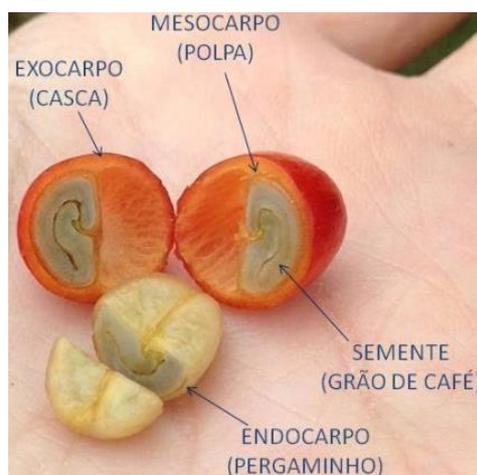
O autor observou que com a adição de casca de noz macadâmia, ocorreu diminuição da resistência mecânica, tanto em relação a adesão interna quanto ao módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE), e maior instabilidade dimensional, uma vez que ocorreu o aumento do inchamento em espessura e da absorção de água. A geometria das partículas não permitiu uma boa interação entre o substrato e o adesivo, assim como a alta densidade da casca (1,3 g/cm³) de noz macadâmia, o que dificultou a compactação do painel.

2.1.2 Pergaminho de café

O café é uma planta pertencente à família Rubiaceae, gênero *Coffea*; existindo cerca de 90 espécies descritas, mas somente 25 são exploradas comercialmente. No mercado mundial apenas quatro têm importância econômica, sendo estas o *Coffea arabica*, conhecido como arábica; *Coffea canephora*, conhecido como robusta ou conillon; e em menor escala o *Coffea liberica* e *Coffea dewevrei*, que correspondem ao café libérica e excelsa, respectivamente (SOUZA et al., 2004).

O fruto do cafeeiro é formado pelo grão ou semente e pelo pericarpo, sendo este último o conjunto de estruturas que envolvem a semente (Figura 2). No café ele está nitidamente diferenciado em exocarpo (casca), mesocarpo (mucilagem) e endocarpo (pergaminho). A colheita no cafezal é feita com o fruto vermelho, chamado de cereja. Dos frutos, extrai-se a polpa e a casca, aproveitando apenas o café verde (grão) (UFES, 2012).

Figura 2. Morfologia do fruto do cafeeiro



Fonte: wordpress, 2015.

A produção de café no Brasil para o ano de 2015 foi estimada em 2,6 milhões de toneladas ou 43,9 milhões de sacas de 60 kg. A produção da espécie arábica correspondeu à 1,9 milhão de toneladas, enquanto a produção da robusta foi de 702 mil toneladas (IBGE, 2015).

Em 2014, houve queda significativa na produção de café arábica (espécie adaptada ao clima frio) em função do clima excessivamente quente e seco, principalmente no sul do estado de Minas Gerais e São Paulo. O Espírito Santo é o principal produtor de café canéfora (de clima quente e úmido) no Brasil, com participação de 69,5% do total. No ano de 2014, o estado do Espírito Santo registrou uma safra recorde de 596,2 mil toneladas, já para o ano de 2015 aguarda uma produção de 488,2 mil toneladas, com uma redução de 18,1% (IBGE, 2015).

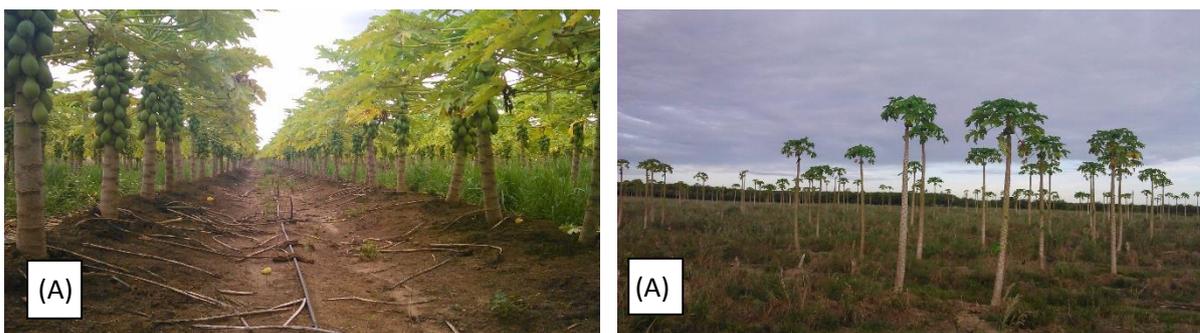
O rendimento do beneficiamento do café depende da variedade. De acordo com Sfredo (2006), do beneficiamento da variedade acaiaí, obtém-se uma quantidade de casca de aproximadamente 60% em massa, da variedade mundo novo, 53,4% e da variedade catuaí, 48,5%, sendo estas pertencentes a espécie arábica.

Propriedades físicas de painéis aglomerados confeccionados com casca de café e partículas de *Eucalyptus urophylla* apresentam relação linear decrescente com o aumento do teor de resina, e crescente com a incorporação de casca de café, culminando com maiores valores de absorção de água e inchamento em espessura (MENDES et al., 2010).

2.1.3 Caule do mamoeiro

O mamoeiro é uma planta de crescimento rápido pertencente à família Caricaceae; fazem parte desta família 31 espécies divididas em cinco gêneros: *Carica*, *Jacaratia*, *Jarilla*, *Horovitzia* e *Vasconcella*. A planta cresce como monocaule com uma coroa de folhas grandes palmadas emergindo do seu ápice, porém, pode tornar-se multi-caule quando é acometida por injúrias; o seu caule é cilíndrico, mole e oco, varia de 30 cm de diâmetro na base e cerca de 5 cm de diâmetro na coroa (Figura 3). As plantas podem chegar a 10 metros de altura, mas em cultivo, elas geralmente são cortadas quando atingem alturas que dificultam a colheita dos frutos (RIGOTTI, 2011).

Figura 3. Lavoura de mamão irrigado cultivado no norte do Espírito Santo em plena safra (A) e no final de safra (B)



A plantação mundial de mamão representa 10% de toda produção mundial de frutas tropicais, girando em torno de 8 milhões de toneladas, das quais 39% são produzidas na América Latina e no Caribe. Os principais produtores mundiais são o Brasil, México, Nigéria, Índia e Indonésia, enquanto os maiores exportadores são o México e a Malásia. (FAO, 2012).

Em 2014, as exportações brasileiras de mamão cresceram 17,9%, totalizando 33.688 toneladas da fruta, o que gerou uma receita superior a R\$ 141 milhões. A elevação das exportações nacionais pode ser creditada ao destaque do Rio Grande do Norte que exportou 7.156 toneladas. O Estado alcançou o segundo lugar no *ranking* dos estados exportadores superando a Bahia com 6.966 toneladas. O maior exportador da fruta continua sendo o Espírito Santo que, em 2014, comercializou no exterior 12.911 toneladas de mamão (BRAPEX, 2015). Ainda não há estudos para o

reaproveitamento do caule do mamoeiro na fabricação de painéis de partículas, sendo este resíduo geralmente incorporado ao solo.

2.2 PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE PAINÉIS AGLOMERADOS COMPOSTOS POR DIFERENTES MATERIAIS LIGNOCELULÓSIOS

A principal fonte de matéria-prima na fabricação de painéis aglomerados no Brasil se constitui em madeira de florestas plantadas, principalmente pinus e eucalipto. Existem no Brasil 18 unidades produtoras de painéis de madeira reconstituída e/ou pisos laminados (Figura 4), sendo que a maior parte está localizada nas regiões Sul e Sudeste do País (IBÁ, 2015). A primeira fábrica de painéis, para produção de MDF, no Espírito Santo (Placas do Brasil S/A) está sendo instalada no município de Pinheiros, na região norte do estado, com expectativa de início da produção para o ano de 2018 (GAZETAONLINE, 2016).

Figura 4. Distribuição geográfica das unidades produtoras de painéis de madeira e pisos laminados



Fonte: IBÁ, 2015.

A indústria de painéis de madeira é um segmento que pode ser caracterizado como consumidor de resíduos, que são usados como parte da matéria-prima necessária para fabricação de painéis reconstituídos, sobretudo *Medium Density Fiberboard* – MDF (placa de fibra de média densidade), *Medium Density*

Particleboard – MDP (painel aglomerado constituído de partículas de madeira) e chapas duras (WIECHETECK, 2009). Conforme já mencionava Wiecheteck (2009), o mercado de painéis que utiliza resíduos lignocelulósicos como constituinte de produto manufaturado, sobretudo nas regiões sul e sudeste do país, ainda busca se consolidar.

Assim, torna-se necessário constantes pesquisas por novas fontes de matérias-primas, com o intuito de reduzir a demanda de madeira na produção de aglomerados de partículas.

A utilização de resíduos da casca de amendoim, com o intuito de agregar valor a este material, por meio da fabricação de painéis de partículas aglomeradas com resina ureia-formaldeído é viável, segundo Gatani et al. (2013). De acordo com estes autores, as propriedades físico-mecânicas avaliadas indicam que o material apresenta um potencial de utilização em ambientes internos de residências, construções agrícolas e nos setores moveleiro e decorativo, para aplicação como revestimento de superfícies.

A utilização do sabugo do milho para a produção de painéis aglomerados de partículas foi avaliada por Scatolino et al. (2013). Os autores usaram diferentes percentuais deste material, em associação com partículas de madeira de *Pinus oocarpa*. O aumento da substituição do pinus por resíduo de espiga do milho promoveu melhorias significativas nas propriedades de absorção de água após duas horas de imersão e no inchamento em espessura, após 2 e 24h de imersão. De forma geral, a incorporação do sabugo do milho não afetou as propriedades físicas dos painéis, apesar de ter influenciado as propriedades mecânicas.

A utilização de fibras (epicarpo) de babaçu (*Orbignya* spp.) em combinação com partículas de *Pinus elliottii* em diferentes proporções na confecção de chapas de madeira aglomerada com dois teores de adesivo à base de ureia formaldeído foi estudado por Lima et al. (2006). Os resultados permitiram inferir que o acréscimo de fibras, associado ao aumento no teor de adesivo, contribuiu para a redução nos valores de inchamento em espessura e absorção de água. O uso de maior teor de adesivo, de 6 para 8%, foi fundamental para a melhoria das propriedades inchamento em espessura, absorção em água, módulo de ruptura e módulo de elasticidade.

Ao estudarem o efeito da associação de bagaço de cana, tipo e teor de adesivo nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados com madeira de *Pinus* sp, Mendes et al. (2009a) concluíram que para a porcentagem de associação deste resíduo, nas propriedades em que foi observado efeito significativo, a tendência foi de diminuição da qualidade dos painéis à medida que se aumentou a proporção de resíduo.

As propriedades físico-mecânicas de aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira de *Eucalyptus grandis* e bambu (*Bambusa vulgaris*) foram estudadas por Melo et al. (2015) utilizando o adesivo ureia formaldeído com a adição de 0, 25, 50, 75 e 100% de bambu. O acréscimo das partículas de bambu proporcionou uma redução significativa na qualidade das chapas para os parâmetros avaliados, apresentando uma maior absorção de água e uma menor resistência à flexão estática e ao arrancamento de parafuso.

O uso de resíduos originados da produção de compensados, MDF e MDP para fabricação de aglomerados foi avaliado por Weber e Iwakiri (2015) ao utilizarem as proporções de 100%, 50-50% e 33-33-33% de resíduos, respectivamente. As avaliações gerais dos resultados das propriedades físicas e mecânicas (densidade, absorção de água e inchamento em espessura, flexão estática, arrancamento de parafuso e tração perpendicular à superfície) dos painéis indicaram a viabilidade técnica de uso desses resíduos na forma pura e misturadas, para produção de aglomerados.

2.3 CARACTERÍSTICAS DAS PARTÍCULAS QUE AFETAM A QUALIDADE DOS PAINÉIS AGLOMERADOS

Vários fatores podem interferir na qualidade dos painéis aglomerados, dentre as variáveis inerentes às partículas pode-se destacar a densidade; o teor de extrativos, lignina e cinza; o pH e a capacidade tampão.

A relação entre a densidade do painel e a densidade do material lignocelulósico, denominada de razão de compactação (MOSLEMI, 1974; MALONEY, 1993), pode interferir nas propriedades dos painéis aglomerados. A densificação do material para consolidação do painel até a espessura final é influenciada pela sua densidade; a baixa densidade dos materiais lignocelulósicos e o conseqüente acréscimo na razão de compactação contribuem para o aumento das

propriedades mecânicas e a redução das propriedades físicas dos painéis resultantes (IWAKIRI et al., 2014).

O teor de extrativos presente na matéria-prima também pode dificultar o contato do adesivo com a madeira, durante o processo de cura do adesivo (IWAKIRI, 2005). Espécies que possuem altos teores de extrativos dão origem a painéis cuja colagem é menos eficiente e com qualidade inferior, quando comparadas às espécies que possuem baixo teor de extrativos. Esse composto também pode influenciar o tempo de prensagem, uma vez que dificulta a passagem da água e retarda a sua taxa de evaporação (MALONEY, 1993).

A madeira da maioria das espécies florestais madeireiras apresenta um comportamento ácido (ALBUQUERQUE, 2005). Variações de pH e capacidade tampão comprometem a cura e a solidificação do adesivo, pois estes processos ocorrem apenas em faixas relativamente estreitas de pH (PEDRO BOM, 2008).

Em painéis aglomerados, a adição de materiais lignocelulósicos com maior teor de lignina proporciona maior resistência à compressão (BUFALINO et al., 2012a).

O teor de cinzas determina a quantidade de substâncias inorgânicas, presentes na madeira, que são constituídas por metais e minerais, sendo estes basicamente sulfatos, oxalatos, carbonatos e silicatos; cálcio, potássio, magnésio e manganês (REN e SUN, 2010).

2.4 FATORES DO PROCESSAMENTO QUE AFETAM A QUALIDADE DOS PAINÉIS RECONSTITUÍDOS DE MADEIRA

A qualidade dos painéis de madeira está associada aos parâmetros de processamento que interferem nas suas propriedades físicas e mecânicas. Dentre esses fatores destacam-se a massa específica dos painéis, a compactação, tipo e conteúdo de adesivo, teor de parafina, dimensão e umidade das partículas, matéria-prima, temperatura e tempo de prensagem, e pressão específica (MALONEY, 1993). Visando melhorar a qualidade dos painéis de madeira deve-se manter um padrão de controle desses fatores.

A influência da massa específica do aglomerado sobre suas propriedades mecânicas foi avaliada por Iwakiri et al. (2008) ao produzirem painéis com densidade de 0,60, 0,70, 0,80 e 0,90 g/cm³, utilizando partículas de *Pinus spp.* e resina ureia

formaldeído como aglutinante. Os valores médios obtidos para módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) em flexão estática, ligação interna e MOR em compressão paralela foram superiores para painéis com maiores densidades. O aumento na densidade específica do painel para valores em torno de $0,80 \text{ g/cm}^3$ resultou em incremento proporcionalmente superior no valor médio das propriedades mecânicas dos painéis. Esse resultado indica viabilidade de fabricação de aglomerados com densidade acima de $0,80 \text{ g/cm}^3$ para aplicações que requeiram alta resistência mecânica.

A qualidade de aglomerados fabricados com resíduos da madeira de *Eucalyptus saligna*, resultantes da picagem das toras para a confecção de cavacos utilizados na produção de celulose, foi estudada por Pedrazzi et al. (2006). As chapas foram produzidas com dois tipos de resíduos, palitos e serragem, sendo utilizados puros. Os valores obtidos das propriedades de flexão estática, ligação interna e arrancamento de parafusos aumentaram com a maior densidade da chapa, assim como o teor de adesivo, independentemente do tipo de resíduo.

O aumento da pressão de prensagem faz com que o inchamento e absorção de água diminuam, uma vez que reduz os espaços vazios do painel, dificultando a entrada de água e aumentando a área superficial de contato entre partículas, o que proporciona interação mais eficiente entre a matéria-prima e adesivo, melhorando assim as suas propriedades mecânicas (NEGRI, 2013).

Ao estudarem a influência de algumas variáveis de processamento na umidade de equilíbrio de painéis particulados, Mendes et al. (2009b) afirmam que esta é afetada pela temperatura de prensagem e, interação entre a temperatura e o tempo de prensagem. A retenção de água nos painéis, de acordo com Silva et al. (2006) é influenciada de forma significativa pelo teor de adesivo, pela temperatura e pelo tempo de prensagem das partículas quando na formação do painel aglomerado.

A qualidade de painéis aglomerados homogêneos e em multicamadas produzidos com madeira de *Melia azedarach* (Cinamomo) e *Pinus taeda* foi avaliada por Iwakiri et al. (2012) utilizando diferentes teores de resina. Os autores observaram que o aumento no teor de resina das camadas interna e externa melhorou as propriedades de absorção de água e inchamento em espessura. Entretanto, as propriedades mecânicas não foram afetadas.

O desenvolvimento de painéis aglomerados fabricados com bagaço de cana de açúcar, pinus e eucalipto encolados com ureia formaldeído e melanina formaldeído, com e sem parafina na formulação foi objeto de estudo por Barros Filho et al. (2011). Os principais resultados indicaram que os valores de tensão nos testes de ligação interna para os painéis produzidos são influenciados pelo tipo de matéria-prima.

