



UNIVERSIDADE DE UBERABA

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E EXTENSÃO

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA
MESTRADO PROFISSIONAL**

CAROLINA BRAGINE MANGUCCI

**ADESIVO À BASE DE AMIDO E ESTEARATO DE SÓDIO: AVANÇOS NA
FORMAÇÃO DE PAINÉIS**



CAROLINA BRAGINE MANGUCCI

**ADESIVO À BASE DE AMIDO E ESTEARATO DE SÓDIO: AVANÇOS NA
FORMAÇÃO DE PAINÉIS**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química do Programa de Pós-graduação em Engenharia Química – Mestrado Profissional da Universidade de Uberaba (PPGEQ-MP/UNIUBE).

Orientador:

Prof. Dr. David Maikel Fernandes

Co orientador:

Prof. Dr. José Roberto Delalibera Finzer

UBERABA – MG

2019

Catálogo elaborado pelo Setor de Referência da Biblioteca Central UNIUBE

M314a Mangucci, Carolina Bragine.
Adesivo à base de amido e estearato de sódio: avanços na formação de painéis / Carolina Bragine Mangucci. – Uberaba, 2019. 42 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade de Uberaba. Programa de Mestrado em Engenharia Química, concentração: Desenvolvimento de Processos Químicos Agroindustriais.
Orientador: Prof. Dr. David Maikel Fernandes.
Coorientador: Prof. Dr. José Roberto Delalibera Finzer.

1. Engenharia química. 2. Produtos sintéticos – Resina. 3. Amido – Milho. 4. Adesivos – Amido. I. Fernandes, David Maikel. II. Finzer, José Roberto Delalibera. III. Universidade de Uberaba. Programa de Mestrado em Engenharia Química. IV. Título.

CDD 660.2

CAROLINA BRAGINE MANGUCCI

**ADESIVO À BASE DE AMIDO E ESTEARATO DE SÓDIO: AVANÇOS NA
FORMAÇÃO DE PAINÉIS**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química - Mestrado Profissional da Universidade de Uberaba (PPGEQ-MP/UNIUBE).

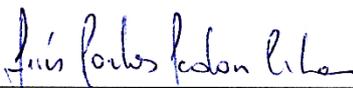
Área de Concentração: Desenvolvimento de Processos Químicos Agroindustriais

Aprovado em: 31/10/2019

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. David Maikel Fernandes - Orientador
Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Bambuí



Prof. Dr. Luís Carlos Scalon Cunha
Instituto Federal do Triângulo Mineiro – Campus Uberaba



Prof. Dr. Adriano Dawison de Lima
Universidade de Uberaba

Dedico este trabalho à minha família como forma de reconhecimento pelo imenso carinho e apoio para trilhar minha trajetória, sendo o meu maior exemplo de amor, força e fé em Deus.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me agraciado com o dom da Vida e ter oferecido oportunidades de aprendizado e evolução.

À minha mãe, Elina, por ser a minha fonte amor, carinho e incentivo, confiando na minha capacidade; Ao meu pai, Miguel, por ser o meu grande exemplo de luta na vida; Ao meu esposo, Eduardo, por ser o meu melhor companheiro na alegria e na tristeza.

Aos meus familiares que comigo compartilharam minhas angústias e conquistas, pela motivação e confiança.

Ao professor Dr. David Maikel Fernandes, pelo auxílio e orientação, e ao professor Dr. José Roberto Delalibera Finzer, pela coorientação deste trabalho.

À professora Dra. Ana Claudia Chesca, pela amizade, conselhos e todo apoio para crescer na minha profissão.

Aos técnicos do Laboratório Físico-Químico da Universidade de Uberaba, Cárita e Antônio, pelo auxílio na execução desse trabalho e por sempre estarem dispostos a ajudar.

Às empresas fornecedoras dos resíduos de painéis e resina, pela imediata disponibilidade do material utilizado nesta pesquisa.

À Fundação de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG, pelo suporte dado ao desenvolvimento dessa dissertação.

“Não é o desafio com que nos deparamos que determina quem somos e o que estamos nos tornando, mas a maneira com que respondemos ao desafio.”

Henrique de Souza Filho

RESUMO

Os painéis aglomerados de madeira surgiram com o intuito de viabilizar o aproveitamento dos resíduos da madeira. As resinas sintéticas termofixas são as mais empregadas na fabricação desses painéis, sendo a de maior destaque a uréia-formaldeído. Porém, a principal desvantagem dessa resina está relacionada à emissão de formol para o meio ambiente, que pode acarretar problemas de saúde. Desta forma, pesquisas estão sendo realizadas a fim de se encontrar matérias-primas alternativas para a produção de resinas. Uma alternativa é a utilização do amido de milho, no entanto, para a fabricação de adesivos a base de amido para painéis de madeira suas propriedades adesivas não mostraram força substancial para colar o material de madeira, provavelmente devido à retrogradação do amido. Alguns estudos têm indicado que os surfactantes poderiam efetivamente retardar a retrogradação do amido, formando um complexo amido-surfactante. Neste sentido, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a viabilidade de utilização da resina natural à base de amido de milho modificada com estearato de sódio com aplicação na formação de painéis aglomerados. Para alcançar esse objetivo, primeiramente preparou-se os adesivos à base de amido de milho e estearato de sódio nas porcentagens de 20/0%; 20/2% e 10/2%. Determinou-se as propriedades físico-químicas, teor de sólidos, densidade e pH, e realizou-se a análise de infravermelho das resinas uréia-formaldeído e à base de amido de milho com suas respectivas modificações, a fim de se realizar uma comparação dos resultados. Por fim realizou-se os ensaios físicos-mecânicos, densidade, umidade, absorção de água, inchamento em espessura e resistência à tração perpendicular de corpos de prova formados por serragem e as resinas utilizadas neste trabalho. Foi realizado uma análise estatística utilizando o teste não paramétrico Kruskal-Wallis com intervalo de confiança de 90%. Com as resinas de amido modificado com estearato de sódio foi possível formar painéis com propriedades físico-mecânicas que atendem à NBR 14810 da ABNT (2013). A modificação do amido de milho com estearato de sódio contribuiu para a redução no teor de umidade dos corpos de prova, para a formação de painéis com maiores densidades e menores capacidades de absorção de água. Os resultados obtidos mostraram-se promissores no aproveitamento de serragem e utilização de adesivos naturais à base de amido de milho.

PALAVRAS-CHAVE: amido de milho, estearato de sódio, aproveitamento de resíduos, painéis aglomerados, propriedades físico-mecânicas de painéis.

ABSTRACT

The agglomerated wood panels appeared in order to make possible the use of wood residues. The thermoset synthetic resins are the most used in the manufacture of these panels and the most used is urea-formaldehyde. However, the main disadvantage of this resin is associated to the emission of formaldehyde to the environment, which can cause health problems. So, researches are being conducted to find an alternative raw materials for the production of resins. An alternative is the use of corn starch, however, for the manufacture of starch based adhesives for wood panels this adhesive properties haven't shown substantial strength to glue the wood material, probably due to starch retrogradation. Some studies have indicated that surfactants could effectively slow down the starch retrogradation, forming a starch-surfactant complex. In this sense, this work was developed with the objective of evaluating the viability of using natural cornstarch resin modified with sodium stearate with application in the formation of agglomerated panels. To achieve this goal, first the corn starch and sodium stearate adhesives were prepared in percentages of 20/0%; 20/2% and 10/2%. The physicochemical properties, solids content, density and pH were determined, and the infrared analysis of the urea-formaldehyde and cornstarch-based resins with their respective modifications was performed, in order to make a comparison of the results. Finally, the physical-mechanical tests were performed, density, humidity, water absorption, thickness swelling and perpendicular tensile strength of sawdust specimens and the resins used in this work. Statistical analysis was performed using the nonparametric Kruskal-Wallis test with a 90% confidence interval. With sodium stearate modified starch resins it was possible to form panels with physical-mechanical properties that meet NBR 14810 from ABNT (2013). Modifying cornstarch with sodium stearate contributes to the reduction in the moisture content of the specimens, to the formation of panels with higher densities and lower water absorption capacities. The results were promising in the use of sawdust and the use of natural corn starch adhesives.