As propriedades de painéis aglomerados produzidos com partículas de eucalipto em associação com cavacos na presença de casca foram estudadas por Soratto et al. (2013). Os resultados experimentais demonstraram que o teor de cavaco com casca na produção dos painéis aglomerados não contribuiu para modificar significativamente as propriedades físicas e mecânicas analisadas, exceto para absorção e inchamento. O resultado demonstrou-se satisfatório, logo, significa que o resíduo industrial pode ser adicionado no processo fabril para a produção de painéis, sem alterar de forma significativa os mesmos. Para melhores resultados, os autores sugerem a utilização de um maior teor de adesivo, ou um aumento na pressão de prensagem.

A inserção progressiva de casca de aveia (*Avena sativa*) foi responsável pelo aumento do MOR, destacando-se a composição 100% com casca de aveia, em trabalho realizado por Varanda et al. (2013), em painéis aglomerados mistos com partículas de madeira de *Eucalyptus grandis* com 10% de adesivo.

O acréscimo do percentual da casca de arroz em aglomerados de madeira (*Eucalyptus grandis*) gerou menor estabilidade dimensional e resistência mecânica aos mesmos, segundo Melo et al. (2009). Embora a utilização desse resíduo proporcione uma redução nos parâmetros qualitativos dos painéis, com a adição de um baixo percentual de casca (até 10%) pode ser possível a produção de chapas aglomeradas com propriedades físico-mecânicas similares àquelas confeccionados exclusivamente com partículas de madeira.

Em painéis aglomerados produzidos a partir de partículas de madeira de sequoia e pinus com resina ureia formaldeído em diferentes proporções de mistura das duas espécies, Iwakiri et al. (2014) concluíram que a baixa densidade da madeira e o conseqüente acréscimo na razão de compactação contribuíram para o aumento das propriedades mecânicas e a redução das propriedades físicas dos painéis resultantes.

Ao compararem as propriedades físicas (densidade e umidade) e mecânicas (resistência à flexão e ligação interna) de aglomerados fabricados com resina derivada óleo de mamona e fibras de cambará, canelinha e cedrinho, Silva et al. (2012) concluíram que a umidade das partículas (5%) não prejudicou a homogeneidade da mistura.

Painéis aglomerados confeccionados com resíduos de *Pinus elliottii* utilizando as partículas do tipo maravalha misturadas com maiores percentagens de adesivo e maiores densidades, apresentam valores mais elevados para a propriedade flexão estática (DA COSTA et al., 2005a).

A estabilidade dimensional de aglomerados de resíduos de *Pinus elliottii* (maravalha e cavaco) foi estudada por Da Costa et al. (2005b), que observaram que o uso de maravalhas, independentemente da densidade ou do teor de adesivo, resultou em menor inchamento quando comparado ao cavaco, ou com a mistura dos dois resíduos. A variável, que exerceu maior influência na absorção de água e no inchamento em espessura, foi o teor de adesivo.

Outra variável no processo produtivo da fabricação de painéis aglomerados é o teor de parafina, que de acordo com Guimarães Junior et al. (2013), proporciona melhoria na estabilidade dimensional, uma vez que reduz os percentuais de absorção de água e inchamento em espessura, havendo ainda um aumento da resistência à compressão. Na avaliação das propriedades de flexão estática (módulo de elasticidade e módulo de ruptura) e tração perpendicular (ligação interna) não foram observadas variações significativas de seus valores com o aumento de teores de parafina.

2.5 UTILIZAÇÃO DE ADESIVOS EM PAINÉIS RECONSTITUÍDOS DE MADEIRA

As principais resinas utilizadas na indústria madeireira são a base de formaldeído, como a ureia (UF), o fenol (FF) e o resorcinol (RF). As vantagens de se usar a UF são a solubilidade em água, dureza, não inflamável, boas propriedades térmicas e ausência de cor no polímero curado, no entanto apresenta alta higroscopicidade (PIZZI e MITTAL, 2003). Uma aplicação muito importante para este adesivo é na fabricação de painéis aglomerados; visando melhorar as suas propriedades, são adicionados inseticidas, emulsão de cera e agentes de retardamento de fogo (IWAKIRI, 2005).

O aumento no teor de resina das camadas interna e externa em painéis homogêneos e em multicamadas melhoram as propriedades de absorção de água e inchamento em espessura (IWAKIRI et al., 2012).

O adesivo fenólico de origem natural mais utilizado no setor madeireiro consiste no tanino (PIZZI; MITTAL, 2003). Quando no uso de resinas fenólicas para fabricação de painéis aglomerados, a maior atenção deve ser na aplicação da resina se comparado com a formulação. O tempo de prensagem varia de acordo com o tipo de adesivo, sua reatividade e teor de umidade das partículas (MALONEY, 1993).

O adesivo a base de tanino proporciona maior resistência à umidade, no entanto possui a desvantagem de possuir alta viscosidade, dificultando o processo de colagem (PIZZI; MITTAL, 2003; TOSTES et al., 2004; SOUZA, 2006).

A influência da adição de diferentes níveis de tanino de *Acacia mearnsii* em uma resina comercial à base de ureia formaldeído nas propriedades físicas e mecânicas de chapas aglomeradas foi estudada por Gonçalves et al. (2008). Por meio dos ensaios, os autores observaram que é possível adicionar tanino ao adesivo comercial sem prejudicar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis (inchamento em espessura, flexão estática e ligação interna), mesmo com a máxima adição de tanino (30%).

O aproveitamento do tanino da casca de *Eucalyptus pellita* como substituto parcial da resina sintética ureia formaldeído foi pesquisado por Tostes et al. (2004) para produção de painéis de madeira aglomerada. A adição de extrato tânico na resina sintética mostrou-se adequada para fabricação de painéis de madeira aglomerada.

2.6 EMISSÃO DE FORMALDEÍDO EM PAINÉIS RECONSTITUÍDOS DE MADEIRA

Os adesivos a base de formaldeído em seu estado curado não são tóxicos, no entanto o formol e o formaldeído livres são altamente reativos e podem ser maléficos ao homem. A liberação de formaldeído dos aglomerados pode ocorrer devido a presença de formaldeído livre no painel ou sua emissão sob influência da temperatura e umidade relativa elevadas (MALONEY, 1993).

A emissão de formaldeído em painéis aglomerados pode ser avaliada pela extração do formaldeído utilizando os métodos *perforator*, câmara de gás, dessecador e frasco (EUROPEAN STANDARD- EN, 1992; EN, 1993; EN, 1995).

A norma europeia EN 717-2 (1995) descreve o método chamado *Gas Analysis*, que utiliza uma câmara com ar circulante (gás), e se baseia em absorção do formaldeído emitido pelo painel, em meio aquoso. A extração pelo método dessecador e frasco baseia-se na absorção em meio aquoso do gás formaldeído emitido. A extração consiste em se manter corpos de prova na presença de água deionizada (sem contato direto) em ambiente hermeticamente fechado (EN 717, 1996). Enquanto que a extração *perforator* baseia-se na extração do formaldeído livre de um corpo de prova do painel de madeira aglomerada, por meio da utilização de tolueno (EN 120, 1992).

O teor de formaldeído livre em painéis aglomerados confeccionados com diferentes percentagens de fibras de eucalipto e partículas de bagaço de cana-de-açúcar foi analisado por Belini et al. (2015) usando o método *perforator*. Os autores verificaram que o aumento do percentual de partículas de bagaço de cana-de-açúcar, associado à matriz fibrosa de eucalipto, promoveu redução no teor de formaldeído livre em até 4,6 mg/100g, cerca de 21%.

A adição de extrato tânico na resina ureia formaldeído diminui a emissão de formaldeído em painéis reconstituídos de madeira ao longo do tempo, proporcionais à quantidade de tanino adicionado (PIZZI, 2003). O aumento do teor de umidade em aglomerados coladas com adesivo tanino formaldeído pode provocar uma diminuição no teor de formaldeído livre (ROFFAEL, SCHNEIDER e DIX, 2015).

Ao investigarem o efeito da incorporação dos aditivos tanino, casca de arroz e carvão vegetal na redução da emissão de formaldeído em painéis aglomerados usando como aglutinante a resina ureia formaldeído Eon et al. (2006) constataram que o nível de emissão de formaldeído diminuiu com o aumento desses aditivos na composição das chapas, com exceção da casca de arroz.

Em estudo realizado por Wang et al. (2004) a mistura da resina ureia formaldeído com difenilmetano diisocianato (UF-PMDI) reduziu significativamente o teor de formaldeído livre em painéis aglomerados. Os autores observaram uma redução de 35-60 mg de formaldeído para menos de 10 mg em 100g de chapa. Zhang et al. (2010) também observaram a redução da emissão de formaldeído em painéis aglomerados fabricados com madeira de eucalipto e palha de trigo usando como aglutinante a resina ureia em mistura com emulsão de difenilmetano

diisocianato (EPU). Os autores constataram uma redução de cerca de 44% do teor de formaldeído livre, quando substituído 30% da resina UF por EPU.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 OBTENÇÃO E PREPARO DO MATERIAL LIGNOCELULÓSICO

As matérias-primas utilizadas para realização do experimento, consistiram em madeira de eucalipto e resíduos lignocelulósicos agrícolas.

As partículas de madeira foram obtidas a partir de toras de *Eucalyptus urophylla* x *grandis* com sete anos de idade, coletadas em uma propriedade no município de Alegre, sul do estado do Espírito Santo. Os resíduos agrícolas, caule de mamoeiro e carpelo de noz macadâmia foram provenientes de propriedades produtoras de mamão papaya (*Carica papaya*) e noqueira macadâmia (*Macadamia integrifolia*) localizadas no município de São Mateus, norte do estado do Espírito Santo; e o pergaminho de café, de uma propriedade produtora de café arábica (*Coffea arabica*) localizada no município de Dores do Rio Preto, sul do Estado do Espírito Santo. Todas as espécies de importância econômica no estado do Espírito Santo (Figura 5).

Figura 5. Resíduos agroindustriais sem processamento prévio: A – caule de mamoeiro, B – carpelo de noz macadâmia, C – pergaminho de café



Os diferentes tipos de resíduos lignocelulósicos coletados, assim como os fragmentos de madeira de eucalipto obtidos a partir do desempenho de peças brutas, foram secos ao ar até atingirem o teor de umidade de equilíbrio; posteriormente reduzidos a partículas em moinho de martelo e classificados em peneira de malha 4,0mm, para obter as partículas adequadas à produção dos painéis aglomerados, sendo utilizadas aquelas que ficaram retidas em peneira de malha 2,0mm. Posteriormente, foram secas em estufa a $80\pm 2^{\circ}\text{C}$ até atingirem o teor de umidade pré-estabelecido de 5%.

3.1.1 Caracterização física dos materiais lignocelulósicos

A densidade básica da madeira de eucalipto foi determinada por meio do método da balança hidrostática, utilizando cunhas opostas entre si, retiradas a partir do disco do DAP (1,30m do solo). Determinou-se o volume saturado da madeira e em seguida as cunhas foram secas em estufa a 103 ± 3 °C até atingirem massa constante, obtendo-se assim a massa seca.

A densidade dos resíduos lignocelulósicos caule do mamoeiro, carpelo de noz macadâmia e pergaminho do café foi obtida por meio do método da densidade a granel. A biomassa dos resíduos foi saturada em água, posteriormente determinou-se o volume saturado de cada material e a massa foi seca em estufa à 103°C até atingir peso constante. A densidade a granel foi determinada por meio da razão entre massa seca e o volume saturado. Foram realizadas 5 repetições.

3.1.2 Caracterização química dos materiais lignocelulósicos

Os materiais lignocelulósicos (madeira de eucalipto, carpelo da noz macadâmia, pergaminho de café e caule do mamoeiro) foram analisados quanto ao pH e capacidade tampão (Almeida, 2009), extrativos (TAPPI, 1996), lignina (GOLDSCHIMILD, 1971; GOMIDE; DEMUNER, 1986) e cinzas (ABTCP, 1977), propriedades importantes de serem conhecidas para confecção de painéis à base de madeira.

Para determinação do pH e da capacidade tampão solubilizaram-se 5g de partículas de cada material (madeira de eucalipto, carpelo de noz macadâmia, pergaminho de café e caule do mamoeiro) na base seca, em 150 mL de água destilada, sob refluxo (100 °C) por 20 minutos, e à temperatura ambiente (25°C), por 24 horas. Para tanto utilizaram-se partículas moídas em moinho tipo *Willey* que ficaram retidas na peneira de 60 meesh.

Em seguida foram colocados em um Becker, 50 mL de extratos aquosos, mantidos sob agitação. Após calibração do pH-metro digital com soluções tampão 4 e 7 obteve-se o pH inicial da solução, posteriormente, os extratos foram titulados com solução de NaOH 0,001N até pH 7 para determinação da capacidade tampão ácida em mmol/L, em seguida transformados em mmolNaOH/5g. Realizaram-se cinco repetições para cada análise.

Os materiais lignocelulósicos foram triturados em um moinho de facas tipo *Willey*, utilizando-se as partículas que ficaram retidas na malha 60 meesh, para determinação do teor de extrativos, conforme descrito pelo método T204 om-88. Utilizaram-se 2,0 gramas de amostras de cada material em extrator soxhlet com solução de tolueno: etanol (2:1) durante 5 horas e álcool por 4 horas; e posteriormente água quente por 1 hora. O teor de extrativos foi obtido a partir da diferença entre a massa inicial do material antes e depois de passar pelo processo de extração, considerando-se a quantidade de partículas (base seca) empregada na extração, em porcentagem.

As análises do teor de cinzas foram realizadas conforme o método M11-77, por meio de 5,0 gramas de material à uma temperatura de 500°C em mufla elétrica.

Para determinação do teor de lignina insolúvel utilizou-se o filtrado das amostras que foram sujeitas ao processo de determinação do teor de extrativos em água quente. Pesou-se o equivalente a 0,3 g de amostra, sendo submetida à hidrólise com ácido sulfúrico a 72% por 60 minutos ($30 \pm 1^\circ\text{C}$), posteriormente foi autoclavada por 60 minutos e filtrada. A lignina insolúvel corresponde ao sólido retido após filtração, determinada pela razão entre a massa da amostra filtrada e a massa absolutamente seca.

O líquido usado para lavar e filtrar o conteúdo foi utilizado para determinação da lignina solúvel, por meio de análise em espectrofotômetro. O teor de lignina total foi determinado por meio da soma dos percentuais solúvel e insolúvel. Todas as análises foram realizadas utilizando-se cinco repetições para cada tipo de partícula.

3.2 PRODUÇÃO DOS PAINÉIS AGLOMERADOS

3.2.1 Caracterização físico-química dos adesivos

Para a produção dos painéis aglomerados, foi utilizado o adesivo ureia formaldeído e tanino comercial em forma de pó, sendo este extraído de cascas de *Acacia mearnsii* de Willd.

As propriedades do adesivo ureia formaldeído puro e alterado com 10% de tanino diluído em água na proporção 1:1 consistiram em teor de sólidos, pH, densidade, viscosidade e tempo de gel. Realizaram-se cinco repetições para cada análise.

A determinação do teor de sólidos (%) nas resinas foi realizada com base na relação peso seco (g) e úmido (g), após a homogeneização. Utilizaram-se amostras de aproximadamente 2,0 g de adesivo, levadas à estufa sob temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 12 horas.

A viscosidade dos adesivos foi determinada de acordo a norma D-1084 (ASTM, 1998), por meio de viscosímetro digital, com o resultado expresso em centipoise (cP), utilizando a haste 2.

O tempo de gel da resina ureia pura e em mistura com tanino foi determinado conforme descrito por Brito (1995), pela obtenção do valor do teor de sólidos dos adesivos. Utilizou-se o catalisador sulfato de amônia a 24% em proporção de 2% sobre o teor de sólidos para a ureia formaldeído. Posteriormente, a mistura (1g de adesivo) foi colocada em um tubo de ensaio, e homogeneizada com bastão de vidro em banho-maria, à temperatura de 90°C até o ponto de endurecimento, conhecida como fase gel, cronometrando-se o tempo em segundos.

A determinação do pH dos adesivos foi realizada por meio de um pHmetro digital. A medição foi feita à temperatura ambiente (25°C), e o pHmetro calibrado a pH 4 e 7, utilizando-se soluções tampão padronizadas. O valor do pH foi registrado após um tempo aproximado de 4 minutos de contato do eletrodo com a solução.

A densidade dos adesivos foi determinada pesando-se uma certa quantidade deste fluido até o volume de 25mL, para tanto utilizou-se picnômetros com esta capacidade à temperatura ambiente (25°C). A massa encontrada foi dividida pelo volume conhecido do recipiente, obtendo-se o valor da densidade em g/mL (PAES, 1997).

3.2.2 Aplicação do adesivo e prensagem do colchão de partículas

As partículas dos materiais lignocelulósicos foram pesadas no intuito de quantificar o material necessário e a resina a ser aplicada conforme cada tratamento. Visando uma razão de compactação 1,3 determinou-se previamente as densidades dos painéis aglomerados em função da sua composição (Equações 1 – 4).

$$D_p (100\% euc) = 1,3 \times D_{euc} \quad (1)$$

$$D_p (10\% res) = 1,3 \times \left[\left(\frac{D_{euc} \times 90}{100} \right) + \left(\frac{D_{res} \times 10}{100} \right) \right] \quad (2)$$

$$Dp (20\% res) = 1,3 \times \left[\left(\frac{Deuc \times 80}{100} \right) + \left(\frac{Dres \times 20}{100} \right) \right] \quad (3)$$

$$Dp (30\% res) = 1,3 \times \left[\left(\frac{Deuc \times 70}{100} \right) + \left(\frac{Dres \times 30}{100} \right) \right] \quad (4)$$

Em que: Dp = densidade do painel (g/cm^3) para cada composição; $Deuc$ = densidade da madeira de eucalipto (g/cm^3); $Dres$ = densidade do resíduo lignocelulósico (g/cm^3).

Por meio dos valores das densidades calculadas para as composições dos aglomerados quantificou-se a massa de cada material lignocelulósico e adesivo na proporção 100:12 (partícula: adesivo) necessária para fabricação dos painéis.

Após a pesagem e a separação das partículas nas quantidades adequadas, foi adicionado o adesivo (ureia pura e com adição de 10% de tanino) por meio de aspersão, usando uma pistola pneumática acoplada a um tambor rotativo. Para uma melhor homogeneização, as partículas ficaram girando até completa aplicação do adesivo.

O colchão de partículas foi desenvolvido em uma formadora laboratorial, que compreende uma caixa de madeira sem fundo com as dimensões de 42,5 cm x 42,5 cm, com tampa introduzível. Essa fôrma foi apoiada sobre uma chapa de alumínio e as partículas já encoladas foram distribuídas uniforme e manualmente no seu interior.

Após disposição das partículas, o colchão foi compactado aplicando-se uma força sobre a tampa formadora, realizando assim uma pré-prensagem. Esta ação permitiu reduzir os espaços de ar, propiciando uma melhoria na acomodação do colchão sobre a lâmina de alumínio. As chapas de alumínio com o colchão pré-prensado foram espaçadas com barras metálicas visando a produção de painéis com 10 mm de espessura.

Os painéis foram prensados em uma prensa hidráulica de pratos planos horizontais com aquecimento elétrico, da marca SOLAB® e modelo SL 12. Foram produzidos três painéis por tratamento, conforme os seguintes parâmetros:

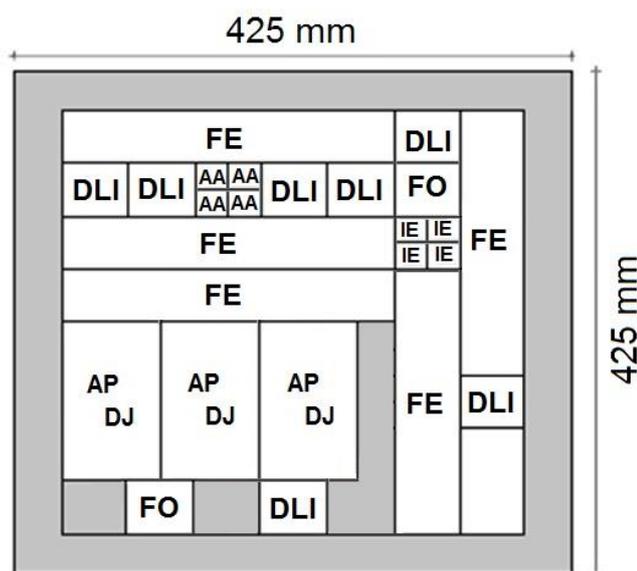
- Tempo de prensagem: 10 minutos;
- Tempo de fechamento da prensa: 30 segundos;
- Temperatura da prensa: 160°C;
- Pressão: 40 kgf/cm^2 ;

Os painéis aglomerados foram acondicionados em câmara climatizada, com temperatura $20 \pm 3^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 5\%$, até atingirem a umidade equilíbrio (mínimo de 72 horas), conforme a norma brasileira NBR 14810-3 (ABNT, 2006). Posteriormente, foram esquadrejados e acondicionados novamente em câmara climatizada. Os corpos de prova foram confeccionados segundo a referida norma para realização dos ensaios físico-mecânicos e de emissão de formaldeído.

3.3 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS E EMISSÃO DE FORMALDEÍDO DOS PAINÉIS AGLOMERADOS

Para realização dos ensaios físico-mecânicos, os painéis aglomerados foram seccionadas visando a obtenção dos corpos de prova para realização dos ensaios de densidade, absorção de água e inchamento em espessura, flexão estática, tração perpendicular (ligação interna), resistência ao arrancamento de parafuso (topo e face), dureza Janka e emissão de formaldeído. A Figura 6 ilustra a disposição em que foram retirados os corpos de prova, de cada painel fabricado, para realização dos ensaios propostos na presente pesquisa, conforme determinação da NBR 14810-3 (ABNT, 2006).

Figura 6. Disposição dos corpos de prova no painel aglomerado



FE - Flexão Estática (250 x 50 mm); FO - Formaldeído (50 x 50 mm); AP e DJ -Arrancamento de Parafuso (face e topo) e Dureza Janka (150 x 75 mm); D e LI - Densidade e Ligação Interna (50 x 50 mm); AA e IE - Absorção de Água e Inchamento em Espessura (25 x 25 mm).

3.3.1 Propriedades físicas dos painéis aglomerados

As propriedades físicas analisadas consistiram em densidade aparente; absorção de água e inchamento em espessura, após 2 e 24 horas de imersão em água à temperatura ambiente.

A densidade aparente foi determinada de acordo com a NBR 14810-3 (ABNT, 2006). De cada painel retiraram-se sete corpos de prova, com as dimensões de 50 x 50 mm, dos quais determinou-se a espessura em cinco pontos específicos e obteve-se suas respectivas massas.

Para a determinação da absorção de água e do inchamento em espessura, obtiveram-se oito amostras de cada painel com dimensões de 25 x 25mm, conforme preconiza NBR 14810-3 (ABNT, 2006). Realizou-se a medição da espessura no centro dos corpos de prova, por meio de um paquímetro de precisão de 0,01mm; posteriormente foram pesados em balança de precisão, para obtenção da sua massa.

Os corpos de prova foram imersos em água por 2 horas, medidos e pesados. Após a pesagem, foram novamente mergulhados em água até completar 24 horas de imersão, procedendo-se uma nova medição e pesagem. A absorção de água após 2h e 24 horas de imersão foi obtida de acordo com a Equação 5. Mediram-se 8 corpos de prova para cada painel, totalizando 24 repetições.

$$AA = \frac{M_f - M_i}{M_i} \times 100 \quad (5)$$

Em que: AA = Absorção de água (%); M_f = Massa final (g); M_i = Massa inicial (g).

O Inchamento em Espessura após 2 e 24 horas foi calculado de acordo com a Equação (6).

$$IE = \left(\frac{E_f - E_i}{E_i} \right) \times 100 \quad (6)$$

Em que: IE = Inchamento em espessura (%); E_f = Espessura final (cm); E_i = Espessura inicial (cm).

3.3.2 Propriedades mecânicas dos painéis aglomerados

As propriedades mecânicas avaliadas foram: resistência à ligação interna (tração perpendicular), arrancamento de parafuso, flexão estática (MOR e MOE) e dureza Janka. Os testes foram realizados em máquina universal de ensaios com capacidade de 10 ton.

Para realização do ensaio de resistência à tração perpendicular, obtiveram-se sete corpos de prova por painel (os mesmos obtidos para o ensaio de densidade aparente), nas dimensões de 50 x 50mm, baseados na NBR 14810-3 (ABNT, 2006), sendo colados com adesivo acetato de ponivinila-PVA em peças de madeira.

Os testes de arrancamento de parafuso na face e topo dos painéis foram realizados com base na NBR 14810-3 (ABNT, 2006), sendo obtidos três corpos de prova de cada painel, nas dimensões de 150 x 75 mm (9 corpos de prova por tratamento); nos mesmos corpos de prova realizou-se o ensaio de dureza Janka. Para o ensaio de flexão estática utilizaram-se cinco corpos de prova de cada painel com dimensões de 50 x 250 mm, conforme NBR 14810-3 (ABNT, 2006).

Os resultados foram ajustados para o teor de umidade padrão de 12%, conforme a ABNT (2006) pela Equação (7).

$$F_{12} = F_{U\%} \left[1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right] \quad (7)$$

Em que: F_{12} = valor do módulo no teor de 12% de umidade; $F_{U\%}$ = valor encontrado no teor de umidade ensaiado; e $U\%$ = umidade do corpo de prova no momento do ensaio.

3.3.3 Emissão de formaldeído nos painéis aglomerados

Além das propriedades físicas e mecânicas também analisou-se a emissão de formaldeído dos painéis confeccionados. Utilizaram-se amostras dos painéis fabricados com 100% de eucalipto (controle), visando verificar se a adição de extrato tânico à resina ureia pura diminuiria a emissão de formaldeído.

Para determinação da concentração do formaldeído, por espectrofotometria, foi necessário construir uma curva de calibração, onde a concentração do formaldeído foi determinada iodometricamente conforme a norma EN 120 (1992). Para a extração de formaldeído nos painéis aglomerados foi utilizado o método

conhecido como *perforator* descrito pela norma EN 120 (1992), que consiste em extração realizada a quente, sendo colocados aproximadamente 110 g de corpos-de-prova de 2,5 cm por 2,5 cm em contato com 600 mL de tolueno em balão de fundo redondo sobre manta de aquecimento acoplado na base do aparelho chamado *perforator* (Figura 7).

Figura 7. Extração de formaldeído pelo método *Perforator*



Ao atingir a temperatura do ponto de ebulição do tolueno o formaldeído presente nos corpos de prova foi extraído e os vapores foram levados até o condensador no topo do aparelho, onde se condensaram sobre um funil que possui em sua base um dispersor imerso em um litro de água destilada presente no aparelho.

Devido ao tolueno ser menos denso que a água e à maior solubilidade do formaldeído em água, este migrou das pequenas gotículas de tolueno geradas pelo dispersor para a fase aquosa. Este processo foi mantido por 2 horas contadas a partir da formação das primeiras bolhas. Ao seu término foi desligado o aquecimento, aguardando-se o resfriamento do sistema à temperatura ambiente.

O extrato foi retirado para balão volumétrico de 2000 mL, juntando-se a este a água do frasco de segurança e duas lavagens de 200 mL de água destilada cada. O

extrato final foi obtido aferindo-se o volume do balão de 2000 mL com água destilada.

A quantificação do formaldeído presente no extrato foi realizada pelo método da acetilacetona. O extrato da solução foi então analisado por método espectrofotométrico, por meio do qual o formol tendeu a uma reação quantitativamente com acetil-acetona, em meio aquoso de ácido acético e acetato de amônio (reativo de *Hantzsch*). O produto da reação, 3,5-diacetil-1,4-di-hidrolutina, absorve luz no comprimento de onda 412 nm, sendo medida em espectrofotômetro UV.

Os reagentes utilizados consistiram em tolueno, acetil-acetona, ácido acético glacial e acetato de amônio.

O resultado de cada extração foi calculado considerando a concentração de formaldeído no extrato (leitura da absorbância em espectrofotômetro), seu volume final, a massa utilizada de corpos-de-prova e o teor de umidade presente no painel, conforme a Equação 8:

$$TF = \frac{(As - Ab) \times f \times (100 + H) \times V}{m_H} \text{ mg/100g} \quad (8)$$

Em que: TF: é o teor de formaldeído expresso mg de formaldeído por 100g de painel seco; As: é a absorbância da solução do extrato analisado; Ab: é absorbância da análise com água destilada; f: é o fator de conversão da curva de calibração (em mg/ml); H: é o teor de umidade dos corpos de prova em %; m_H : é a massa da amostra em gramas; V: é o volume do balão volumétrico (2000ml).

3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial (2x9), mais dois tratamentos adicionais – controle (Quadro 1). Confeccionaram-se três painéis por tratamento.

Para avaliar o efeito dos tratamentos nas propriedades físico-mecânicas realizou-se a análise de variância (ANOVA) pelo teste F ao nível de até 5% de significância, após aplicação dos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (Cochran).

Para os casos em que houve interação significativa entre os fatores, utilizou-se o teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância para comparação das médias. No caso de diferença significativa entre a média dos tratamentos e o tratamento controle procedeu-se o teste de Dunnett ao nível de 5% de significância. Para realização das análises estatísticas foi utilizado o software *Assistat* versão 7.7 (SILVA; AZEVEDO, 2016).

Quadro 1. Composição dos painéis aglomerados

Adesivo	Composição	
Ureia Formaldeído (UF)	90% eucalipto + 10% caule de mamoeiro (CM)	
	80% eucalipto + 20% caule de mamoeiro (CM)	
	70% eucalipto + 30% caule de mamoeiro (CM)	
	90% eucalipto + 10% carpelo de noz macadâmia (CNM)	
	80% eucalipto + 20% carpelo de noz macadâmia (CNM)	
	70% eucalipto + 30% carpelo de noz macadâmia (CNM)	
	90% eucalipto + 10% pergaminho de café (PC)	
	80% eucalipto + 20% pergaminho de café (PC)	
	70% eucalipto + 30% pergaminho de café (PC)	
	100% eucalipto (Controle)	
	Tanino Ureia (TUF)	90% eucalipto + 10% caule de mamoeiro (CM)
		80% eucalipto + 20% caule de mamoeiro (CM)
		70% eucalipto + 30% caule de mamoeiro (CM)
90% eucalipto + 10% carpelo de noz macadâmia (CNM)		
80% eucalipto + 20% carpelo de noz macadâmia (CNM)		
70% eucalipto + 30% carpelo de noz macadâmia (CNM)		
90% eucalipto + 10% pergaminho de café (PC)		
80% eucalipto + 20% pergaminho de café (PC)		
70% eucalipto + 30% pergaminho de café (PC)		
100% eucalipto (Controle)		

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS

4.1.1 Densidade

A tabela 1 apresenta os valores médios de densidade da madeira de eucalipto; e dos resíduos agrícolas caule do mamoeiro, carpelo de noz macadâmia e pergaminho de café.

Tabela 1. Densidade dos materiais lignocelulósicos

Material lignocelulósico	Densidade (g/cm³)
Caule do mamoeiro (CM)	0,189**
Carpelo de noz macadâmia (CNM)	0,299**
Pergaminho de café (PC)	0,346**
Madeira de eucalipto	0,557*

* Densidade básica; ** densidade a granel.

Em trabalho com madeira de *Eucalyptus urophylla* Gonçalves et al. (2008) encontraram valor médio de densidade aparente igual a 0,57 g/cm³ e Sanches et al. (2016) verificaram o valor de 0,56 g/cm³ para a densidade de *Eucalyptus saligna*, sendo ambos próximos a densidade da madeira em estudo, e com o mesmo objetivo de confeccionar painéis aglomerados.

A densidade da madeira interfere diretamente nas propriedades físico-mecânicas dos painéis aglomerados. Partículas de menor densidade permitem uma maior compactação quando comparadas àquelas de maior densidade, que necessitam de uma maior pressão de prensagem. Uma solução para produzir painéis de média densidade com boas propriedades é a associação de materiais lignocelulósicos de alta e baixa densidade (MALONEY, 1993).

Os resíduos caule de mamoeiro, carpelo de noz macadâmia e pergaminho de café apresentaram baixas densidades, em relação à madeira de eucalipto. A inclusão de material lignocelulósico de menor densidade às madeiras de maior densidade resulta em aumentos na razão de compactação do painel aglomerado, e melhora das propriedades físicas e mecânicas (Bufalino et al., 2012a).

Guimarães et al. (2010) também produziram painéis utilizando eucalipto com densidade de $0,56 \text{ g/cm}^3$, com acréscimo de pseudocaule de bananeira ($0,17 \text{ g/cm}^3$). Os resultados obtidos pelos autores indicaram que o acréscimo de pseudocaule da bananeira nos painéis aglomerados proporcionou o aumento das propriedades físicas densidade, absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água.

Ao avaliarem o efeito de diferentes teores de palha de milho sobre as propriedades de painéis particulados multicamadas Silva et al. (2015), observaram densidades de $0,50$ e $0,17 \text{ g/cm}^3$ para madeira de *Eucalyptus grandis* e resíduo de milho, respectivamente, valores próximos ao encontrado para madeira de eucalipto e caule de mamoeiro. Os autores constataram um aumento da absorção de água e do inchamento em espessura à medida que a percentagem de palha de milho foi adicionada aos painéis, enquanto que as propriedades mecânicas diminuíram.

O potencial de utilização de feixes de sisal, em associação com partículas de eucalipto, para produção de painéis MDP multicamadas foi estudado por Mesquita et al. (2015), que obtiveram densidade de $0,37 \text{ g/cm}^3$ para o sisal, valor semelhante ao pergaminho do café, e $0,59 \text{ g/cm}^3$ para madeira de eucalipto. A inclusão dos feixes de sisal acarretou redução das propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

A densidade a granel da casca de café não moída apresentou valor médio de $0,24 \text{ g/cm}^3$ em estudo realizado por Protásio et al. (2011), enquanto neste resíduo moído a densidade média foi de $0,46 \text{ g/cm}^3$. No presente estudo verificou-se que a densidade do pergaminho de café não processado foi de $0,35 \text{ g/cm}^3$, valor intermediário aos encontrados pelos referidos autores para casca de café. A casca de café após o processamento do fruto do cafeeiro pode conter restos de pergaminho, fator atribuído ao caráter residual dessa biomassa (PROTÁSIO et al., 2011), assim como foi observado no resíduo pergaminho de café coletado para fabricação dos painéis aglomerados, ao apresentar restos de casca.