KEY WORDS: corn starch, sodium stearate, waste recovery, wood panels, physical-mechanical analyses.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Fluxograma do processo de fabricação de painéis de madeira aglomerada
- Figura 2 – Evolução do consumo aparente de painéis de madeira em 1.000 m³
- Figura 3 – Estrutura do polímero uréia-formaldeído (UF)
- Figura 4 – Estrutura do grânulo do amido: (a) Amilose e (b) Amilopectina
- Figura 5 – Representação esquemática da reação entre amido e ácido esteárico
- Figura 6 – Imagens da morfologia dos filmes de (a) amido; e amido acrescentando estearato de sódio nas proporções de (b) 1%, (c) 3% e (d) 5% em base seca
- Figura 7 – Imagem da resina uréia-formaldeído
- Figura 8 – Da esquerda para a direita. (a) amido sem modificação; (b) estearato de sódio; (c) resina com 20% de Amido e (d) resina com 20% de Amido e 2% de Estearato de Sódio
- Figura 9 – Imagem do espectrômetro
- Figura 10 – Aparência das fibras de madeira (Serragem)
- Figura 11 – Prensa manual utilizada para a formação dos painéis
- Figura 12 – Aparência dos painéis com a seguinte composição de resina: (a) 20% amido, (b) 20% amido e 2% estearato, (c) 15% amido e 2% estearato, (d) 10% amido e 2% estearato, (e) Uréia-formaldeído
- Figura 13 - Equipamento de ensaio mecânico universal
- Figura 14 – Análise de Infravermelho da resina uréia-formaldeído
- Figura 15 - Análise de Infravermelho das resinas com amido de milho modificado

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados de consumo de painéis de madeira

Tabela 2 - Características físico-químicas da resina ureia-formaldeído

Tabela 3 - Proporções de amido e estearato de sódio para preparação do adesivo

Tabela 4 - Teor de sólidos (TS) para diferentes composições de resina

Tabela 5 - Densidade para diferentes composições de resina

Tabela 6 - Valores de pH para diferentes composições de resina

Tabela 7 - Densidade dos corpos de prova para diferentes composições de resina

Tabela 8 - Umidade dos corpos de prova para diferentes composições de resina

Tabela 9 - Absorção de água dos corpos de prova para diferentes composições de resina após 24 horas

Tabela 10 - Inchamento em espessura dos corpos de prova para diferentes composições de resina após 24 horas

Tabela 11 – Tração perpendicular dos corpos de prova para diferentes composições de resina

Tabela 12 – Análise estatística das resinas pelo método de Kruskal-Wallis com $\alpha = 0,1$

Tabela 13 – Análise estatística dos painéis aglomerados pelo método de Kruskal-Wallis com $\alpha = 0,1$

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Equação para cálculo do teor de sólidos da resina

Equação 2 – Equação para cálculo da densidade da resina

Equação 3 – Equação para cálculo da densidade dos painéis aglomerados

Equação 4 – Equação para cálculo do teor umidade dos painéis aglomerados

Equação 5 – Equação para cálculo do teor de absorção de água dos painéis aglomerados

Equação 6 – Equação para cálculo do teor de inchamento em espessura dos painéis aglomerados

LISTA DE ABREVIACOES, SIGLAS E SÍMBOLOS

PBQP-H	Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
Var	Variacão
spp	Espécies
UF	Uréia-formaldeído
FF	Fenol-formaldeído
DSS	Dodecilsulfato de sódio
ES	Estearato de sódio
AM	Amido de milho
%	Porcentagem
g/cm ³	Gramas por centímetro cúbico
m ³	Metro cúbico
mm	Milímetro
cP	CentiPoise
C	Grau Clcus
m ²	Metro quadrado
α	Alfa
μm	Micrmetro
g	Gramas
cm	Centímetro
cm ³	Centímetro cúbico
cm ⁻¹	Centímetro a menos 1

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. OBJETIVO GERAL	4
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1. PAINÉIS AGLOMERADOS DE MADEIRA	5
3.1.1. Características da matéria-prima utilizada na fabricação de painéis aglomerados	7
3.1.1.1. Madeira.....	7
3.1.1.2. Resinas	8
3.1.2. Fatores que afetam as propriedades dos painéis aglomerados	10
3.1.3. Impactos ambientais relacionados ao processo produtivo	10
3.2. UTILIZAÇÃO DE ADESIVOS NATURAIS	11
3.2.1. Amido.....	11
3.2.2. Amido modificado.....	13
3.2.2.1. Estearato de sódio.....	14
4. METODOLOGIA	16
4.1. OBTENÇÃO DA RESINA URÉIA-FORMALDEÍDO	16
4.2. PREPARAÇÃO DO ADESIVO NATURAL	16
4.3. DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DAS RESINAS	17
4.3.1. Teor de Sólidos	17
4.3.2. Densidade.....	18
4.3.3. Valor de pH.....	19
4.4. ANÁLISE DE INFRAVERMELHO DOS ADESIVOS.....	19
4.5. PREPARAÇÃO DAS FIBRAS DE MADEIRA.....	19
4.6. FORMAÇÃO DOS PAINÉIS AGLOMERADOS	20
4.7. REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS FÍSICO-MECÂNICOS DOS PAINÉIS.....	22
4.7.1. Densidade.....	22
4.7.2. Umidade	22
4.7.3. Absorção de Água	23
4.7.4. Inchamento em Espessura	23
4.7.5. Resistência à Tração Perpendicular.....	23
4.8. ANÁLISE ESTATÍSTICA	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
5.1. DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DAS RESINAS	25
5.1.1. Teor de Sólidos	25

5.1.2.	Densidade.....	26
5.1.3.	Valor de pH.....	27
5.2.	ANÁLISE DE INFRAVERMELHO DAS RESINAS.....	27
5.2.1.	Resina uréia-formaldeído.....	27
5.2.2.	Amido de milho modificado.....	28
5.3.	DETERMINAÇÃO DOS ENSAIOS FÍSICOS-MECÂNICOS DOS PAINÉIS AGLOMERADOS.....	29
5.3.1.	Densidade.....	29
5.3.2.	Umidade.....	31
5.3.3.	Absorção de água.....	32
5.3.4.	Inchamento.....	33
5.3.5.	Tração Perpendicular.....	34
5.4.	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	35
6.	CONCLUSÕES.....	37
	REFERÊNCIAS.....	38

1. INTRODUÇÃO

O termo técnico “painéis aglomerados” é usado para especificar os painéis que são fabricados a partir das partículas de material lignocelulósico, principalmente madeira, unidas com adesivo sintético ou natural, e consolidadas na presença de pressão e calor (Tinti, 2015). A produção de painéis aglomerados está relacionada com o aproveitamento dos resíduos gerados durante o desdobramento da madeira sólida em serrarias e laminadoras (Iwakiri et al., 2012).

O consumo de madeira em grande escala nos diversos setores da sociedade fez emergir uma preocupação com os resíduos gerados e os impactos ambientais associados aos processos de fabricação de produtos de madeira, sendo que em torno de 40 a 60% de uma tora de madeira são resíduos, dentre eles 71% é formado por lenha, 22% por serragem (resíduo gerado durante a operação de serras) e o restante são cepilhos (resíduo originado pelas plainas) (Lima e Silva, 2005). Segundo Weber e Iwakiri (2015), os resíduos de madeira possuem um potencial econômico ainda pouco explorado pelas indústrias e a sua utilização na produção de painéis aglomerados é uma alternativa de favorecer seu aproveitamento, o que, de acordo com Fagundes (2003), traz benefícios sociais e contribui com o aumento da utilização sustentável das florestas, principalmente as plantadas, em que o plantio é realizado especificamente para se destinar à produção madeireira.