4.1.2 Teor de extrativos, lignina e cinzas

Diferentemente do carpelo de noz macadâmia e da madeira de eucalipto, os resíduos tronco de mamoeiro e pergaminho de café apresentaram elevados teores de extrativos (Tabela 2). O alto teor de extrativo em materiais lignocelulósicos pode dificultar a produção de painéis de madeira reconstituída, uma vez que este interfere

nas reações de polimerização da resina, podendo ser amenizado por meio de pré-tratamento em água (IWAKIRI, 2005; BUFALINO et al., 2012b).

Tabela 2. Composição química dos materiais lignocelulósicos

Material lignocelulósico	Extrativos (%)	Lignina total (%)	Cinzas (%)
Caule do mamoeiro (CM)	20,75	23,19	10,85
Carpelo de noz macadâmia (CNM)	4,87	43,60	6,16
Pergaminho de café (PC)	12,88	35,54	5,41
Madeira de eucalipto	3,44	26,99	0,21

Os materiais que apresentaram maiores valores de lignina total foram o carpelo de noz macadâmia e o pergaminho de café. Para produção de painéis de madeira reconstituída, teores de lignina mais elevados nos materiais lignocelulósicos é uma característica desejável (BUFALINO et al., 2012a). Considerada um adesivo natural, a lignina pode proporcionar uma maior qualidade de adesão entre as partículas dos painéis (JOSELEAU et al., 2004; KHEDARI et al., 2004; SILVA, 2015).

O caule de mamoeiro exibiu o menor valor para teor de lignina. Baixos teores deste componente constituem uma desvantagem para produção de painéis de partículas, uma vez que a lignina contribui para uma melhor colagem e maior estabilidade dimensional dos painéis (BUFALINO et al., 2012b).

Conforme estudo realizado por Foelkel (2013), a madeira de eucalipto apresenta valores médios de teores de cinzas variando de 0,3 a 1,0%; entretanto, a madeira de eucalipto utilizada no presente estudo exibiu percentual de cinzas inferior a 0,3%. Dentre os resíduos estudados, o caule de mamoeiro apresentou maior percentual de cinzas, seguido do carpelo de noz macadâmia e do pergaminho de café. O alto teor de cinzas pode interferir no pH das partículas do aglomerado, que deve situar-se entre 3 e 6, prejudicando a qualidade de adesão (IWAKIRI, 2005).

Da mesma forma que os resíduos agrícolas estudados, a palha de arroz também é um resíduo agrícola que apresenta elevado teor de cinzas, 14-20% (REDDY e YANG, 2005). O carpelo de noz macadâmia e o pergaminho de café apresentaram teores de cinzas próximos aos verificado por REDDY e YANG (2005) em forragem de milho e palha de trigo, 3,6-7% e 6-8%, respectivamente. Em

pseudocaule de bananeira, Guimarães (2012) encontrou teor de cinzas variando entre 9,90% e 14,31%.

4.1.3 pH e capacidade tampão

O valor médio do pH da madeira de eucalipto para solubilidade em água fria foi de 4,7, o que a caracteriza como ácida, assim como o resíduo pergaminho de café. Já o caule de mamoeiro exibiu pH levemente alcalino, e o carpelo de noz macadâmia apresentou valor próximo ao pH neutro (Tabela 3).

Tabela 3. Valores de pH e capacidade tampão ácida (CTA) dos materiais lignocelulósicos

Material lignocelulósico	Água fria – 24h		Água quente – 20min	
	pH	CTA*	pH	CTA
Caule do mamoeiro (CM)	7,35	0,0000	6,47	0,0618
Carpelo de noz macadâmia (CNM)	6,25	0,0855	6,56	0,0552
Pergaminho de café (PC)	5,38	0,1340	6,16	0,1299
Madeira de eucalipto	4,70	0,0531	4,89	0,1164

* CTA = Capacidade Tampão Ácida em mmol NaOH 5g⁻¹.

Tintti (2015) ao caracterizar resíduos de madeira de eucalipto visando a produção de aglomerados, observou pH com valor médio de 4,20 para solubilidade em água fria (24h), e 4,69 para água quente. Comparando o método e o tempo de extração o autor encontrou pouca diferença entre água fria e quente para a madeira de eucalipto, com valores próximos ao encontrado por Boa et al. (2015).

Observou-se ainda, que o pH dos resíduos lignocelulósicos carpelo de noz macadâmia e madeira de eucalipto apresentou mesmo comportamento tanto para solubilidade em água quente quanto para água fria, com uma pequena variação entre os valores médios, cerca de 5%. Já o pH do caule do mamoeiro para solubilidade em água quente apresentou uma redução de 22%, em contrapartida o pergaminho de café apresentou pH 14,5% superior.

O pergaminho de café foi o resíduo que apresentou maior valor de CTA, uma vez que foi necessário cerca de 44,6 e 43mL de solução NaOH para elevar o pH da solução de 5,38 (água fria) e 6,16 (água quente), respectivamente, a pH 7.

O pH e a capacidade tampão podem comprometer a cura e a solidificação do adesivo, interferindo na qualidade dos painéis. Acidez elevada pode causar pré-cura do adesivo, e influenciar nas propriedades físico-mecânicas do painel (MALONEY, 1993; IWAKIRI et al., 2005).

Ao realizarem a caracterização química de resíduos agroindustriais (caroço de pêssego, casca de arroz e erva mate) e avaliarem seu potencial para produção de painéis aglomerados para fins decorativos, Schmitz et al. (2014) observaram que o pH para solubilidade em água fria tanto do caroço de pêssego (7,02) quanto da casca de arroz (6,83) apresentou valores próximos a neutralidade, e a erva mate apresentou pH de caráter ácido (5,02).

O comportamento do caroço de pêssego avaliado por Schmitz et al. (2014), com pH 7,02 foi bem parecido ao encontrado neste estudo para o caule do mamoeiro. Assim como o caroço de pêssego, o caule de mamoeiro pode ser considerado levemente alcalino, enquanto os demais materiais lignocelulósicos avaliados neste estudo (madeira de eucalipto, carpelo de noz macadâmia e pergaminho de café) possuem caráter ácido.

Ao fabricarem chapas de partículas aglomeradas com madeira de paricá e fibras de coco, Colli et al. (2010) observaram que o extrato em água fria da madeira de paricá apresentou pH médio de 4,88, valor próximo ao encontrado para madeira de eucalipto no presente estudo, e as fibras de coco apresentaram pH 5,70, valor semelhante ao do pergaminho de café. Tanto a madeira de paricá quanto a fibra de coco apresentaram baixa capacidade tampão, uma vez que a adição de apenas 1 mL do NaOH foi suficiente para elevar o pH para 8,20 e 8,60, respectivamente.

Para a solubilidade em água quente Schmitz et al. (2014) verificaram que apenas o caroço de pêssego apresentou a mesma tendência da água fria, com pH 6,02. Os demais resíduos avaliados pelos autores, casca de arroz e erva-mate, apresentaram valores de pH considerados ácidos, 5,74 e 5,25 respectivamente.

Quando utilizada a resina ureia-formaldeído para produção de painéis aglomerados, é necessário que o pH do meio esteja ácido durante o processo de prensagem a quente. A acidez do meio pode ser controlada por adição de catalisadores à base de sais, o que evita a pré-cura do adesivo (MARRA, 1992).

Os valores de pH observados pelos autores supracitados tanto para solubilidade dos materiais em água fria quanto para água quente são adequados

para o uso da resina ureia formaldeído na produção de painéis aglomerados, assim como os valores verificados na presente pesquisa.

4.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS ADESIVOS

O adesivo ureia formaldeído puro apresentou pH 8,1, sendo que ao adicionar 10% de tanino o pH do adesivo reduziu em 38,27%. A sua densidade aumentou 8,6% com adição de tanino; também houve acréscimo nos valores de viscosidade (244%), teor de sólidos (20%) e tempo de gel (43%) (Tabela 4).

Tabela 4. Caracterização físico-química dos adesivos ureia formaldeído e tanino ureia formaldeído

Adesivo	Densidade (g/cm ³)	pH	Viscosidade (cP)	Teor de sólidos (%)	Tempo de gel (seg.)
Ureia formaldeído	1,28	8,1	600,00	64,8	64
Tanino ureia formaldeído	1,4	5,0	2068,50	78,0	91

O pH interfere na reatividade e na viscosidade de soluções de tanino, sendo necessário o controle do pH para evitar endurecimento inadequado da resina (TOSTES et al., 2004). Segundo Vital et al. (2004), elevados teores de sólidos em adesivos tânicos os tornam muito viscosos, impossibilitando sua aplicação na pistola pneumática.

Ao avaliar as propriedades físico-químicas do adesivo ureia formaldeído, Lima et al. (2008) observaram os valores 49,4% para o teor de sólidos, 7,7 de pH e viscosidade na faixa de 400-700 cp. Os valores de pH e teor de sólidos encontrados pelos autores foram inferiores ao do presente estudo.

Tintti (2015) ao caracterizar o adesivo UF e TUF (10%) percebeu que o pH reduziu de 8,26 para 5,14 quando adicionado 10% de tanino, valores estes próximos aos verificados neste trabalho.

O teor de sólidos encontrado por Gonçalves et al. (2008) diminuiu com acréscimo de tanino, de 63,9% para 62,88%. Para reduzir a viscosidade e aumentar o teor de sólidos dos adesivos tânicos é necessário reduzir o pH abaixo de 2, no

entanto essa redução ocasiona uma linha de cola fraca, uma vez que interfere na estrutura molecular do adesivo à base de tanino (CARNEIRO et al., 2009).

O tempo de gel verificado por Gonçalves et al. (2008) foi 85 seg. para UF pura e 109 seg. para UF com adição de 10% de tanino, o mesmo comportamento ocorreu neste estudo, ao observar-se que houve um acréscimo de 42,19% no tempo de gel para TUF. Segundo Tostes et al. (2004), o tempo de formação de gel está associado à acidez do adesivo, que pode interferir na sua cura e solidificação. A reação do tanino com a ureia formaldeído pode comprometer a polimerização do adesivo (GONÇALVES et al., 2008).

Gonçalves et al. (2008) observaram densidades 1,37 g/cm³ para UF e 1,17 g/cm³ ao adicionar 10% de tanino, contrário ao verificado neste estudo, uma vez que o acréscimo de 10% de tanino ao adesivo provocou um aumento de 9,37% na sua densidade.

Também houve decréscimo na viscosidade do adesivo UF ao se adicionar 10% de tanino, de 705 cP para 501 cP no estudo realizado por Gonçalves et al. (2008). Este comportamento não foi observado nesta pesquisa, uma vez que ao acrescentar tanino ao adesivo houve aumento na viscosidade, de 600 cP para 2068 cP.

4.3 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PAINÉIS AGLOMERADOS

4.3.1 Densidade aparente e razão de compactação

A análise de variância mostrou efeito significativo na interação adesivo e composição para a propriedade densidade aparente e para a razão de compactação, conforme pode ser observado na Tabela 5 (Apêndice A1). Não houve diferença entre os adesivos para propriedade densidade nas composições 20% e 30% caule de mamoeiro, 20% e 30% de carpelo de noz macadâmia, e 30% de pergaminho de café. Ao avaliar-se o adesivo UF verificou-se maior densidade para as composições 10% e 20% de pergaminho café, enquanto que para o TUF maiores densidades foram obtidas utilizando-se 10% dos resíduos de mamão e macadâmia.

Os painéis aglomerados fabricados em mistura com resíduos lignocelulósicos apresentaram densidade aparente variando de 0,597 g/cm³ a 0,703 g/cm³ para o adesivo UF, e de 0,606 g/cm³ a 0,698 g/cm³ para o adesivo TUF. A maioria dos

painéis produzidos com adição de resíduos agrícolas foram classificados como painéis de média densidade (entre 0,640 g/cm³ e 0,680 g/cm³), com exceção das composições 20 e 30% caule de mamoeiro e 30% carpelo de noz macadâmia, para os dois tipos de adesivos, sendo estes classificados como painéis de baixa densidade (< 0,640 g/cm³), conforme a “American National Standards Institute” – ANSI A-208.1 (1999).

Tabela 5. Densidade aparente (g/cm³) e razão de compactação do painel aglomerado em função da composição e adesivo

Composição	Densidade aparente		Razão de compactação	
	Adesivo		Adesivo	
	UF [#]	TUF	UF	TUF
10% CM	0,663 bB ^{ns}	0,698 aA ^{ns}	1,27 bB ^{ns}	1,33 aA*
20% CM	0,640 cA*	0,641 cA ^{ns}	1,32 aA*	1,32 aA*
30% CM	0,597 dA*	0,606 dA*	1,33 aA*	1,35 aA*
10% CNM	0,657 bB ^{ns}	0,693 aA ^{ns}	1,23 bB ^{ns}	1,30 aA*
20% CNM	0,658 bA ^{ns}	0,663 bA ^{ns}	1,30 bA*	1,31 aA*
30% CNM	0,618 cA*	0,628 cA ^{ns}	1,28 bA*	1,30 aA*
10% PC	0,693 aA ^{ns}	0,644 cB ^{ns}	1,29 bA*	1,19 bB ^{ns}
20% PC	0,703 aA ^{ns}	0,671 bB ^{ns}	1,36 aA*	1,30 aB*
30% PC	0,658 bA ^{ns}	0,645 cA ^{ns}	1,32 aA*	1,30 aA*
Controle	0,674 A	0,668 A	1,20 A	1,19 A

UF: Ureia Formaldeído; TUF: Tanino Ureia Formaldeído; CM: Caule do Mamoeiro; CNM: Carpelo de Noz Macadâmia; PC: Pergaminho de Café; Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna ou pela mesma letra maiúscula na linha (para propriedade correspondente) não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$); *Difere estatisticamente pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$) do tratamento controle; ^{ns} Não difere estatisticamente pelo teste de Dunnett ($p > 0,05$) do tratamento controle (100% eucalipto).

Observou-se que para o adesivo UF os tratamentos que diferiram da testemunha foram as composições 20% e 30% de caule de mamoeiro, e 30% de carpelo de noz macadâmia. Já para o adesivo TUF observou-se que apenas a composição 30% de resíduo de mamão diferiu do tratamento controle.

A razão de compactação, relação entre a densidade do painel e a densidade do material lignocelulósico, pode influenciar nas propriedades dos painéis aglomerados, pois leva em consideração o processo de compactação do material

que originará o painel até sua espessura final. A baixa densidade de materiais lignocelulósicos e o conseqüente acréscimo na razão de compactação são fatores que contribuem para o aumento das propriedades mecânicas e a redução das propriedades físicas dos painéis resultantes (IWAKIRI et al., 2014).

Os painéis aglomerados fabricados com maiores percentuais de resíduos lignocelulósicos utilizando o adesivo UF apresentaram razões de compactação mais elevadas. Isso se deve a menor densidade dos materiais caule de mamoeiro ($0,189 \text{ g/cm}^3$), carpelo de noz macadâmia ($0,299 \text{ g/cm}^3$) e pergaminho de café ($0,346 \text{ g/cm}^3$), quando comparados a madeira de eucalipto ($0,557 \text{ g/cm}^3$). Entretanto ao analisar o adesivo TUF observou-se que apenas a composição 10% pergaminho de café diferiu estatisticamente das demais, com uma menor razão de compactação.

Verificou-se diferença significativa entre os adesivos para as composições 10% de caule de mamoeiro, 10% de carpelo de noz macadâmia, 10% e 20% de pergaminho de café, obtendo-se maiores razões de compactação ao utilizar o adesivo TUF. A resina UF pura conferiu maior razão de compactação para as composições 20 e 30% de resíduo de mamão, e 20 e 30% de resíduo de café, diferindo estatisticamente das demais. Utilizando-se o adesivo TUF observa-se que apenas a composição de 10% pergaminho de café apresentou-se diferente das demais, com uma menor razão de compactação.

Ao avaliar o potencial de utilização de feixes de sisal, em associação com partículas de eucalipto, para produção de painéis MDP, Mesquita et al. (2015) verificaram que os valores de razão de compactação foram gradualmente aumentando, conforme se aumentou a porcentagem de feixes de sisal, atribuindo isso à menor densidade aparente do sisal ($0,368 \text{ g/cm}^3$) quando comparado a densidade do eucalipto ($0,586 \text{ g/cm}^3$).

Apenas as composições 10% de caule de mamoeiro e 10% de carpelo de noz macadâmia não diferiram do tratamento controle avaliando-se o uso da resina ureia formaldeído pura, as demais composições apresentaram uma menor razão de compactação.

Para o adesivo ureia em mistura com extrato tânico somente a composição 10% de resíduo de café teve o mesmo comportamento do tratamento controle. Observou-se que os tratamentos 10% de caule de mamoeiro e 10% de carpelo de

noz macadâmia apresentaram maior razão de compactação, enquanto nos demais houve redução, quando comparados à testemunha.

4.3.2 Absorção de Água (AA) 2 horas e 24 horas

A análise de variância mostrou efeito significativo na interação adesivo e composição para a propriedade Absorção de Água após 2h e 24h de imersão em água, conforme pode ser observado na Tabela 6 (Apêndice A2).

Tabela 6. Absorção de Água (AA) do painel aglomerado após 2h e 24h (%) em função da composição e adesivo

Composição	AA 2h		AA 24h	
	Adesivo		Adesivo	
	UF [#]	TUF	UF	TUF
10% CM	18,33 dA*	19,84 eA*	54,28fA*	38,51cB*
20% CM	27,78bA*	29,27cA*	63,77dA*	40,26cB*
30% CM	44,16aB*	47,10aA*	75,96aA*	46,33aB*
10% CNM	16,64eA*	16,64fA ^{ns}	53,51fA*	36,11dB ^{ns}
20% CNM	20,28dA*	21,57eA*	62,10dA*	39,11cB*
30% CNM	27,22bA*	27,38cA*	71,53bA*	42,44bB*
10% PC	15,72eB ^{ns}	19,36eA*	52,36fA*	38,93cB*
20% PC	18,50dB*	23,96dA*	57,59eA*	41,28cB*
30% PC	23,53cB*	34,61bA*	65,68cA*	44,88aB*
Controle	13,57A	14,85A	43,34A	35,19B

UF: Ureia Formaldeído; TUF: Tanino Ureia Formaldeído; CM: Caule do Mamoeiro; CNM: Carpelos de Noz Macadâmia; PC: Pergaminho de Café; Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna ou pela mesma letra maiúscula na linha (para propriedade correspondente) não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$); *Difere estatisticamente pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$) do tratamento controle; ^{ns} Não difere estatisticamente pelo teste de Dunnett ($p > 0,05$) do tratamento controle (100% eucalipto).

Os painéis produzidos com maior percentual de resíduos lignocelulósicos no geral apresentaram altos valores de taxas de Absorção de Água (AA 2h e AA 24h), atribuindo-se a isto à menor densidade destes painéis, que apresentam mais espaços vazios entre as partículas quando comparados àqueles de maior densidade (NAPOLI et al., 2013).

Ao desenvolver painéis de partículas aglomeradas de baixa densidade com casca de amendoim, fibra da casca do coco-verde e resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona, Cravo et al. (2015) observaram que no painel híbrido as fibras de coco-verde ficaram sobrepostas às partículas da casca de amendoim, resultando em maior número de espaço vazios em relação ao painel de casca de amendoim. Os autores atribuíram essa característica às diferenças de geometria das partículas (fibra de coco – lamelar e casca de amendoim – disco). A presença de espaços vazios explica a porosidade dos painéis híbridos e justificam os maiores valores de absorção de água desses painéis.

Vale ressaltar que resíduos agrícolas geralmente apresentam maiores teores de hemicelulose em relação a resíduos de madeira. A hemicelulose por ser mais hidrofílica do que a celulose e a lignina resulta em maior absorção de água em painéis fabricados com esses materiais (LI et al., 2011). Os painéis fabricados com adição do resíduo lignocelulósico caule de mamoeiro apresentaram os maiores valores de absorção de água quando comparados aos demais, o que pode ser atribuído ao menor percentual de lignina presente nesse material (23,19%), e conseqüentemente ao seu maior teor de holocelulose.

A adição de extrato tânico à resina UF não influenciou de forma significativa a absorção de água após 2 horas para os resíduos caule de mamoeiro (com exceção a composição de 30%) e carpelo de noz macadâmia. Entretanto para o pergaminho de café nota-se que o adesivo TUF contribuiu de forma significativa para o aumento da absorção de água.

Os aglomerados fabricados com TUF apresentaram melhores valores de absorção de água após 24 horas, quando comparados àqueles produzidos com a resina ureia formaldeído pura, uma vez que absorveram menor percentual de água após imersão. Segundo Pizzi e Mital (2003) o adesivo ureia formaldeído tem como desvantagem a sua alta higroscopicidade, sendo necessário a adição de parafina para melhorar suas propriedades físicas.

Carneiro et al. (2009) verificaram que para Absorção de Água, após 2 e 24 h de imersão não houve diferenças significativas entre chapas de pinus produzidas com o adesivo comercial ureia formaldeído e aquelas produzidas em mistura com tanino (12,5%, 25% e 37,5% de adesivo tânico). Já Tostes et al. (2004) verificaram que a adição de extrato tânico à resina sintética ureia-formaldeído para fabricação

de chapas de aglomerado de eucalipto contribuiu para o aumento da Absorção de Água após 2 e 24 horas. Os autores observaram valores médios de Absorção de Água (AA) após 2 horas de imersão em água variando de 41,74 a 71,33%, e após 24 horas a variação foi de 77,79 a 95,26%.

Um maior percentual de absorção de água foi observado na composição 30% de caule de mamoeiro durante os períodos de 2h e 24h de imersão em água para os dois adesivos. As composições que apresentaram maior AA durante 24h utilizando o adesivo TUF foram 30% caule de mamoeiro e 30% de carpelo de noz macadâmia. Para o adesivo UF observou-se maior AA 24h apenas para composição 30% caule de mamoeiro.

A composição química dos resíduos agrícolas também pode ter interferido nas propriedades físicas dos painéis aglomerados. O elevado teor de extrativos no caule de mamoeiro pode ter influenciado a cura do adesivo, e o seu baixo percentual de lignina pode ter comprometido a estabilidade dimensional do painel aglomerado.

Não se observou diferenças significativas entre as duas composições testemunha para a propriedade AA 2h; no entanto, para AA 24h observou-se que o adesivo TUF proporcionou uma menor Absorção de Água. Os valores de AA2h e AA24h dos painéis produzidos com 100% de madeira de eucalipto diferiram estatisticamente e apresentaram melhores valores de Absorção de Água que os painéis produzidos com essa madeira mais adições de resíduos, com exceção da composição 10% de pergaminho de café para absorção de água 2h utilizando UF.

Analisando o efeito de diferentes teores de partículas de palha de milho (0, 25, 50, 75 e 100%) em mistura com partículas de *Eucalyptus grandis* sobre as propriedades de painéis MDP, Silva et al. (2015) observaram um acréscimo dos valores de Absorção de Água à medida que ocorreu o aumento da percentagem de partículas do resíduo de milho nos painéis, variando de 82% a 142% para AA 2h e de 91% a 189% para AA 24h.

Ao estudarem painéis aglomerados fabricados com sabugo de milho em associação com *Pinus oocarpa* Scatolino et al. (2013) encontraram valores de AA2h e AA24h que variaram de 40 a 65% e de 70 a 105%, respectivamente. Melo et. al (2009) ao avaliarem a influência do acréscimo de casca de arroz em partículas de madeira de eucalipto para produção de painéis aglomerados também observaram

que o acréscimo de maiores percentuais de casca de arroz prejudicou a estabilidade dimensional das chapas.

A maior Absorção de Água em painéis aglomerados produzidos com madeira de eucalipto em mistura com bambu (0, 25, 50, 75 e 100%) foram associadas às características anatômicas (elevada porosidade) e químicas (maior percentual de hemicelulose e extrativos) deste material (Melo et al., 2015).

4.3.3 Inchamento em Espessura (IE) 2 horas e 24 horas

A análise de variância mostrou efeito significativo na interação adesivo e composição para a propriedade inchamento em espessura 2h e 24h, conforme pode ser observado na Tabela 7 (Apêndice A2).

Tabela 7. Inchamento em Espessura (IE) do painel aglomerado após 2h e 24h (%) em função da composição e adesivo

Composição	IE 2h		IE 24h	
	Adesivo		Adesivo	
	UF#	TUF	UF	TUF
10% CM	5,15dB*	7,89dA ^{ns}	16,53cB*	25,71bA ^{ns}
20% CM	7,49cB*	9,01cA*	17,98cB*	23,51cA ^{ns}
30% CM	8,62bB*	13,55bA*	15,92cB ^{ns}	23,72cA ^{ns}
10% CNM	5,22dB*	7,85dA ^{ns}	16,45cB ^{ns}	22,64cA*
20% CNM	6,20dB*	8,85cA*	17,32cB*	26,22bA ^{ns}
30% CNM	7,38cB*	9,60cA*	16,50cB ^{ns}	25,25bA ^{ns}
10% PC	5,66dB*	7,65dA ^{ns}	16,91cB*	26,27bA ^{ns}
20% PC	7,14cB*	9,23cA*	20,39bB*	27,07bA*
30% PC	9,95aB*	15,72aA*	23,28aB*	34,82aA*
Controle	3,93B	7,17A	15,02B	24,79A
ABNT (2006)	Máximo 8%		—	
CS (1968)	—		30 – 35%	

UF: Ureia Formaldeído; TUF: Tanino Ureia Formaldeído; CM: Caule do Mamoeiro; CNM: Carpelos de Noz Macadâmia; PC: Pergaminho de Café; Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna ou pela mesma letra maiúscula na linha (para propriedade correspondente) não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$); *Difere estatisticamente pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$) do tratamento controle; ^{ns} Não difere estatisticamente pelo teste de Dunnett ($p > 0,05$) do tratamento controle (100% eucalipto).

Com o acréscimo de resíduo lignocelulósico ao painel aglomerado observou-se que os valores de IE 2h aumentaram tanto para o adesivo UF quanto para TUF, sendo que o tratamento 30% pergaminho de café apresentou o maior valor médio, entretanto o mesmo comportamento não foi verificado nos três tipos de resíduos para IE 24h.

Observou-se que apenas o resíduo de café propiciou aumento do Inchamento em Espessura com acréscimo deste resíduo para os dois adesivos. Não se verificou diferenças entre as três proporções dos resíduos de mamão e macadâmia usando o adesivo UF, no entanto ao utilizar-se o TUF notou-se que o inchamento em espessura diminuiu com adição de resíduo de mamão, e aumentou com acréscimo de macadâmia.

Avaliando-se a propriedade IE 24h obteve-se valores mais elevados nos painéis que apresentaram maior razão de compactação. A razão de compactação mais elevada pode propiciar maior liberação das tensões de prensagem quando estes são submetidos a imersão em água (TRIANOSKI; IWAKIRI; MATOS, 2014).

Verificou-se tendência de aumento do IE com adição de extrato tânico à resina UF tanto para o inchamento após 2 horas quanto para o inchamento após 24h de imersão. As chapas produzidas com tanino ureia formaldeído foram significativamente diferentes e apresentaram maior Inchamento em Espessura provavelmente devido ao caráter hidrofílico da molécula de tanino, que torna os adesivos tânicos susceptíveis à umidade.

Comportamento similar de aumento de IE após duas horas de imersão em água para painéis aglomerados foi observado por Tostes et al. (2004) quando adicionado 10% e 20% de tanino à resina ureia formaldeído pura.

A maioria dos painéis aglomerados fabricados com a resina UF estão de acordo com normativa NBR (2006) para a propriedade inchamento em espessura após 2 horas, que exige o máximo de 8%, exceto as composições 30% CM e 30% PC. No entanto para o adesivo TUF apenas as composições com 10% de resíduos atenderam a referida norma para esta propriedade.

Apesar da adição de 10% de extrato tânico à resina UF ter aumentado significativamente os valores do inchamento após 24h, os mesmos estão de acordo com a normativa COMMERCIAL STANDARD - CS 236-66 (1968) (Classe 1),

apresentando IE inferior ao estabelecido pela referida norma, máximo de 30% e 35% para painéis de baixa e média densidade, respectivamente.

Silva et al. (2015) observaram diferença significativa para a propriedade inchamento em espessura após 2 e 24 horas em painéis aglomerados produzidos com diferentes teores de partículas de palha de milho (0, 25, 50, 75 e 100%). Os autores verificaram uma tendência crescente de inchamento em espessura à medida que se acrescentava palha de milho nos painéis MDP, variando de 19% a 49% para IE 2h e de 23 a 80% para IE 24h.

Ao estudar painéis aglomerados produzidos com sabugo de milho em associação com *Pinus oocarpa*, Scatolino et al. (2013), encontraram valores para a propriedade de inchamento em espessura variando de 18,6 a 29,4% após duas horas de imersão e de 30 a 45% após 24 horas. Ao avaliar a influência do acréscimo de casca de arroz em partículas de madeira de eucalipto para produção de painéis aglomerados Melo et. al (2009) também observaram que o acréscimo de maiores percentuais de casca de arroz prejudicou a estabilidade dimensional das chapas.

4.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS AGLOMERADOS

4.4.1 Resistência à flexão estática: Módulo de Ruptura (MOR) e Módulo de Elasticidade (MOE)

A análise de variância mostrou efeito significativo na interação adesivo e tipo de resíduo, para as propriedades módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE), conforme pode ser observado na Tabela 8 (Apêndice B1).

Verificou-se que na maioria das composições dos painéis aglomerados os adesivos não diferiram estatisticamente para as propriedades módulo de ruptura e módulo de elasticidade, com exceção do material pergaminho de café, que apresentou menores valores médios para ambas propriedades mecânicas ao utilizar o extrato tânico em mistura com a resina ureia formaldeído.

Analisando-se os aglomerados fabricados com resina ureia formaldeído notou-se que as composições que apresentaram maior módulo de ruptura foram 10% caule de mamoeiro e 10% pergaminho café, já o maior módulo de elasticidade foi observado nas composições 10% caule de mamoeiro e, 10% e 20% pergaminho de café. A utilização do adesivo tanino ureia formaldeído proporcionou maiores

valores para módulo de ruptura e módulo elasticidade nas composições 10% e 20% caule de mamoeiro, e 10% carpelo de noz macadâmia.

Tabela 8. Módulos de Ruptura e de Elasticidade (MPa) do painel aglomerado em função da composição e do adesivo

Composição	MOR		MOE	
	Adesivo		Adesivo	
	UF [#]	TUF	UF	TUF
10% CM	9,60aA ^{ns}	8,48aA*	1309,09aA ^{ns}	1147,88aA*
20% CM	8,87bA*	8,02aA*	1169,13bA*	1163,30aA*
30% CM	6,70cA*	6,21bA*	995,06cA*	922,14cA*
10% CNM	8,95bA ^{ns}	8,25aA*	1179,51bA*	1091,09aA*
20% CNM	7,90bA*	6,59bB*	1072,28cA*	885,69cB*
30% CNM	5,49dA*	4,96cA*	720,04dA*	686,53dA*
10% PC	10,20aA ^{ns}	6,28bB*	1452,39aA ^{ns}	979,75bB*
20% PC	8,82bA*	6,49bB*	1293,15aA ^{ns}	994,15bB*
30% PC	6,68cA*	4,84cB*	1021,06cA*	783,26dB*
Controle	10,61A	10,46A	1432,03A	1441,74 ^a
ANSI (1999)	3,00 - 11,00 MPa		550,00 – 1725,00 MPa	

UF: Ureia Formaldeído; TUF: Tanino Ureia Formaldeído; CM: Caule do Mamoeiro; CNM: Carpelo de Noz Macadâmia; PC: Pergaminho de Café; Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna ou pela mesma letra maiúscula na linha (para propriedade correspondente) não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$); *Difere estatisticamente pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$) do tratamento controle; ^{ns} Não difere estatisticamente pelo teste de Dunnett ($p > 0,05$) do tratamento controle (100% eucalipto).

Os valores médios de módulo de ruptura variaram de 5,40 MPa (30% CNM) a 10,20 MPa (10% CC) para a resina ureia formaldeído pura, e de 4,84 MPa (30% CC) a 8,48 MPa (10% CM) para extrato tânico em mistura. Os valores médios de módulo de elasticidade variaram de 995,06 MPa (30% CM) a 1452,39 MPa (10% CC) para o adesivo ureia formaldeído e de 686,53 MPa (30% CNM) a 1147,88 MPa (10% CM) para tanino ureia formaldeído. Os resultados obtidos indicaram reduções na resistência à flexão estática em todos painéis aglomerados com o aumento do percentual de resíduos na sua composição.

Verificou-se melhores resultados para a propriedade flexão estática nos painéis fabricados com 10% de resíduos agrícolas, apresentando MOR superior ou igual a 9,0 MPa e MOE superior a 1000 MPa ao utilizar-se a resina ureia pura.

Conforme a norma ANSI A 208.1 (1999), os painéis de partículas de baixa massa específica (menor que 0,64g/cm³) e de média massa específica (entre 0,64 e 0,80 g/ cm³), admitem como valores mínimos 3 MPa e 11 MPa, respectivamente, para módulo de ruptura. Para módulo de elasticidade os valores mínimos exigidos são 550 MPa e 1725 MPa, respectivamente. Apenas os painéis de baixa densidade estão em conformidade com essa norma para a propriedade MOR e MOE.

A tendência de decréscimo dos valores médios de módulo de ruptura e módulo de elasticidade, à medida que se aumentou a porcentagem de resíduos provavelmente foi decorrente do tipo e geometria das diferentes partículas.

A baixa densidade da matéria-prima implica em maior volume de material para formação do painel, reduzindo assim a quantidade de adesivo por partícula (Silva et al., 2015). Os painéis que exibiram maior MOR e MOE foram aqueles que apresentaram densidades mais elevadas. Maior massa específica em painéis aglomerados implica em maior quantidade de partículas por unidade de volume, o que proporciona maior resistência mecânica (IWAKIRI et al., 2005).