Os painéis aglomerados apresentam vantagens em relação à madeira sólida por apresentarem estrutura homogênea, não possuem restrição quanto à forma e dimensão das partículas que os compõem e também por terem propriedades físico-mecânicas adaptáveis através do controle das variáveis de produção (Mendes et al., 2012), sendo que essas características não são encontradas na madeira sólida.

De acordo com Rowell et al. (2000), esses painéis podem ser fabricados a partir de qualquer material lignocelulósico, desde que se obtenha um painel com adequado peso específico e alta resistência mecânica.

Os parâmetros mais importantes no processo produtivo de painéis aglomerados estão relacionados à matéria prima e às variáveis de processamento. Dentre as matérias primas, a resina utilizada para a colagem dos resíduos é o componente que apresenta o maior custo de produção e representa um problema de questão ambiental (Ferreira, 2010). As resinas podem ser definidas a partir de diferentes características tais como temperatura de cura, composição química e resistência a umidade (Campos e Lahr, 2004; Barros Filho, 2009).

De acordo com Halvarsson et al. (2008), a eficiência na resistência de um painel aglomerado está relacionada com suas fibras e as ligações adesivas entre elas. Sendo assim, as resinas são fundamentais para garantir a ligação efetiva entre as fibras. Os tipos mais comuns de resinas utilizadas para esses painéis são à base de formaldeído, sendo que, dentre elas se destaca a uréia-formaldeído (Bufalino, 2010; Ferreira, 2010; Silva et al., 2013; Gonçalves et al., 2017).

As principais vantagens de uso da resina uréia-formaldeído estão associadas à sua alta reatividade diminuindo o tempo de cura, facilidade de manuseio, durabilidade, boas propriedades mecânicas e custos relativamente menores ao serem comparadas com resinas sintéticas como a fenol-formaldeído (Ferreira, 2010). Porém, as principais desvantagens estão relacionadas à baixa resistência à umidade e à emissão de formol para o meio ambiente, que pode acarretar problemas de saúde (Katsukake, 2009; Carvalho et al., 2014; Freire et al., 2015).

Devido à problemática da emissão de formaldeído pelos painéis e os fatores de riscos associados, restrições vêm sendo impostas à utilização destas resinas em painéis aglomerados que serão utilizados em ambientes internos. Desta forma, pesquisas estão sendo realizadas a fim de se encontrar matérias-primas alternativas para a produção de resinas que sejam viáveis economicamente, obtidas de fontes renováveis e, principalmente, que sejam ambientalmente corretas. São consideradas resinas naturais os adesivos de derivados proteicos de origem animal e vegetal, derivados do amido, éter celulósico e borracha natural (Souza, 2018).

Uma matéria-prima viável para produção de resinas naturais é o amido de milho, uma vez que o mesmo é um produto de fonte renovável, é biodegradável, não é tóxico, apresenta fácil disponibilidade e conseqüentemente é considerado de baixo custo. De acordo com Singh et al. (2003), a utilização do amido é significativa na indústria podendo ser aplicada como estabilizador de coloides, agente gelificante, espessante, adesivo ou retentor de água. Contudo, para que sua aplicação seja eficaz na produção de painéis, os amidos devem ser modificados como forma de otimizar suas propriedades e diminuir suas características limitantes (Alcázar-Alay e Meireles, 2015).

Os amidos apresentam algumas desvantagens, pois certas condições no processo como temperatura, pH e pressão, restringem a sua utilização em aplicações industriais. Eles apresentam características limitantes como baixa resistência ao cisalhamento e possuem efeito de retrogradação e sinérese. Submeter o amido a modificações contribui para superar esses inconvenientes, resultando em uma diversidade de aplicações nas indústrias química e alimentícia (Sánchez-Rivera et al., 2005).

Neste contexto, é interessante realizar estudos em relação à utilização das resinas à base de amido modificado juntamente com o aproveitamento de resíduos madeireiros, com o propósito de se obter novas possibilidades na produção de painéis aglomerados e agregar mais valor ao produto, representando uma alternativa viável e ecologicamente correta que irá otimizar as propriedades dos painéis de resíduos aglomerados.

Devido ao fato de existirem poucas pesquisas no Brasil que focam na formação de resinas à base de amido modificado aplicados em painéis aglomerados, principalmente no que se refere à viabilidade de uso dessas resinas em aplicações industriais, este estudo se torna relevante na busca por um novo quadro que poderá ser inserido industrialmente.

Neste sentido, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a viabilidade de utilização da resina natural à base de amido de milho modificada com estearato de sódio com aplicação na formação de painéis aglomerados.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Esta pesquisa tem como objetivo geral avaliar a confecção de painéis aglomerados utilizando como material colante uma resina natural à base de amido de milho modificado com estearato de sódio.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Modificar a resina aglomerante natural a base de amido de milho através da adição de estearato de sódio;
- Confeccionar os painéis aglomerados com as resinas a base de uréia-formaldeído, amido de milho e amido de milho modificado;
- Avaliar as propriedades físico-químicas e realizar a análise de infravermelho da resina uréia-formaldeído e das resinas de amido modificadas com estearato de sódio;
- Realizar os ensaios físico-mecânicos dos painéis aglomerados para avaliar a viabilidade técnica de utilização da resina a base de amido de milho modificado.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. PAINÉIS AGLOMERADOS DE MADEIRA

Segundo Iwakiri et al. (2005), através de um processamento adequado os diversos elementos da madeira apresentam a facilidade de serem trabalhados gerando novos produtos de madeira, como por exemplo os painéis de madeira reconstituída, que são formados a partir de uma mistura de materiais que apresentam formas e dimensões variadas, tais como lâminas, sarrafos, pequenas partículas e fibras, e são unidos através de ligações adesivas.

Inúmeros tipos de painéis de madeira reconstituída surgiram desde o final do século XIX, com o intuito de se obter produtos com um melhor custo/benefício nos usos a que se designam (Iwakiri, 2005). São produtos que fazem a substituição da madeira sólida em variadas finalidades, como por exemplo na indústria moveleira e de pisos, e surgiram para suprir a escassez e o alto custo da madeira maciça (BNDES, 2008).

Dentre esses variados tipos existentes, estão os painéis aglomerados de madeira, que surgiram no começo da década de 40, com o intuito de viabilizar o aproveitamento dos resíduos da madeira (Iwakiri, 2005).