Os tratamentos testemunha (100% eucalipto com adesivo ureia pura e 100% eucalipto com tanino ureia formaldeído) não diferiram estatisticamente pelo teste F para as propriedades módulo de ruptura e módulo de elasticidade; no entanto, verificou-se diferença significativa entre a testemunha e os demais tratamentos.

Constatou-se que para o adesivo UF os tratamentos que não diferiram estatisticamente da testemunha foram as composições 10% caule de mamoeiro, 10% carpelo de noz macadâmia e 10% pergaminho de café para MOR, já para MOE as composições que não diferiram do tratamento controle foram as composições de 10% caule de mamoeiro e, 10% e 20% pergaminho de café. No entanto ao avaliar-se o adesivo TUF observou-se que todas as composições diferiram estatisticamente do tratamento controle para as duas propriedades, MOR e MOE.

Ao analisar a resistência de painéis aglomerados fabricados com partículas de madeira de pinus, eucalipto, bracatinga e uva-do-japão usando misturas de duas, de três e das quatro espécies para painéis monocamada, e duas espécies para painéis multicamadas aglutinados com resina ureia formaldeído pura, Sanches et al.

(2016) observaram que os valores médios de módulo de ruptura variaram entre 6,19 MPa (painel monocamada: 50% eucalipto + 50% bracatinga) e 10,10 MPa (painel multicamada: 100% pinus). Os autores verificaram que os valores médios de módulo de elasticidade variaram de 923,61 MPa (painel monocamada: 50% eucalipto + 50% bracatinga) a 1616,54 MPa (painel multicamada: 100% pinus).

Iwakiri et al. (2008) ao avaliarem a influência da massa específica (0,60, 0,70, 0,80 e 0,90 g/cm³) do painel aglomerado sobre suas propriedades utilizando partículas de pinus e resina ureia formaldeído como aglutinante verificaram que as chapas produzidas com maiores massas específicas apresentaram valores superiores de módulo de elasticidade e ruptura em flexão estática. Os valores médios do módulo de ruptura variaram entre 9,30 MPa (densidade 0,57g/cm³) e 19,18 MPa (densidade 0,78g/cm³). Os valores médios do módulo de elasticidade variaram entre 1229,39 Mpa (densidade 0,57g/cm³) e 2290MPa (densidade 0,7857g/cm³).

Ao caracterizarem painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira (*Eucalyptus grandis*) e casca de arroz (0, 20, 40, 60, 80 e 100%) usando os adesivos ureia formaldeído e tanino formaldeído como aglutinantes, Melo et. al (2009) verificaram que o acréscimo da proporção de casca nos painéis promoveu a redução da sua resistência.

A influência da incorporação de casca de café nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados produzidos com *Eucalyptus urophylla* com incorporação de casca de café, em três teores da resina fenol formaldeído e 1% de parafina foi avaliada por Mendes et al. (2010). Verificou-se uma relação linear decrescente entre a porcentagem de incorporação de casca de café e os módulos de ruptura (MOR) e elasticidade (MOE).

4.4.2 Resistência ao arrancamento de parafuso no topo e superfície

A análise de variância mostrou efeito significativo na interação adesivo e composição para a propriedade arrancamento de parafuso no topo e na superfície, conforme pode ser observado na Tabela 9 (Apêndice B1).

Observou-se que as composições que não diferiram estatisticamente analisando-se os adesivos UF e TUF para as propriedades resistência ao arrancamento de parafuso no topo foram 30% caule de mamoeiro, 10% e 20%

carpelo de noz macadâmia, e 30% pergaminho de café. Já para a resistência ao arrancamento de parafuso na superfície constatou-se não haver diferenças entre os tratamentos ao se avaliar os adesivos nas adições de 10% e 20% carpelo de noz macadâmia.

Tabela 9. Resistência ao arrancamento de parafuso no topo (N) e na superfície (N) do painel aglomerado em função da composição e do adesivo

Composição	Topo		Superfície	
	Adesivo		Adesivo	
	UF [#]	TUF	UF	TUF
10% CM	1183,36aA ^{ns}	938,43bB*	784,90aA*	642,72aB*
20% CM	1178,55aA ^{ns}	828,68cB*	626,36bA*	502,77bB*
30% CM	848,97cA*	701,28cA*	499,17cA*	378,60cB*
10% CNM	1302,10aA ^{ns}	1207,82aA ^{ns}	777,45aA*	701,52aA ^{ns}
20% CNM	956,05bA*	1004,75bA*	626,16bA*	601,37aA*
30% CNM	1027,45bA*	791,35cB*	587,35bA*	455,43bB*
10% PC	1361,18aA ^{ns}	736,55cB*	773,47aA*	476,48bB*
20% PC	1079,66bA*	828,02cB*	675,84aA*	463,97bB*
30% PC	818,85cA*	653,83cA*	526,97cA*	412,47cB*
Controle	1295,07A	1269,35A	933,08A	796,38B
ANSI (1999)	400 – 800 N		400 – 900 N	

UF: Ureia Formaldeído; TUF: Tanino Ureia Formaldeído; CM: Caule do Mamoeiro; CNM: Carpelo de Noz Macadâmia; PC: Pergaminho de Café; Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna ou pela mesma letra maiúscula na linha (para propriedade correspondente) não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$); *Difere estatisticamente pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$) do tratamento controle; ^{ns} Não difere estatisticamente pelo teste de Dunnett ($p > 0,05$) do tratamento controle (100% eucalipto).

Verificou-se maior resistência ao arrancamento de parafuso nos painéis que utilizaram a resina ureia formaldeído pura quando comparados ao adesivo tanino ureia formaldeído, o que pode ser justificado pela presença de açúcares e gomas de alto peso molecular no extrato tânico, comprometendo a resistência da linha de cola (PIZZI; MITTAL, 2003).

Analisando-se os aglomerados fabricados com adesivo ureia formaldeído notou-se que as composições que apresentaram maior resistência ao arrancamento de parafuso no topo foram 10% e 20% caule de mamoeiro, 10% carpelo de noz

macadâmia e 10% pergaminho de café. Contudo para a resistência ao arrancamento de parafuso na superfície maiores valores foram observados nas composições 10% caule de mamoeiro, 10% carpelo de noz macadâmia e, 10 e 20% pergaminho de café.

Ao avaliar-se o adesivo tanino ureia formaldeído o tratamento que se destacou para o arrancamento de parafuso no topo foi a composição com 10% de carpelo de noz macadâmia. Já para a resistência na superfície do aglomerado verificou-se maiores valores na composição 10% caule de mamoeiro e, 10 e 20% carpelo de noz macadâmia.

As variações entre os adesivos ureia formaldeído e tanino formaldeído não influenciaram a resistência ao arrancamento de parafuso em estudo realizado por Melo et al. (2009) ao produzirem painéis aglomerados com diferentes proporções de madeira *Eucalyptus grandis* e casca de arroz. Contudo, os autores verificaram que o acréscimo de casca de arroz nos painéis proporcionou uma redução da resistência desta propriedade.

Os valores médios de resistência ao arrancamento de parafuso no topo variaram de 818,85 N (30% PC) a 1361,18 N (10% PC) para a resina ureia pura e de 653,83 N (30% PC) a 1207,82 N (10% CNM) para extrato tânico em mistura com ureia. O arrancamento de parafuso na superfície teve uma variação de 499,17N (30% CM) a 784,90 N (10% CM) para o adesivo ureia formaldeído, e de 378,60 N (30% CM) a 701,52 N (10% CNM) para tanino ureia formaldeído.

Os resultados obtidos indicaram reduções na resistência ao arrancamento de parafuso nos painéis aglomerados com o aumento do percentual de resíduos na sua composição. O tamanho e a geometria dos diferentes tipos de partículas podem ter influenciado no desempenho dos painéis aglomerados estudados.

A forma fusiforme das partículas finas de casca de semente de girassol proporcionaram uma distribuição homogênea na estrutura de painéis aglomerados monocamada e multicamadas em estudo realizado por Cosereanu et al. (2015); em contrapartida, partículas grosseiras do mesmo resíduo, com geometria côncava, resultou em painéis com uma estrutura mais porosa, prejudicando as suas propriedades físico-mecânicas.

Os painéis aglomerados com melhor desempenho para a propriedade resistência ao arrancamento de parafuso no topo e na superfície são os que

apresentaram maiores valores médios de densidade aparente. Melo e Del Menezzi (2010) ao avaliarem a influência da massa específica nas propriedades físico-mecânicas de chapas aglomeradas confeccionadas com partículas de *Eucalyptus grandis* testando três densidades: 0,6; 0,7 e 0,8 g/cm³ verificaram altas correlações entre a massa específica e a resistência mecânica de chapas aglomeradas. Os autores constataram que os valores médios da resistência ao arrancamento de parafuso variaram de 710N a 966N.

Os tratamentos testemunha, 100% eucalipto com adesivo ureia pura e 100% eucalipto com tanino ureia formaldeído não diferiram estatisticamente pelo teste F para as propriedades resistência ao arrancamento de parafuso no topo, já para a superfície observou-se maior resistência usando o adesivo UF.

Verificou-se diferença significativa entre a testemunha e os demais tratamentos, sendo que para o adesivo UF os tratamentos que não diferiram estatisticamente da testemunha foram as composições 10% e 20% caule de mamoeiro, 10% carpelo de noz macadâmia e 10% pergaminho de café para resistência no topo, entretanto para resistência na superfície todas as composições diferiram do tratamento controle. Ao avaliar-se o adesivo TUF verificou-se que apenas composição 10% carpelo de noz macadâmia não diferiu da testemunha para as propriedades resistência ao arrancamento de parafuso no topo e na superfície.

A NBR 15316-2 (ABNT, 2006) estabelece limites mínimos para painéis aglomerados de média densidade de 1020 N para arrancamento de parafuso na superfície e 800 N para topo. Por outro lado, a norma ANSI A-208.1 (1999), fixa valores médios de 900 N para resistência na superfície e 800 N no topo. Para painéis de baixa densidade essas normas requerem um valor mínimo de 400 N, padrão no qual se enquadraram os painéis compostos por 20% e 30% de caule de mamoeiro, e 30% de carpelo de noz macadâmia.

Os tratamentos avaliados estão em conformidade com os padrões estabelecidos por essas normas para a propriedade arrancamento de parafuso no topo, exceto a composição 10% pergaminho de café (736,55N). Contudo para a propriedade resistência ao arrancamento de parafuso na superfície os painéis de média densidade não se enquadram nos limites estabelecidos pelas normas NBR 15316-2 (ABNT, 2006) e ANSI A-208.1 (1999), com exceção do tratamento controle 100% eucalipto usando como aglutinante UF (933,08 N). Os painéis de baixa

densidade estão em conformidade com as referidas normas, com exceção da composição 30% caule de mamoeiro usando o adesivo TUF (378,6 N).

Vale ressaltar que as referidas normas recomendam esses parâmetros para painéis com espessura superior a 13 mm, não sendo aplicável para os aglomerados do presente estudo, que apresentaram espessura em torno de 10mm.

A resistência de painéis aglomerados fabricados com partículas de madeira de pinus, eucalipto, bracatinga e uva do japão em diferentes proporções de misturas e em duas composições de camadas foi avaliada por Sanches et al. (2016). Os valores médios encontrados para arrancamento de parafuso na superfície variaram de 436,11 a 810,81 N, e 464,41 a 676,79 N para arrancamento de topo. Os painéis confeccionados a partir da mistura entre pinus e uva-do-japão e de eucalipto e uva-do-japão obtiveram o melhor desempenho de resistência ao arrancamento de parafuso. Por outro lado, as misturas que envolveram a bracatinga, apresentaram o pior desempenho.

Trianoski, Iwakiri e Matos (2014) ao avaliarem as propriedades mecânicas de painéis aglomerados de *Toona ciliata* produzidos com diferentes densidades e teores de resina observaram que valores médios de resistência ao arrancamento de parafuso na superfície (APS) e no topo (APT) variaram de 1151N a 1823N e de 1008N a 1856N, respectivamente. Verificaram ainda que à medida que se aumentou a densidade nominal, tanto o APS quanto APT tenderam a apresentar valores médios mais elevados. Entre tratamentos com a mesma densidade nominal e diferentes níveis de resina, houve tendência de melhoria nas propriedades.

As propriedades de painéis aglomerados produzidos com três espécies de eucalipto (*Eucalyptus grandis*, *E. dunnii* e *E. benthamii*) puras e com o mix entre elas usando a resina ureia formaldeído foram estudadas por Cunha et al. (2014). Os valores obtidos pelos autores variaram entre 915,93 (50% *E. grandis* e 50% *E. dunnii*) e 1472,68 N (100% *E. grandis*) para resistência ao arrancamento de parafuso no topo, já para a superfície entre 1042,18N (100% *E. benthamii*) e 1321,06 (100% *E. grandis*). Atribui-se o melhor desempenho do painel composto por 100% de partículas de *E. grandis* à propriedade de arrancamento de parafuso, à menor massa específica das partículas e maior razão de compactação.

4.4.3 Dureza Janka

A análise de variância mostrou efeito significativo na interação adesivo e composição, para a propriedade dureza Janka, conforme pode ser observado na Tabela 10 (Apêndice B2).

Constatou-se que no geral não houve diferença entre adesivos para a propriedade dureza Janka nas composições estudadas, exceto a composição 10% caule de mamoeiro e 20% pergaminho de café. Os aglomerados fabricados com caule de mamoeiro e TUF foram os que apresentaram maior dureza.

Tabela 10. Dureza Janka (MPa) do painel aglomerado em função da composição e do adesivo

Composição	Adesivo	
	UF#	TUF
10% CM	40,19bB*	46,95aA*
20% CM	35,88cA*	39,93bA*
30% CM	30,03dA*	30,18dA*
10% CNM	40,40bA*	40,92bA*
20% CNM	35,55cA*	35,40cA*
30% CNM	34,76cA*	35,22cA*
10% PC	40,75bA ^{ns}	41,46bA*
20% PC	45,75aA ^{ns}	38,93bB*
30% PC	39,59bA*	36,43cA*
Controle	45,43B	56,60A
ANSI (1999)	22,7 MPa	

UF: Ureia Formaldeído; TUF: Tanino Ureia Formaldeído; CM: Caule do Mamoeiro; CNM: Carpelos de Noz Macadâmia; PC: Pergaminho de Café; Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna ou pela mesma letra maiúscula na linha (para propriedade correspondente) não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$); *Difere estatisticamente pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$) do tratamento controle; ^{ns} Não difere estatisticamente pelo teste de Dunnett ($p > 0,05$) do tratamento controle (100% eucalipto).

Todos os painéis aglomerados apresentaram valores médios acima do exigido pela norma ANSI A 208.1 (ANSI, 1999), que estabelece valor mínimo de 22,70 MPa para dureza Janka. Verificou-se que para resina a UF, assim como para TUF à medida que se aumentou a porcentagem de resíduos lignocelulósicos,

reduziu a dureza dos painéis, exceto para aqueles produzidos com pergaminho de café e UF. Esse fato pode ser atribuído à redução da densidade do painel com acréscimo de resíduos, contribuindo para menor resistência superficial do painel quando submetido ao teste de dureza Janka.

Observou-se pela análise de variância que o tratamento testemunha 100% eucalipto com adesivo UF e 100% eucalipto com TUF diferiram estatisticamente pelo teste F, assim como houve diferença entre a testemunha e os demais tratamentos. Constatou-se que para o adesivo UF todos tratamentos diferiram do tratamento controle, já para o adesivo TUF observou-se que a composição 10% carpelo de noz macadâmia apresentou mesmo comportamento do tratamento controle.

Naumann et al. (2008) observaram tendência de aumento nos valores de dureza à medida que se adicionou mais partículas de paricá (massa específica = 0,30 g/cm³) na composição de chapas de madeira aglomerada fabricadas com partículas de *Eucalyptus urophylla* (massa específica = 0,55 g/cm³) com cinco proporções de madeira e dois tipos de partículas (maravalhas e cavacos). Os autores atribuíram à essa variação ao aumento na taxa de compactação, associado com as dimensões das partículas. No caso das chapas produzidas com partículas geradas a partir de maravalhas, o aumento da taxa de compactação resultou numa chapa com maior massa específica básica e homogênea, ou seja, com menos vazios no seu interior.

Ao avaliar composição de painéis aglomerados fabricados com partículas de vassoura (*Sida spp*) e eucalipto, Bianche et al. (2012) verificaram que à medida que se aumentou a porcentagem de partículas de vassoura, aumentou a dureza dos painéis, exceto para aqueles produzidos apenas com partículas de vassoura. Esse fato pode ser atribuído à maior área superficial da partícula de vassoura, contribuindo para melhor resistência superficial do painel quando submetido ao teste de dureza Janka. Os autores observaram valores médios de dureza Janka entre 34,07MPa e 43,76 MPa para as composições dos aglomerados fabricados com madeira de eucalipto com adição de vassoura.

4.4.4 Resistência à tração perpendicular (Ligação interna)

A análise de variância mostrou efeito significativo na interação adesivo e composição, para a propriedade resistência à tração perpendicular, conforme pode ser observado na Tabela 11 (Apêndice B2).