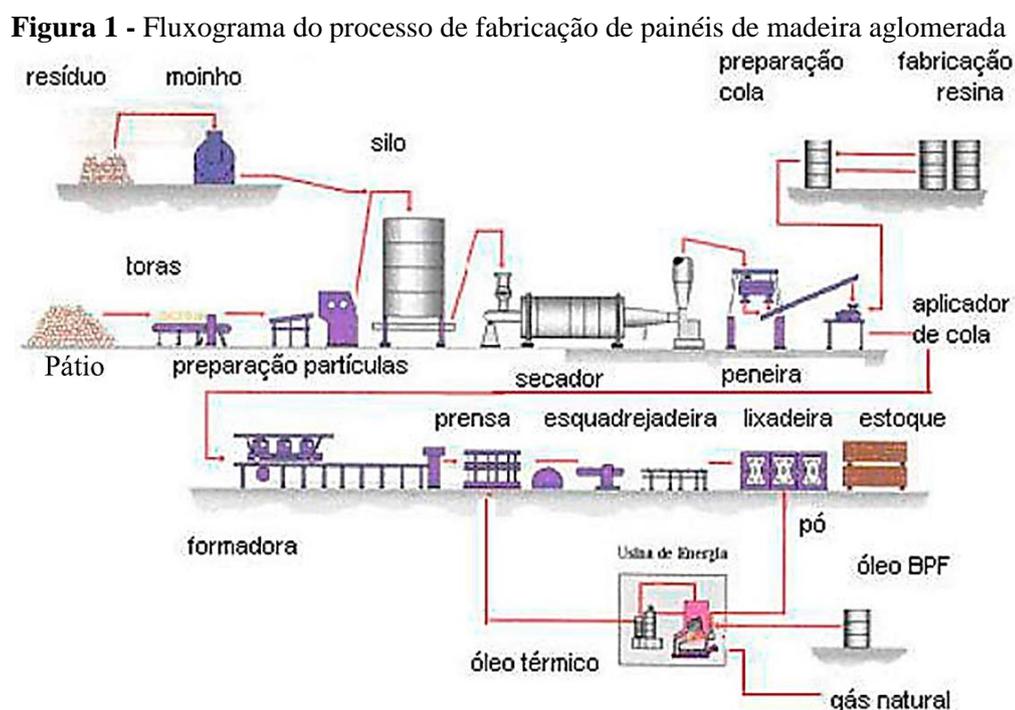
São painéis produzidos com pequenas partículas compostas principalmente pela serragem obtida durante o desdobramento da madeira, que passam por um processo de secagem e mistura com adesivos sintéticos ou naturais e, após serem distribuídas aleatoriamente entre si, são unidas através de pressão e calor na prensa quente, gerando um painel particulado. (Iwakiri, 2005; Nascimento e Lahr, 2007; Bertolini et al., 2013 APUD Macedo et al., 2015).

Em relação à madeira sólida, esses painéis apresentam vantagens como a fácil trabalhabilidade, elevada relação entre massa específica e resistência mecânica, estrutura homogênea e sem defeitos como desvios de grã e nós, além da possibilidade de adequação de suas propriedades físico-mecânicas através do controle de variáveis e manipulação do processo, matéria-prima e ambiente de uso (Eleotério et al., 2000). No processo produtivo as principais matérias-primas são resina, madeira e catalisador. Para melhorar certas propriedades dos painéis em finalidades mais específicas podem ser utilizados outros compostos tais como repelentes de insetos e fungos, emulsão de parafina e retardantes de fogo (Iwakiri, 2005).

A NBR14.810-2, 2013, que estabelece os métodos de ensaio e os requisitos para painéis aglomerados com média densidade, determina que as chapas de madeira aglomerada devem apresentar uma densidade média variando de $0,551 \text{ g.cm}^{-3}$ a $0,750 \text{ g.cm}^{-3}$ e teor de umidade

entre 5% e 13%. Pode-se utilizar partículas com geometria variável e adesivos de natureza tipo uréica ou especiais, sendo necessário o controle do seu teor de formaldeído.

As etapas do processo de fabricação dos painéis de madeira aglomerada estão descritas na Figura 1.



Fonte: Engelmann, 2014.

O Brasil figura entre os dez maiores produtores de painéis de madeira do mundo, com uma produção total de 7,9 milhões de m³ no ano de 2018 e uma produção de pisos laminados de 11,9 milhões de m², feitos por empresas que são qualificadas pelo Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H) oferecido pelo Ministério das Cidades (Relatório IBÁ, 2018). Na Tabela 1 estão descritos os dados de consumo dos painéis de madeira no mês de março e na somatória dos meses de janeiro a março nos anos de 2018 e 2019.

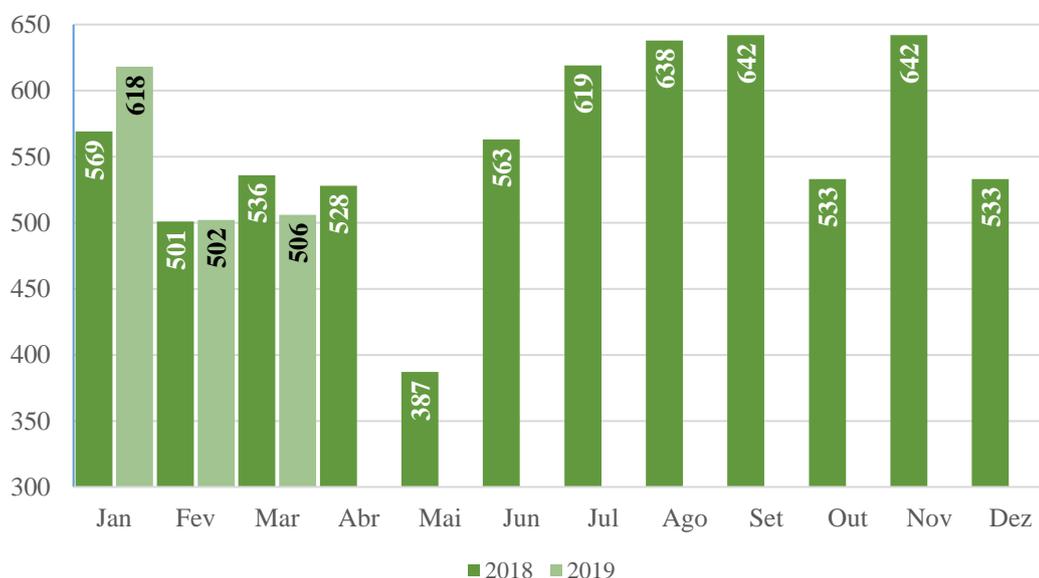
Tabela 1 - Dados de consumo de painéis de madeira em 1000 m³

Painéis de Madeira	Março			Janeiro - Março		
	2018	2019	Var. %	2018	2019	Var. %
Exportações	535	503	-6,0	1.604	1.621	1,1
Importações	116	96	-17,2	308	294	-4,5
Consumo Aparente	1	2	100,0	2	4	100,0
Vendas Domésticas	536	505	-5,8	1.606	1.625	1,2

Fonte: Autor, 2019. Adaptado de Cenários IBÁ, 2019.

Os dados de consumo mensal dos painéis de madeira no período de janeiro de 2018 a março de 2019 estão descritos na Figura 2.

Figura 2 – Evolução do consumo aparente de painéis de madeira em 1.000 m³



Fonte: Autor, 2019. Adaptado de Cenários IBÁ, 2019.

3.1.1. Características da matéria-prima utilizada na fabricação de painéis aglomerados

3.1.1.1. Madeira

Os resíduos das madeiras de floresta plantada representam a base da matéria-prima para fabricação de painéis aglomerados no Brasil, se destacando as espécies dos gêneros *Pinus* spp e *Eucalyptus* spp (Mendes et al., 2012). No ano de 2018, a área total plantada incluindo os dois gêneros foi de 7,84 milhões de hectares, sendo que destes, 6% (cerca de 0,47 milhões), foram destinados ao uso de painéis de madeira e pisos laminados. (Relatório IBÁ, 2018)

Para a produção de painéis aglomerados utiliza-se partículas de madeiras que variam de 3 a 50 mm de espessura, sendo geralmente a serragem obtida do processo de desdobramento da madeira sólida ou outros tipos de material lignocelulósico (NBR 14810-2, 2013). De acordo com Lacombe (2015), não existem restrições quanto ao uso de partículas de diferentes espécies, podendo-se aproveitar tanto os resíduos florestais quanto os industriais, sendo de baixa qualidade ou não, desde que se obtenha um painel com boa densidade, em que há conformidade entre a permeabilidade das partículas e o adesivo utilizado.

3.1.1.2. Resinas

O fenômeno físico-químico de adesão é o responsável pela colagem de madeiras, realizando uma interação a partir da proximidade das estruturas moleculares de resina com a superfície das partículas de madeira através de interações químicas e elétricas. A primeira etapa do processo de colagem é o espalhamento da resina por toda a superfície de partículas de madeira, logo após ocorrem várias fases de movimentação do adesivo para sua absorção nas partículas até se obter sua completa penetração e transformação para o estado sólido através da evaporação do solvente, formando ligações entre as partículas. A intensidade da adesão decorre da força intermolecular de cada ligação, ou seja, dos adesivos, aderentes e suas interfaces. (Iwakiri, 2005; Barros Filho, 2009; Lacombe, 2015).

Segundo Campos e Lahr (2004) as partículas devem ser umedecidas pelo adesivo para ocorrer o processo de adesão, que irá fluir durante o tempo de prensagem para posteriormente atingir o estado sólido. O contato íntimo entre as partículas e o adesivo ocorre controlando as variáveis de temperatura, pressão e a viscosidade do adesivo.

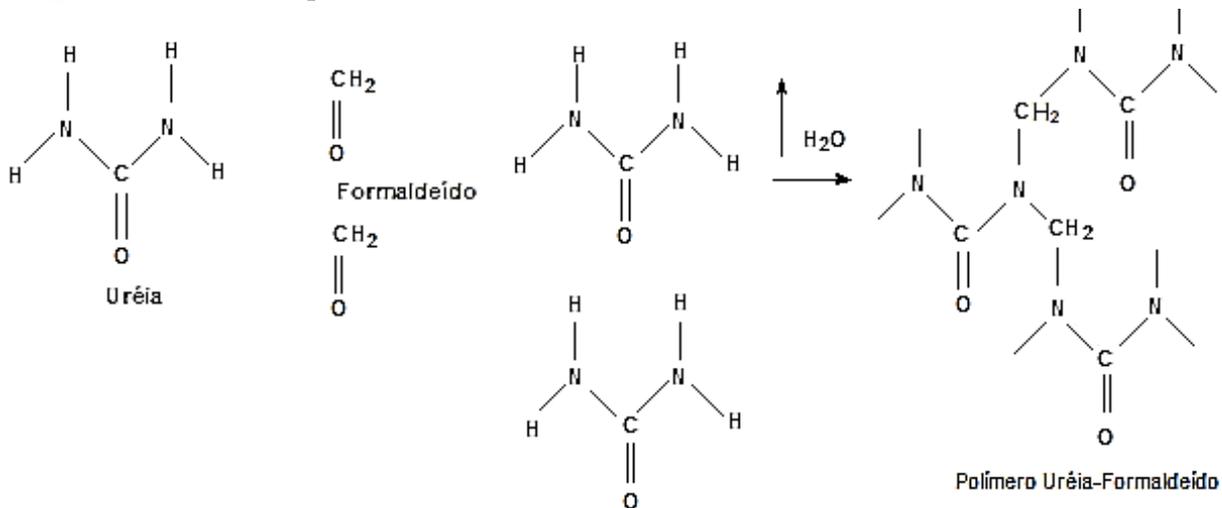
A matéria-prima de maior custo na fabricação dos painéis aglomerados é a resina, que representa aproximadamente 26% do preço total do produto (ABIPA, 2011 APUD Carvalho et al., 2014). Sendo assim deve-se estudar bem a forma de aplicação e quantidade a se usar em cada finalidade dos painéis. As resinas podem ser definidas a partir de diferentes características tais como temperatura de cura, composição química e resistência a umidade (Barros Filho, 2009).

Analisando a partir da composição química, os adesivos podem ser a base de compostos inorgânicos e orgânicos. As resinas inorgânicas mais comuns são à base de silicatos, com ligações de alta resistência mecânica parecidas com o cimento. As resinas orgânicas normalmente são classificadas em naturais ou sintéticas. São consideradas resinas naturais os adesivos derivados proteicos de origem animal e vegetal, derivados do amido, éter celulósico e borracha natural. As resinas sintéticas são classificadas em termofixas ou termoplásticas. As termofixas são mais resistentes a umidade e calor e sua solidificação ocorre através de reações químicas ativadas por meio de catalisadores ou do fornecimento de temperatura, sendo as principais a uréia-formaldeído, fenol-formaldeído, resorcinol-formaldeído e os poliuretanos. As resinas termoplásticas possuem um processo de cura reversível, sendo possível o amolecimento ou difusão através da solubilização ou dispersão em água, sendo exemplos comuns o polietileno de alta densidade e o polipropileno (Campos e Lahr, 2004).

De acordo com Barros Filho (2009), as resinas sintéticas termofixas são as mais empregadas na fabricação de painéis aglomerados, devido à grande resistência à água e por

inibir o crescimento de microrganismos, sendo as de maior destaque a uréia-formaldeído (UF) e a fenol-formaldeído (FF). São classificadas como resinas amínicas, ou seja, resultam da condensação de amidas, aminas ou iminas com aldeídos (por exemplo uréia-formaldeído) formando estruturas tridimensionais complexas (Lessmann, 2008). A resina uréia-formaldeído é a mais utilizada no ambiente industrial em função de possuir menor custo e ótimo desempenho. Sua composição química se baseia em uréia e formaldeído, como mostra a Figura 3, a uma razão molar entre 1,2:1 a 2,0:1. Normalmente está na forma de solução aquosa apresentando coloração branca leitosa, viscosidade variando de 400 a 1000 cP a 25°C, pH na faixa de 7,4 a 7,8 e um valor de 60 a 70% de teor de sólidos (Barros Filho, 2009).

Figura 3 - Estrutura do polímero uréia-formaldeído (UF)



Fonte: Autor, 2019. Adaptado de Sóstones, A. et al, 2010.

Normalmente aditivos químicos são acrescentados à resina como forma de aprimorar as propriedades dos painéis. São utilizados catalisadores, sendo os mais comuns o cloreto de sódio comercial, sulfato de amônia e cloreto de amônia, que aceleram o processo de cura da resina; e emulsões de parafina a 1% do peso sólido da resina, que aumentam a estabilidade dos painéis e reduzem a higroscopicidade do material particulado (Barros Filho, 2009).

Em 2000, Eleotério et al. investigaram sobre o efeito nas propriedades físicas e mecânicas de painéis quando se altera, simultaneamente ou não, o teor de resina e de massa específica, através da variação nas quantidades de resina e de fibras adicionadas ao painel. Utilizou-se a resina uréia-formaldeído reforçada com melamina, acrescentando uma emulsão de parafina e sulfato de amônia como catalisador. Os teores de resina avaliados foram de 6, 8, 10, 12 e 14%; e os valores de massa específica dos painéis foram 0,60; 0,65; 0,70; 0,75 e 0,80

g/cm³, todos combinados de maneira fatorial. Com essa investigação foi possível concluir que os valores de módulo de ruptura, adesão interna e elasticidade dos painéis se comportam de forma diretamente proporcional ao teor de resina e à massa específica. Já os valores de inchamento em espessura e a absorção de água são inversamente proporcionais a essas variáveis.

3.1.2. Fatores que afetam as propriedades dos painéis aglomerados

A qualidade dos painéis aglomerados de madeira está relacionada principalmente a um processo de colagem adequado, que por sua vez depende de uma série de fatores como as características físico-químicas da resina, as características e composição da madeira, e por fim, as finalidades do produto colado (Silva et al., 2019).