Os valores médios para este ensaio variaram de 0,38 MPa (30% CC) a 0,92 MPa (10% CNM) usando como aglutinante a resina UF e de 0,28 MPa a 0,57 MPa para o extrato tânico em mistura com ureia. A norma ANSI A 208.1 (1999) admite para painéis de partículas de baixa e de média massa específica valores mínimos entre 0,15 a 0,40 MPa para ligação interna. Todos as composições obedeceram aos limites estabelecidos para o teste de resistência a tração perpendicular.

Tabela 11. Resistência à tração perpendicular (MPa) dos painéis aglomerados em função da composição e tipo de adesivo

Composição	Adesivo	
	UF#	TUF
10% CM	0,78bA ^{ns}	0,50bB*
20% CM	0,72bA*	0,52bB*
30% CM	0,63cA*	0,39cB*
10% CNM	0,92aA ^{ns}	0,57aB*
20% CNM	0,88aA ^{ns}	0,49bB*
30% CNM	0,75bA*	0,56aB*
10% PC	0,84aA ^{ns}	0,38cB*
20% PC	0,61cA*	0,35cB*
30% PC	0,38dA*	0,28dB*
Controle	0,85A	0,83 ^a
ANSI (1999)	0,10 – 0,40 MPa	

UF: Ureia Formaldeído; TUF: Tanino Ureia Formaldeído; CM: Caule do Mamoeiro; CNM: Carpelo de Noz Macadâmia; PC: Pergaminho de Café; Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna ou pela mesma letra maiúscula na linha (para propriedade correspondente) não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$); *Difere estatisticamente pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$) do tratamento controle; ^{ns} Não difere estatisticamente pelo teste de Dunnett ($p > 0,05$) do tratamento controle (100% eucalipto).

Observa-se que todas as composições apresentaram melhor desempenho para a ligação interna usando o adesivo ureia formaldeído, sendo as composições

que apresentaram melhores resultados foram 10% e 20% carpelo de noz macadâmia, e 10% pergaminho de café. Contudo, para o adesivo tanino ureia formaldeído verificou-se maior ligação interna para os tratamentos com 10 e 30% de resíduo de noz macadâmia. Houve uma tendência de redução dos valores médios para a propriedade ligação interna à medida que se acrescentou resíduos lignocelulósicos na composição dos painéis aglomerados.

Os tratamentos controles (100% eucalipto) não diferiram estatisticamente entre si pelo teste F, entretanto houve diferença entre o mesmo e os demais tratamentos. Para o adesivo UF as composições que não diferiram do controle foram 10% caule do mamoeiro, 10 e 20% carpelo de noz macadâmia e 10% pergaminho de café. Para o adesivo TUF todas as composições diferiram do tratamento controle.

Foi observado ainda que os painéis de densidades mais elevadas apresentaram maior ligação interna. A resistência à tração perpendicular (ligação interna) em painéis aglomerados é aumentada com a maior densidade dos painéis (IWAKIRI et al., 2005; PETINARAKIS; KAVVOURAS, 2006).

Verificou-se que o acréscimo de resíduos na composição do painel aglomerado reduziu a resistência à tração perpendicular, o que pode ser explicado pelo maior volume de material para formação do colchão, e conseqüentemente menor quantidade de adesivo por partícula quando comparado ao painel composto apenas por eucalipto.

Há uma tendência de decréscimo para propriedade ligação interna à medida em que se aumentou a proporção de resíduos (palha de milho) em painéis MDP (SILVA et al., 2015). Essa tendência é atribuída em parte pelo aumento da razão de compactação em consequência da baixa densidade da palha de milho ($0,167\text{gcm}^3$), diminuindo gradativamente a quantidade de adesivo por partícula, em virtude do maior volume.

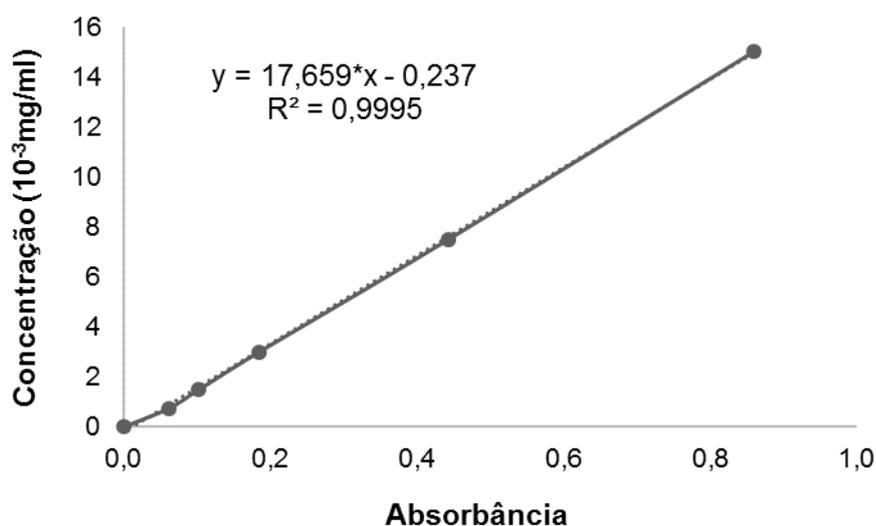
Ao avaliarem a influência da incorporação de casca de café (25, 50 e 75%) nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados produzidos com *Eucalyptus urophylla*, Mendes et al. (2010) constataram diferenças significativas para a propriedade ligação interna em painéis aglomerados de *Eucalyptus urophylla*, com o acréscimo de casca de café. Os autores verificaram relação linear decrescente entre a porcentagem de incorporação do resíduo de café e a ligação interna.

4.5 EMISSÃO DE FORMALDEÍDO

A curva de calibração demonstra os padrões utilizados, suas devidas absorvâncias, o coeficiente de correlação calculado (correspondente a 0,9995, num critério de aceitabilidade >0,95) e o gráfico representativo (Figura 8).

A construção da curva de calibração para análise de emissão de formaldeído está em conformidade com a norma EN 120, apresentando forma linear com os pontos obtidos das concentrações das soluções, sendo que sua margem de erro foi pequena, uma vez que o coeficiente de correlação ficou bem próximo a 1.

Figura 8. Curva de calibração para a emissão de formaldeído a 412 nm.



A análise de variância mostrou que houve diferença entre os adesivos estudados, conforme pode ser observado na tabela 11 (Apêndice C1). De acordo com a norma NBR 15316-2 (2006) os painéis aglomerados fabricados com 100% de eucalipto utilizando tanto a resina ureia pura como o adesivo tanino ureia formaldeído se enquadraram na classe E2 em emissão de formaldeído (8 – 30 mg/100g).

Tabela 12. Emissão de formaldeído em função do tipo de adesivo e do tratamento controle (100% eucalipto) em mg/100g

Adesivo	Tratamento controle (100% Eucalipto)
Ureia Formaldeído	11,34 a (57,66)
Tanino Ureia Formaldeído	8,79 b (26,85)

Valores entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação; médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Verificou-se uma redução de 22,5% na emissão de formaldeído com a substituição de 10% de ureia pura por extrato tânico. A adição de maior percentual de extrato tânico a resina ureia pode reduzir ainda mais a emissão de formaldeído em painéis aglomerados.

A redução do formaldeído livre nos painéis aglomerados pode estar associada a composição química do tanino, uma vez que a reação de condensação do formaldeído com tanino ocorre mais facilmente do que com a ureia.

O nível de emissão de formaldeído em painéis MDF fabricados com partículas de *Pinus densiflora* reduziu cerca de 76% ao substituir a resina ureia por melanina formaldeído (MF). A resina UF apresentou valor médio de 12,1 mg/100 g de painel, valor próximo ao encontrado neste estudo, já a resina MF exibiu o valor 2,88 mg/100 g de painel (KIM; KIM, 2005).

Em estudo realizado por Petinarakis e kavvouras (2006) painéis aglomerados de madeira de *Abies cephalonica* colados com ureia pura, com umidade $\leq 10\%$, apresentaram um valor médio de emissão de formaldeído de 12,31 mg/kg, usando o método do frasco.

A adição de tanino à resina ureia formaldeído em aglomerados fabricados com casca de arroz e carvão vegetal também reduziu o nível de emissão de formaldeído nos painéis (EON et al., 2006).

A emissão de formaldeído em painéis aglomerados colados com ureia-formaldeído, pode ser ainda mais reduzida com a otimização do processo de produção, controlando as variáveis temperatura de prensagem, densidade do painel e teor de umidade das partículas em mistura com a cola antes da fase de prensagem (PETINARAKIS; KAVVOURAS, 2006).

4.6 COMPARAÇÃO NORMATIVA PARA AS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DOS PAINÉIS AGLOMERADOS

A Tabela 13 apresenta o resumo das propriedades físico-mecânicas dos painéis aglomerados que estão em conformidade com as normativas 1 - ABNT (2006), 2 - CS (1968) e 3 - ANSI (1999).

Tabela 13. Comparação normativa para as propriedades físico-mecânicas dos painéis aglomerados

Adesivo	Composição	Propriedades								
		IE (2h)	IE (24h)	MOR	MOE	APT	APS	LI	DJ	
UF	10% CM	1	2	-	-	3	-	3	3	
	20% CM	1	2	3	3	3	3	3	3	
	30% CM	-	2	3	3	3	3	3	3	
	10% CNM	1	2	-	-	3	-	3	3	
	20% CNM	1	2	-	-	3	-	3	3	
	30% CNM	1	2	3	3	3	3	3	3	
	10% PC	1	2	-	-	3	-	3	3	
	20% PC	1	2	-	-	3	-	3	3	
	30% PC	-	2	-	-	3	-	3	3	
	Controle	1	2	-	-	3	3	3	3	
	TUF	10% CM	1	2	-	-	3	-	3	3
		20% CM	-	2	3	3	3	3	3	3
		30% CM	-	2	3	3	3	3	3	3
10% CNM		1	2	-	-	3	-	3	3	
20% CNM		-	2	-	-	3	-	3	3	
30% CNM		-	2	3	3	3	3	3	3	
10% PC		1	2	-	-	-	-	3	3	
20% PC		-	2	-	-	3	-	3	3	
30% PC		-	2	-	-	-	-	3	3	
Controle		1	2	-	-	3	-	3	3	

UF: Ureia Formaldeído; TUF: Tanino ureia formaldeído; CM: Caule de mamoeiro; CNM: Carpelo de noz macadâmia; PC: Pergaminho de café; IE: Inchamento em Espessura; MOR: Módulo de Ruptura; MOE: Módulo de Elasticidade; APT: Arrancamento de Parafuso no Topo; APS: Arrancamento de Parafuso na Superfície; LI: Ligação Interna; DJ: Dureza Janka; 1: ABNT (2006); 2: CS (1968); 3: ANSI (1999); - composições que não se adequam a nenhuma das normas.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos indicam o potencial de utilização dos resíduos lignocelulósicos caule de mamoeiro, carpelo de noz macadâmia e pergaminho de café como matéria-prima para fabricação de painéis aglomerados, sendo estes não recomendados quando submetidos a tensões de flexão.

As propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados produzidos com madeira de eucalipto em mistura com resíduos lignocelulósicos de baixa densidade foram similares ou superiores aos valores referenciais apresentados na literatura.

O aumento do percentual de resíduos na composição dos painéis e a substituição de 10 % de resina ureia formaldeído por extrato tânico promoveram a redução das propriedades físico-mecânicas.

Os painéis aglomerados, em sua maioria, atenderam às especificações mínimas de desempenho para as propriedades físicas de absorção de água e inchamento em espessura.

Os valores médios das propriedades mecânicas: tração perpendicular (ligação interna), arrancamento de parafuso e dureza Janka obtidos para os resíduos estudados, no geral atenderam aos requisitos mínimos de qualidade. No entanto para a propriedade flexão estática apenas os painéis de baixa densidade estão de acordo com as normas de qualidade.

A proporção de 10% de resíduo agrícola proporcionou melhores valores das propriedades físico-mecânicas nos painéis aglomerados, e o resíduo que apresentou melhores resultados para as propriedades avaliadas foi o carpelo de noz macadâmia.

A adição de 10% de extrato tânico na resina ureia formaldeído reduziu a emissão de formaldeído livre nos painéis aglomerados.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, C. E. C. Adesivos e adesão. In: IWAKIRI, S. (ed.). **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005, p.3-42.
- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE – ANSI. **ANSI A208.1**: Mat-formed wood particleboard: Specification. National Particlepanel Association. Gaithersburg, 1999.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS- ASTM. **ASTM D 1084-97**: Standard Test Methods for Viscosity of Adhesives. Montgomery, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15316-2**: Chapas de madeira aglomerada: Requisitos. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 14810-3**: Chapas de madeira aglomerada: Métodos de ensaios: Rio de Janeiro, 2006. 32p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7989**: Pasta celulósica e madeira: determinação de lignina insolúvel em ácido. Rio de Janeiro, 2010. 6 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NOZ MACADAMIA – ABM. Disponível em: <www.abm.agr.br> 2013. Acesso em: 20 jul. 2015
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES E EXPORTADORES DE PAPAYA – BRAPEX. 2015. Disponível em: <<http://www.brapex.net/2013/index.asp>> Acesso em: 15 jul. 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL– ABTCP. **M11-77**.Cinzas em madeira. São Paulo, 1977.
- ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY - TAPPI. **T-204 om-88**. TAPPI test methods: Solvent extractives of Wood and pulp. Atlanta: TAPPI Press, 1996.
- BANCO INTERNACIONAL PARA RECONSTRUÇÃO E DESENVOLVIMENTO– **ÍCONE**. Associação Internacional de Desenvolvimento ou Banco Mundial- DC 20433: 1818 H Street NW Washington, 2013. Disponível em: <<http://www.iconebrasil.com.br/> > Acesso em: 30 jul. 2015.
- BARROS FILHO, R. M. et al. Hybrid chipboard panels based on sugarcane bagasse, urea formaldehyde and melamine formaldehyde resin. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v.33, p. 369-373, 2011.
- BELINI, U. L. et al. Formaldeído livre em painéis de eucalipto e cana-de-açúcar. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v.2, n.6, p. 94-99, 2015.

BIANCHE, J. J. et al. Propriedades de painéis aglomerados fabricados com partículas de eucalipto (*Eucalyptus urophylla*), paricá (*Schizolobium amazonicum*) e vassoura (*Sida spp.*). **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 4, p. 623-630, 2012.

BOA, A. C. et al. Resíduos madeireiros de eucalipto colados com resina ureia formaldeído à temperatura ambiente. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 102, p. 279-288, jun. 2014

BRITO, E. O. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de *Pinus elliottii* Engelm. Var. elliottii plantado no sul do Brasil.** 1995. 120f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BUFALINO, L. et al. Particleboards made from Australian red cedar: processing variables and evaluation of mixed species. **Journal of Tropical Forest Science**, Kuala Lumpur, v. 24, n. 2, p. 162-172, 2012a.

BUFALINO, L. et al. Caracterização química e energética para aproveitamento da madeira de costaneira e desbaste de cedro australiano. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 70, p. 129-137, 2012b.

CARNEIRO, A.C.O. et al. Propriedades de chapas de aglomerado fabricadas com adesivo tânico de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina*) e ureia-formaldeído. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.33, n.3, p.521-531, 2009

COLLI, A. et al. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) e fibras de coco (*Cocos nucifera* L.). **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.34, n.2, 2010.

COMMERCIAL STANDARD – CS. **CS 236-66**: Mat formed wood particleboard. Geneva, 18p., 1968.

COSEREANU, C. et al. Effect of particle size and geometry on the performance of single-layer and three-layer particleboard made from sunflower seed husks. **Bioresources**, Nova Iorque, v.10, n.1, p. 1127-1136, 2015.

CRAVO, J. C. M. et al. Painel aglomerado de resíduos agroindustriais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 721-730, 2015.

CUNHA, A. B. et al. Produção de painéis de madeira aglomerada de *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 102, p. 259-267, 2014.

DACOSTA, L. P. E. et al. Qualidade das chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de pinus. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 3, p. 311-322. 2005a.

DACOSTA, L. P. E. et al. Propriedades físicas de chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii* engelm. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 421-429. 2005b.

EON, Y.G. et al. Reduction of Formaldehyde Emission from Particleboards by Bio-Scavengers. **Journal of the Korean Wood Science and Technology**, Seoul, v. 34, n.5, p. 29-41, 2006.

EUROPEAN STANDARD – EN. **EN 120**: Wood-based panel products - Determination of formaldehyde content: Extraction method (known as perforator method). Bruxelas, 1992.

EUROPEAN STANDARD – EN. **EN 717-2**: Wood-based panel products: Determination of formaldehyde release by the gas analysis method. Bruxelas, 1995.

EUROPEAN STANDARD – EN. **EN 717-3**: Wood-based panel products: Determination of formaldehyde release by the flask method. Bruxelas, 1996.

FERREIRA, B. S. **Propriedades físico-mecânicas de painéis particulados de *Eucalyptus saligna* com adição de casca de noz macadâmia**. 2013. 82f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2013.

FOELKEL, C. E. B. Aspectos práticos e conceituais sobre a fabricação de celulose de mercado do tipo kraft branqueada a partir de madeira de eucalipto. In: FOELKEL, C. E. B. **Eucalyptus onlyne book & newsletter**: Cap.31, jun.2013. Disponível em: <http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT31_ProcessoKraftEucalipto.pdf> Acesso em: 10 out. 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS – **FAO/FAOSTAT**. 2012. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: 16 jul. 2015.

GATANI, M. P. et al. Viabilidade técnica de produção e propriedades de painéis de partículas de casca de amendoim. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 1286-1293, 2013.

GAZETAONLINE. **Fábrica de MDF de Pinheiros vai gerar mais de 700 empregos**. 2016. Disponível em: <http://gazetaonline.globo.com/_conteudo/2011/12/noticias/cbn_vitoria/reportagem/1071131-fabrica-de-mdf-de-pinheiros-vai-gerar-mais-de-700-empregos.html> Acesso em: 9 out. 2016.

GLOBO RURAL - G1 Economia: Agronegócios. **Cultivo da noz macadâmia cresce no Espírito Santo**. 2011. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2011/04/cultivo-da-noz-macadamia-cresce-no-espírito-santo.html>> Acesso em: 24 ago. 2015.

GOLDSCHIMILD, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUSWIG, C. H. (Eds.). **Lignins**. New York: Wiley Interscience, p.241-246, 1971.

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klarson modificado. **O papel**, São Paulo, v. 47, n. 8, p. 36-38, 1986.

GONÇALVES, F.G.; LELIS, R. C. C.; OLIVEIRA, J. T. S. Influência da composição da resina tanino-uréia-formaldeído nas propriedades físicas e mecânicas de chapas aglomeradas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 715-722, 2008.

GUIMARÃES, B. M. R et al. Avaliação das propriedades físicas de painéis aglomerados obtidos a partir de eucalipto e pseudocaule da bananeira. In: XIX CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFLA, 2010, Lavras. **Anais...** Lavras: Sociedade Brasileira para o progresso da ciência, 2010.

GUIMARÃES, B. M. R. **Tratamento químico de partículas de pseudocaule da bananeira visando à produção de painéis aglomerados**. 2012. 93p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

GUIMARÃES JUNIOR, J. B. et al. Efeito do teor da parafina nas propriedades físico-mecânicas painéis de aglomerados de *Pinus oocarpa*. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 4, n. 1, p. 72-82, 2013.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES- IBÁ. **Relatório Anual 2015**. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/iba_2015.pdf> Acesso em: 19 de julho de 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Cereais, leguminosas e oleaginosas. Grandes Regiões: Participação na produção**. 2015. Disponível em: <www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa> Acesso em: 28 jul. 2015.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. **Diagnóstico dos Resíduos Orgânico do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas**. Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120917_relatorio_residuos_organicos.pdf> Acesso em: 9 out. 2016.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005, 274 p.

IWAKIRI, S. et al. Influência da massa específica sobre as propriedades mecânicas de painéis aglomerados. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 3, p. 487-493, 2008.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis aglomerados homogêneos e multicamadas de *Melia azedarach* (Cinamomo) e *Pinus taeda* com diferentes teores de resina. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 3, p. 465-470, 2012.

IWAKIRI, S. et al. Evaluation of the quality of particleboard panels manufactured with wood from *Sequoia sempervirens* and *Pinus taeda*. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 2, p. 209-216, 2014.

JOSELEAU, J. P. et al. Detection in situ and characterization of lignin in the G-layer of tension wood fibres of *Populus deltoids*. **Planta**, Berlin, v. 219, n.2, p. 338-345, 2004.

KHEDARI, J. et al. New low-cost insulation particleboards from mixture of durian peel and coconut coir. **Building and Environment**, Oxford, v. 39, n. 1, p. 59-65, 2004.

KIM, S; KIM, H. J. Comparison of standard methods and gas chromatography method in determination of formaldehyde emission from MDF bonded with formaldehyde-based resins. **Bioresource Technology**. Nova Iorque, v.96, p.1457-1464, 2005.

LIMA, A. M. et al. Utilização de fibras (epicarpo) de babaçu como matéria-prima alternativa na produção de chapas de madeira aglomerada. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.4, p.645-650, 2006.

LIMA, C. K. P. et al. Colagem da madeira de clones de *Eucalyptus* com três adesivos comerciais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 77, p. 73-77, 2008.

MAIA, C. M. B. F. et al. **Casca de macadâmia (*Macadamia integrifolia*) e seu potencial para a produção de biocarvões**. Colombo: Embrapa Florestas, Comunicado Técnico, n. 301. 2012. 5 p. Disponível em: <<http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/4516>> Acesso em: 6 ago. 2015.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman Inc., 1993, 689 p.

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

MELO, R. R. et al. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e casca de arroz. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 449-460, 2009.

MELO, R. R.; DEL MENEZZI, C.H.S. Influência da massa específica nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados. **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 18, n. 1, p. 59-73, 2010.

MELO, R. R. et al. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados madeira-bambu. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 1, p. 35-42, 2015.

MENDES, L. M. et al. *Eucalyptus urophylla* stands wood utilization at two different ages for production of particleboard panels. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 3, p. 288-294, 2009a.

MENDES, R. F. et al. The adhesive effect on the properties of particleboards made from sugar cane bagasse generated in the distiller. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 32, n. 2, p. 209-218, 2009b.

MENDES, R. F. et al. Efeito da incorporação de casca de café nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Eucalyptus urophylla* s.t. blake. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 34, n.3, p. 610-617, 2010.

MESQUITA, R. G. A. et al. Inclusão de feixes de sisal na produção de painéis MDP de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 75-82, 2015.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. Carbondale: Southern Illinois Press, v.1, 1974. 256p.

NAGAO, M. A. Farm and Forestry Production and Marketing Profile for Macadamia Nut (*Macadamia integrifolia* and *M. tetraphylla*). In: ELEVITCH, C.R. Specialty Crops for Pacific Island Agroforestry. Holualoa, HI: **Permanent Agriculture Resources**, 2011.

NAPOLI, L. M. et al. Propriedades físicas da madeira e de painéis aglomerados produzidos com misturas de espécies florestais. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 3, p. 475-484, 2013.

NAUMANN, R. B. et. al. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake e de *Schizolobium Amazonicum* Herb. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 32, n. 6, p. 1143-1150, 2008.

NEGRI, D.C. **Análise das propriedades físico-mecânicas de painel particulado de eucalipto composto por três camadas com duas variações de pressão**. 2013. 54f. Trabalho de Conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Estadual Paulista, Campus Itapeva, São Paulo, 2013.

ORGANIZAÇÃO DE COOPERAÇÃO E DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO-OCDE/ FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS - FAO. **Agricultura Brasileira: Perspectivas e Desafios**. 2015. Disponível em: <<https://www.fao.org.br/download/PA20142015CB.pdf>> Acesso em: 9 out. 2016.

PAES, J. B. **Efeitos da purificação e do enriquecimento do creosoto vegetal em suas propriedades preservativas**. 1997. 143 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

PEDRAZZI, C. et al. Qualidade de chapas de partículas de madeira aglomerada fabricadas com resíduos de uma indústria de celulose. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 201-212. 2006.

PEDRO BOM, R. **Processo produtivo de painéis MDF**. União da Vitória- PR. Engenharia Industrial da Madeira. 2008. 47p.

PENONI, E.S. et al. Análise de frutos e nozes de cultivares de nogueira-macadâmia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 12, p. 2080-2083, 2011.

PETINARAKIS, J. K.; KAVVOURAS, P.K. Technological factors affecting the emission of formaldehyde from particleboard. **Wood Research**, Bratislava, v. 1, n. 51, p. 31-40, 2006.

PIZA, P. L. B. T.; MORIYA, L. M. Cultivo da macadâmia no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 36, n. 1, p. 39-45, 2014.

PIZZI, A.; MITTAL, K.L. **Handbook of Adhesive Technology**. 2. ed., New York: Marcel Decker, 2003.

PROTÁSIO, T. P. et al. Compactação de biomassa vegetal visando à produção de biocombustíveis sólidos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 273-283, 2011.

REDDY, N.; YANG, Y. Biofibers from agricultural byproducts for industrial applications. **Trends in Biotechnology**, Amsterdam, v. 23, n. 1, p. 22-27, 2005.

REN, J.L.; SUN, R.C. **Cereal straw as a resource for sustainable biomaterials and biofuels – chemistry, extractives, lignins, hemicelluloses and cellulose**. Oxford: Elsevier, 2010. cap.4, p. 73-76.

RIGOTTI, M. **Cultura do Mamoeiro**. 2011. Disponível em: <<http://www.portaldahorticultura.xpg.com.br>> Acesso em: 22 jul. 2015.

ROFFAEL, E.; SCHNEIDER, T.; DIX, B. E. J. Influence of moisture content on the formaldehyde release of particle- and fiberboards bonded with tannin–formaldehyde resins. **European Journal of Wood and Products**, Berlin, v. 73, n. 5, p. 597-605, 2015.

SANCHES, F.L. et al. Resistência de painéis aglomerados produzidos com mistura de madeira de espécies florestais tradicionais e não tradicionais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 559-569, 2016.

SCATOLINO, M. V. et al. Use of maize cob for production of particleboard. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 37, n. 4, p. 330 - 337, 2013.

SCHMITZ, V. N. et al. Caracterização química preliminar de resíduos lignocelulósicos para produção de painéis aglomerados decorativos. **Anais...XXII Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Pelotas**. Pelotas, 2014.

SFREDO, M.A. **Dispersão de frutos de café no escoamento em secador de múltiplas bandejas vibradas**. 2006. 321f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

SILVA, G. A. et al. Efeito de algumas variáveis de processamento nas propriedades físicas de painéis de madeira de partículas alongadas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 51-60, 2006.

SILVA, S. A. M. et al. Particleboard Manufactured with Bicomponent Polyurethane Resin base on Castor Oil. **International Journal of Composite Materials**, Rosemead, v. 6, n. 2, p. 115-118, 2012.

SILVA, D.W. et al. MDP com partículas de eucalipto e palha de milho. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 108, p. 853-862, 2015.

SILVA, G. C. **Qualidade de painéis aglomerados produzidos com adesivos à base de lignosulfonato e ureia-formaldeído**. 2015, 95f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

SILVA, F.A.S. **ASSISTAT: Versão 7.7**. DEAG-CTRN-UFCEG – Atualizado em 01 de agosto de 2016. Disponível em <<http://www.assistat.com/>>. Acessado em: 5 set. 2016.

SOBIERAJSKI, G. R. et al. Noz macadâmia: produção, mercado e situação no estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 36, n. 6, p. 25-36, 2006.

SORATTO, D. N. et al. Efeitos da adição de cavaco com casca na qualidade de painéis MDP produzidos com *Eucalyptus* sp. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 4, n. 1, p. 46-59, 2013.

SOUZA, F. F. et al. **Características das principais variedades de café cultivadas em Rondônia**. Porto Velho: Embrapa, Rondônia, 26p., 2004.

SOUZA, J. S. **Utilização de adesivos à base de taninos de Acácia negra e *Eucalyptus pellita* para fabricação de painéis OSB**. 2006. 64f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

TINTI, V. P. **Efeitos da temperatura e adesivos na qualidade de painéis aglomerados produzidos com resíduos de madeira de eucalipto**. 2015. 77f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2015.

TOSTES, A. S. et al. Colagem de chapas de madeira aglomerada com adesivo uréia formaldeído (UF) modificado com tanino da casca de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Floram**, Seropédica, v. 11, n. 2, p. 14-19, 2004.

TRIANOSKI, R; IWAKIRI, S; MATOS, J. L. Avaliação de painéis aglomerados de *Toona ciliata* produzidos com diferentes densidades e teores de resina. **Madera y Bosques**, Xalapa, v. 20, n. 3, p. 49-58, 2014.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO, CAMPUS DE ALEGRE - UFES. Alegre: Espírito Santo. **Boletim Técnico: Café – fruto, grão e bebida**. 2012. Disponível em: <http://www.agais.com/manuscript/cafe0112_cafe_fruto_grao_bebida.pdf> Acesso em: 16 ago. 2015.

VARANDA, L. D. et al. Oat Hulls as Addition to High Density Panels Production. **Materials Research**, São Carlos, v. 6, n. 16, p. 1355-1361, 2013.

VITAL, B. R. et al. Adesivos à base de taninos das cascas de duas espécies de eucalipto para produção de chapas de flocos. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 28, n. 4, p. 571-582, 2004.

WANG, W.; ZANG, X.; LU, R. Low formaldehyde emission particleboard bonded by UF-MDI mixture adhesive. **Forest Products Journal**, Madison, v. 54, n. 9, p. 36-39, 2004.

WEBER, C.; IWAKIRI, S. Utilização de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 2, p. 405-413, 2015.

WIECHETECK, M. **Aproveitamento de resíduos e subprodutos florestais, alternativas tecnológicas e propostas de políticas ao uso de resíduos florestais para fins energéticos**. SUMÁRIO EXECUTIVO- Curitiba- PR. 2009. 40p. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/164/_publicacao/164_publicacao10012011033501.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2014.

WORDPRESS. 2015. Disponível em: <<https://aventurasdabarista.wordpress.com>> Acesso em: 10 out. 2016.

ZHANG, Y. et al. Mechanical properties of wheat straw particleboard using Composite Adhesives. **Advanced Materials Research**, Churerstrasse, vols. 113-116, p. 2096-2099, 2010.

7 APÊNDICES

APÊNDICE A – Resumo das análises de variância para as propriedades físicas dos painéis aglomerados em função da composição e adesivo.

Tabela A1 - Resumo das análises de variância para densidade aparente (Da) e razão de compactação (RC).

Fonte de variação	Grau de liberdade	Teste F	
		Da	RC
Adesivo (A)	1	0,006 ^{ns}	0,056 ^{ns}
Composição (C)	8	15,7749**	4,9214**
A x C	8	3,9052**	3,6662**
Fat x T1+T2	1	4,9060*	47,6620**
T1 x T2	1	0,1642 ^{ns}	0,1367 ^{ns}
Tratamentos	19	8,5532**	6,1319**
Resíduo	400		
Total	419		

** Significativo ($p \leq 0,01$). * Significativo ($p \leq 0,05$). ^{ns} Não significativo ($p > 0,05$). F: Fatorial, T1: tratamento testemunha 1, T2: tratamento testemunha 2.

Tabela A2 - Resumo das análises de variância para absorção de água após 2 horas (AA 2H) e absorção de água após 24 horas (AA 24h), inchamento em espessura após 2 horas (IE 2h), inchamento em espessura após 24 horas (IE 24h).

Fonte de variação	Grau de liberdade	Teste F			
		AA 2h	AA 24h	IE 2h	IE 24h
Adesivo (A)	1	77,2383**	2806,1135**	356,4101**	1319,1102**
Composição(C)	8	297,8086**	87,0265**	85,9079**	73,0873**
A x C	8	11,0014**	23,4844**	9,2710**	7,5772**
Fat x T1+T2	1	390,9218**	374,4348**	138,1478**	35,2511**
T1 x T2	1	1,4889 ^{ns}	469,109**	47,5430**	207,2688**
Tratamentos	19	154,7436**	216,3972**	68,6070**	116,1551**
Resíduo	460				
Total	479				

** Significativo ($p \leq 0,01$). * Significativo ($p \leq 0,05$). ^{ns} Não significativo ($p > 0,05$). F: Fatorial, T1: tratamento testemunha 1, T2: tratamento testemunha 2.

APÊNDICE B – Resumo das análises de variância para as propriedades mecânicas dos painéis aglomerados em função da composição e adesivo.

Tabela B1 – Resumo das análises de variância para módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE), arrancamento de parafuso no topo (APT) e arrancamento de parafuso na superfície (APS).

Fonte de variação	Grau de liberdade	Teste F			
		MOR	MOE	APT	APS
Adesivo (A)	1	5077,40**	41,0496**	66,3635**	115,9771**
Composição (C)	8	19,0821**	18,6019**	13,5000**	27,7974**
A x C	8	3,2715**	3,3250**	4,8638**	4,1017**
Fat x T1+T2	1	93,8037**	76,5665**	49,3583**	191,7918**
T1 x T2	1	0,0601 ^{ns}	0,0626 ^{ns}	0,0926 ^{ns}	12,6364**

** Significativo ($p \leq 0,01$). * Significativo ($p \leq 0,05$). ^{ns} Não significativo ($p > 0,05$). F: Fatorial, T1: tratamento testemunha 1, T2: tratamento testemunha 2.

Tabela B2 – Resumo das análises de variância para dureza janka (DJ) e ligação interna (LI).

Fonte de variação	Grau de liberdade	Teste F	
		DJ	LI
Adesivo (A)	1	0,1427 ^{ns}	537,8075**
Composição (C)	8	14,5456**	49,8381**
A x C	8	3,0028**	9,9604**
Fat x T1+T2	1	118,7935**	189,0719**
T1 x T2	1	25,2489**	0,3100 ^{ns}

** Significativo ($p \leq 0,01$). * Significativo ($p \leq 0,05$). ^{ns} Não significativo ($p > 0,05$). F: Fatorial, T1: tratamento testemunha 1, T2: tratamento testemunha 2.

APÊNDICE C - Resumo da análise de variância para a emissão de formaldeído no tratamento controle (100% eucalipto).

Tabela C1- Resumo das análises de variância para emissão de formaldeído.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Teste F
Tratamentos	1	13,5015**
Resíduo	10	
Total	11	

** Significativo ($p \leq 0,01$)