De acordo com Iwakiri (2005), dentre as características físico-químicas do adesivo a ser utilizado, deve-se analisar a viscosidade, tempo de gelatinização, teor de substâncias sólidas e o pH. Durante os procedimentos empregados na colagem deve analisar a quantidade de resina de acordo com a sua formulação, a área superficial das partículas de madeira e as variáveis de pressão, temperatura e tempo de prensagem. Além disso, as características e composição da madeira irão influenciar na qualidade dos painéis aglomerados de acordo com as propriedades da madeira que se referem às dimensões dos seus elementos celulares e se relacionam com a permeabilidade e porosidade da madeira, interferindo nos pontos de ligação entre as partículas e a resina.

3.1.3. Impactos ambientais relacionados ao processo produtivo

Em muitos casos, os problemas de âmbito ambiental como a geração de resíduos e a poluição estão relacionados aos processos produtivos (Weber, 2011). Um aspecto a se considerar no processo de manufatura dos painéis aglomerados de madeira é a utilização de adesivos que apresentam formaldeído em sua composição, substância tóxica, o qual pode ser liberada ao ambiente mesmo após a cura do painel (Maloney, 1977). Essa liberação se dá pelo rompimento das ligações do formaldeído na resina devido à exposição à umidade (Campos e Lahr, 2004).

Sendo assim, com o objetivo de reduzir os fatores de risco associados ao processo produtivo, tem-se a necessidade de encontrar matérias-primas alternativas para produzir um adesivo que é qualificado como uma resina com apelo ambiental relacionada à sua origem e sem emissão de formaldeído, com elevada resistência à umidade e baixo custo, como por exemplo o uso de adesivos que possuem em sua base componentes naturais como o amido.

3.2. UTILIZAÇÃO DE ADESIVOS NATURAIS

De acordo com Gonçalves et al. (2003), ultimamente tem-se pesquisado vários materiais para realizar a substituição das resinas sintéticas utilizadas em painéis aglomerados.

Valenzuela et al. (2012) utilizaram um adesivo feito de taninos que foram extraídos das cascas da espécie *Pinus radiata* para a formação de painéis aglomerados. Nos resultados, as formulações adesivas que geraram melhores resultados continham apenas os taninos sem a adição de adesivo sintético.

Silva et al. (2013) estudaram a viabilidade de utilização de resinas à base de óleo de mamona na produção de painéis com madeiras das espécies *Pinus caribaea* e *Eucalyptus grandis*. Os parâmetros avaliados foram o módulo de elasticidade e ruptura na flexão, inchamento em espessura, absorção de água após 24 horas e adesão interna. Os painéis apresentaram valores de parâmetros satisfatórios, exceto para a absorção de água após 24 horas.

Além destes materiais, o amido vem sendo amplamente pesquisado, pois seu baixo custo em função de sua alta disponibilidade e sua versatilidade para manipulação química fazem com que ele seja considerado um material atraente para substituir polímeros sintéticos (Imam et al., 2001). Segundo Wang et al. (2017) o amido em seu estado natural fornece propriedades adesivas e formadoras de filme.

Souza (2018), estudou sobre a aplicação do amido de milho como matéria-prima para a resina natural realizando o reaproveitamento de resíduos do processo de fabricação de painéis. Os resultados encontrados mostraram que a resina utilizada apresenta perspectivas adequadas para fabricação de painéis de resíduos aglomerados e que modificações na composição da resina contribuiriam para melhorar a resistência mecânica dos painéis.

3.2.1. Amido

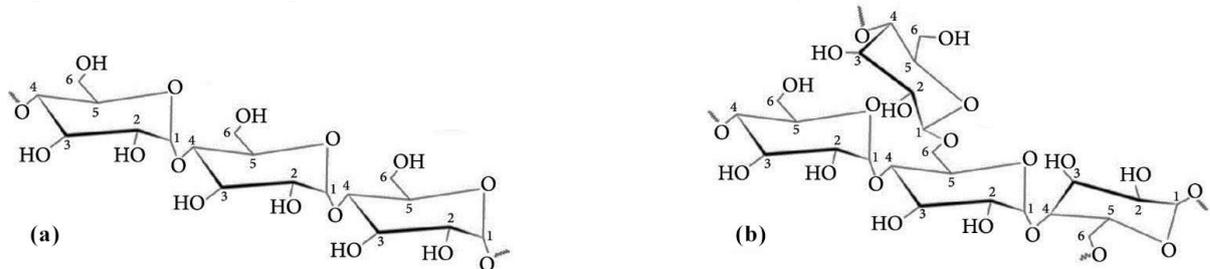
O amido é considerado um dos polissacarídeos mais abundantes do reino vegetal, sendo usado pelas plantas para armazenar energia. É encontrado em uma grande variedade de espécies tais como cereais, leguminosas, tubérculos e alguns frutos fisiologicamente imaturos (Li et al., 2014).

Nos cloroplastos, o amido é acumulado durante o período de luz para ser utilizado durante o momento de escuridão, e o seu acúmulo se dá na forma de grânulos de amido. A reserva de amido no organismo de muitas plantas tem um importante uso comercial (Bemiller e Whistler, 2009).

Comercialmente é considerado um polímero renovável, biodegradável, com alta disponibilidade e baixo custo. Possui aplicações industriais como estabilizador de colóides, agente espessante, gelificante e formador de volume, material de colagem como colas e pastas (SINGH et al., 2003; Ortiz-Fernández et al., 2017).

Os grânulos de amido são compostos por numerosas unidades de glicose, principalmente amilose e amilopectina, unidas por ligações glicosídicas. Como mostra a Figura 4, a amilose é formada por cadeias lineares de glicose unidas por ligações α -1,4. Muitas de suas propriedades decorrem de sua habilidade em formar diferentes estruturas moleculares. Já a amilopectina é formada por cadeias lineares de ligações α -1,4 e ramificações contendo glicose unidas por ligações α -1,6. (Tester et al., 2004; Denardin e Silva, 2009).

Figura 4 - Estrutura do grânulo do amido: (a) Amilose e (b) Amilopectina



Fonte: Alcázar-Alay e Meireles, 2015.

Plantas de variedades comuns de milho, arroz, trigo e batata, contêm cerca de 20-30% de amilose e 70-80% de amilopectina. (Tsukamoto et al., 2012). Os grânulos de amido apresentam variadas formas e tamanhos dependendo da fonte botânica, com dimensões variando de 0,1 até 200 μm (Bemiller e Whistler, 2009).

A gelatinização é uma importante propriedade físico-química do amido que ocorre quando os grânulos são aquecidos em água, resultando na perda da estrutura granular e no seu inchamento de forma irreversível. Conforme os grânulos continuam dilatando ocorre um aumento considerável da reologia do sistema devido a transferência da amilose presente no grânulo para a fase aquosa, resultando na solubilização do amido e caracterizando o processo de gelatinização (Tharanathan, 2002).

O processo de armazenagem e resfriamento do amido gelatinizado ocasiona o fenômeno de retrogradação, que ocorre por causa da perda de energia do sistema e faz com que as cadeias do amido se rearranjem voltando a formar uma estrutura. A amilose que foi transferida para a fase aquosa se associa em forma de cadeias envolvendo os grânulos gelatinizados. Como consequência o sistema torna-se viscoelástico e turvo, podendo até ocorrer o efeito de sinérese,

que caracteriza a precipitação de grânulos amido e resulta na separação de fases (Denardin & Silva, 2008).

A amilose e a amilopectina atuam de formas diferentes. Enquanto a amilose tem uma maior tendência para retrogradar e produzir géis duros e filmes fortes, a amilopectina apresenta maior estabilidade e produz géis moles e filmes fracos (Bemiller e Whistler, 2009). As proporções amilose:amilopectina variam de acordo com a fonte botânica e o grau de maturação da planta (Tester et al., 2004).

Para dispersões concentradas de amido, o estado de equilíbrio dificilmente é alcançado e suas propriedades físicas são frequentemente dependentes do tempo e são sensíveis a temperatura e processamento do sistema. Já a dispersão em excesso de água causa grandes alterações nas propriedades reológicas do sistema e interfere no seu comportamento e funcionalidade. A formação de novas estruturas após o processo de retrogradação pode ser prejudicial ou benéfica para a qualidade dos produtos de amido (Bemiller e Whistler, 2009).

Para o caso da utilização de adesivos a base de amido para fabricação painéis aglomerados madeira, o efeito de colagem ocorre durante o processo de prensagem dos painéis, momento em que o amido gelatinizado forma interações com os constituintes da serragem. Entretanto, nesse caso as propriedades adesivas do amido não mostraram força substancial para colar o material de madeira, provavelmente devido à ocorrência do fenômeno de retrogradação que forma uma estrutura granular com característica mais amorfa do que cristalina, sendo necessário modificar o amido para competir com adesivos à base de petroquímica. Essa modificação do amido pode ser realizada através de tratamentos com ácidos e bases, tratamentos térmicos ou com enzimas, tratamentos físicos, dentre outros (Li et al., 2014; Alcázar-alay e Meireles, 2015; Ortiz-Fernández et al., 2017).

3.2.2. Amido modificado

Além das ligações glicosídicas reativas, o amido possui grupos hidroxila que reagem facilmente com muitas outras substâncias químicas (Gu et al., 2019). Os amidos quimicamente modificados apresentam maior usabilidade pois exibem excelentes propriedades físico-químicas que são notoriamente alteradas (Zdanowicz et al., 2010 APUD Zhang et al., 2015). Através das modificações, a estrutura molecular dos adesivos de amido deve ser reforçada para desenvolver um adesivo de madeira de alto desempenho (Zhang et al., 2015).

Alguns estudos têm indicado que os surfactantes poderiam efetivamente retardar a retrogradação do amido, formando um complexo amido-surfactante (Eliasson, 1994;

Gudmundsson, 1992; Kim e Robinson, 1979; Richardson, Kidman, Langton, e Hermansson, 2004 APUD Li et al., 2014).

Li et al. (2014) encontraram que a estabilidade de mobilidade e armazenamento de adesivos à base de amido modificados com 1,5 a 2% de dodecilsulfato de sódio (DSS) (base de amido seco) foram significativamente aumentadas. As possíveis razões para esse aumento estão relacionadas à formação do complexo amilose-DSS ou pela simples adsorção de DSS com as moléculas de amido, resultando na inibição da retrogradação do amido no adesivo.

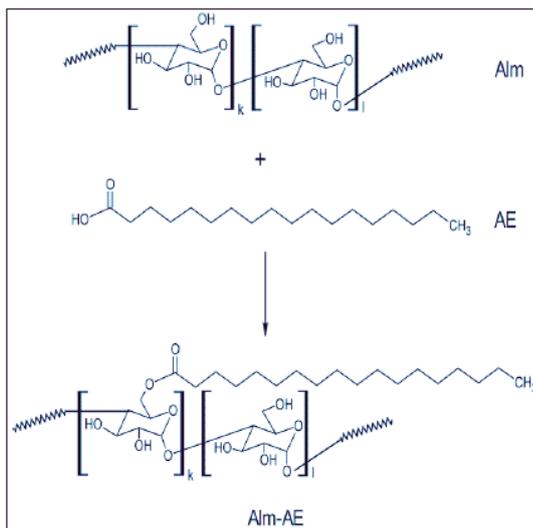
Além do dodecilsulfato de sódio, outros materiais podem ser utilizados como surfactantes, como por exemplo o estearato de sódio (ES).

3.2.2.1. Estearato de sódio

O estearato de sódio é um sal de sódio dos ácidos graxos do ácido esteárico usado como agente surfactante. Tanto o ácido esteárico quanto o estearato de sódio já foram pesquisados como agentes modificadores do amido.

Murillo-Ruíz (2017) observou que a interação das cadeias de ácido esteárico ocorre através de ligações de hidrogênio com os grupos OH presentes nas macromoléculas de amido, em um processo chamado esterificação, como mostra a Figura 5. Os grânulos de amido tiveram seus tamanhos reduzidos de acordo com a relação amido/ácido esteárico resultando em uma morfologia com maior homogeneidade de acordo com o aumento do grau de esterificação e teor de ácido esteárico.

Figura 5 - Representação esquemática da reação entre amido e ácido esteárico

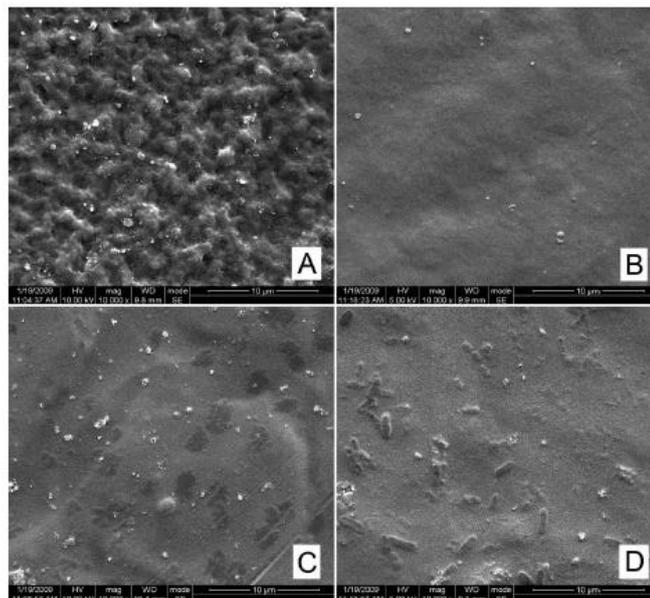


Fonte: Murillo-Ruíz, 2017.

De acordo com Wu et al. (2012), o amido de milho forma complexos de inclusão com ácido esteárico e com o estearato de sódio. Quando complexo amilose-ácido graxo é formado, a viscosidade da pasta de amido aumenta, juntamente com reduções na tendência de retrogradação, hidrofobicidade e hidrólise enzimática do material amiláceo. Com base nos estudos feitos pelos mesmos autores, a adição tanto de ácido esteárico quanto de estearato de sódio em um filme à base de amido contribuiu com propriedades como uma menor tensão superficial da pasta, coeficiente de atrito do filme de amido reduzido e menor sensibilidade a adsorção de umidade do filme.

A Figura 6 apresenta as imagens da morfologia dos filmes de (a) amido; e amido acrescentando estearato de sódio nas proporções de (b) 1%, (c) 3% e (d) 5% em base seca. É possível observar uma estrutura irregular na superfície do filme formado apenas por amido, que provavelmente ocorreu devido à retrogradação do amido. Nos filmes feitos com amido acrescentando estearato de sódio, os complexos formados resultaram em filmes mais lisos, relativamente uniformes e basicamente sem defeitos. Porém, a adição de 3 e 5% de estearato de sódio acarretou a formação de poços (para 3% ES) e orifícios (para 5% ES) trazendo uma maior irregularidade aos filmes em comparação com a adição de 1%.

Figura 6 - Imagens da morfologia dos filmes de (a) amido; e amido acrescentando estearato de sódio nas proporções de (b) 1%, (c) 3% e (d) 5% em base seca



Fonte: Wu et al., 2012

4. METODOLOGIA

4.1. OBTENÇÃO DA RESINA URÉIA-FORMALDEÍDO

A resina à base de uréia-formaldeído foi adquirida através de doação realizada por empresa do segmento na cidade de Uberaba, MG. De acordo com a empresa, a resina apresenta as características dispostas na Tabela 2. A Figura 7 apresenta a imagem da aparência da resina.

Tabela 2 - Características físico-químicas da resina uréia-formaldeído
Resina Uréia-formaldeído a 25°C

Viscosidade	220 cP
Densidade	1,258 g/cm ³
pH	7,8

Fonte: Empresa doadora, 2019.

Figura 7 - Imagem da resina uréia-formaldeído



Fonte: Autor, 2019.

4.2. PREPARAÇÃO DO ADESIVO NATURAL

Os adesivos naturais foram preparados no laboratório utilizando água destilada e as devidas proporções de amido comercial e estearato de sódio dispostas na Tabela 3, sendo que a quantidade de amido utilizada foi de 10 e 20% (m/v) e a de estearato de sódio foi de 2% (m/v). Com o auxílio da chapa de aquecimento, as misturas adicionadas em um béquer foram aquecidas sob agitação até se obter uma temperatura na faixa de 65 °C a 77 °C, sendo a faixa de temperatura ideal para o amido perder sua cristalinidade e ser gelatinizado (Weber et al., 2009).

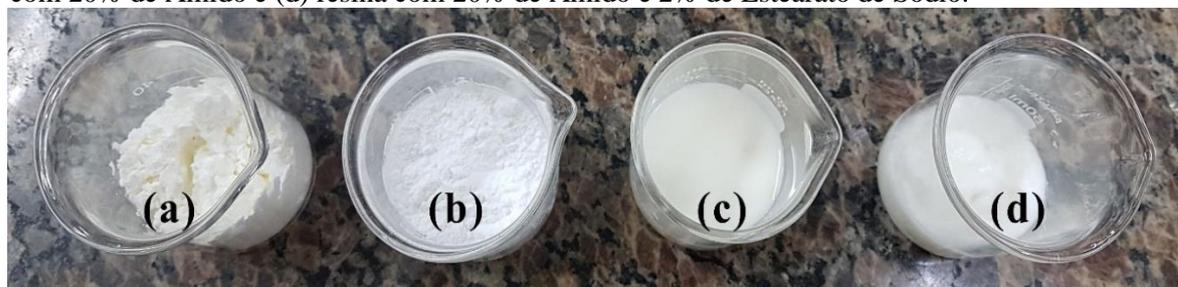
Tabela 3 - Proporções de amido e estearato de sódio para preparação do adesivo

Tratamento	Material	Proporção da Resina (% m/v)	
		Amido de Milho (%)	Estearato de Sódio (%)
1	Serragem	20	0
2	Serragem	20	2
3	Serragem	10	2

Fonte: Autor, 2019.

A Figura 8 apresenta a aparência dos grânulos de amido de milho puro *in natura* em (a), dos grânulos de estearato de sódio *in natura* em (b), do adesivo natural composto apenas por 20% de amido de milho em (c) e do adesivo natural com composição de 20% de amido e 2% de estearato de sódio em (d). Comparando a aparência dos adesivos é possível perceber que em (c) o adesivo apresenta uma colocação amarelada que se aproxima à do amido de milho *in natura*, ao passo que em (d) a cor é branca e se aproxima à coloração do estearato *in natura*. As texturas das resinas são semelhantes. Na Figura 8, a aparência da resina composta por 10% de amido e 2% de estearato foi omitida por apresentar elevada semelhança com a resina apresentada em (d).

Figura 8 - Da esquerda para a direita. (a) amido sem modificação; (b) estearato de sódio; (c) resina com 20% de Amido e (d) resina com 20% de Amido e 2% de Estearato de Sódio.



Fonte: Autor, 2019.

4.3. DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DAS RESINAS

Determinou-se as propriedades físico-químicas da resina uréia-formaldeído e das resinas produzidas com amido de milho e suas modificações. As análises foram realizadas em triplicata. Dentre as propriedades estão:

4.3.1. Teor de Sólidos

Após a homogeneização da resina, pesou-se uma amostra de aproximadamente 1,0 g, encontrando o peso úmido. A amostra foi colocada na estufa a 103 °C por aproximadamente 3

horas. Após esse período a amostra foi pesada novamente, encontrando o peso seco (Ferreira, 2010). A determinação do teor de sólidos foi realizada a partir da Equação 1.

$$TS = \frac{PS}{PU} \times 100 \dots\dots\dots \text{Equação 1}$$

Sendo:

TS = Teor de Sólidos (%);

PS = Peso Seco (g);

PU = Peso Úmido (g).

4.3.2. Densidade

Para determinar a densidade, utilizou-se a técnica de picnometria. Primeiramente foi realizado a calibração da vidraria pesando o picnômetro vazio (PV) com a tampa. Logo após, o picnômetro foi completado com água destilada até a borda e tampado de forma a transbordar o excesso de produto. Secou-se toda a água em excesso e pesou-se o conjunto picnômetro e água, determinando o valor do picnômetro cheio (PC). A partir do valor de densidade da água e da temperatura de aferição, foi possível determinar o volume real da vidraria a partir da Equação 2.

Para determinar a densidade de cada resina, pesou-se o mesmo picnômetro vazio (PV) com a tampa. Logo após, o picnômetro foi completado com o adesivo até a borda e tampado de forma a transbordar o excesso de produto. Limpou-se toda a resina em excesso e pesou-se o conjunto picnômetro e adesivo, determinando o valor do picnômetro cheio (PC). A determinação da densidade da resina foi realizada a partir da Equação 2.

$$d = \frac{PC-PV}{V} \dots\dots\dots \text{Equação 2}$$

Sendo:

d = Densidade da resina (g.cm⁻³)

PC = Massa do conjunto picnômetro e resina (g);

PV = Massa do picnômetro vazio (g);

V = Volume do picnômetro (cm⁻³).

4.3.3. Valor de pH

O pH de cada resina foi determinado utilizando um peagâmetro digital de bancada à temperatura de 25°C. Registrou-se o valor de pH após quatro minutos de contato da resina com o eletrodo.

4.4. ANÁLISE DE INFRAVERMELHO DOS ADESIVOS

As análises de espectrometria na região do infravermelho da resina ureia-formaldeído e das resinas produzidas com amido de milho modificado, foram realizadas em um espectrômetro de infravermelho PLATINUM-ART modelo ALPHA Perkin Elmer, como mostra a Figura 9. Os espectros foram obtidos na faixa de 600-4000 cm^{-1} , a temperatura ambiente.

Figura 9 - Imagem do espectrômetro



Fonte: Autor, 2019.

4.5. PREPARAÇÃO DAS FIBRAS DE MADEIRA

As partículas de madeira utilizadas para a formação dos painéis aglomerados foram doadas por uma marcenaria situada na cidade de Uberaba, Minas Gerais, provenientes da serragem obtida nos processos de corte e acabamento dos produtos. As partículas geradas durante esse processo foram passadas em um conjunto de peneiras de Mesh 4 a 7, resultando em um tamanho de partículas de aproximadamente 3,36 mm e se adequaram à norma NBR 14810-2 da ABNT (2013), que estipula um tamanho de partículas de 3 a 50 mm para a

fabricação dos painéis. Optou-se pelo uso desse tipo de partículas que diariamente são produzidas e descartadas sem valorização, com o intuito de realizar o seu aproveitamento e diminuir a quantidade de resíduos gerados em marcenarias.

As partículas de serragem apresentadas na Figura 10 foram deixadas para secar ao ar livre em temperatura ambiente, pois, neste caso, será acrescentado água à mistura de serragem e resina durante a confecção dos painéis para melhorar a adesão entre a serragem e a resina. Sendo assim observou ser desnecessário o controle da umidade dessas partículas.

Figura 10 – Aparência das fibras de madeira (Serragem)



Fonte: Autor, 2019.

4.6. FORMAÇÃO DOS PAINÉIS AGLOMERADOS

Para o estudo da viabilidade de uso do adesivo natural, primeiramente formou-se painéis utilizando as partículas de serragem encoladas com resina uréia-formaldeído na proporção de 12% da massa de sólidos secos, acrescentando 30 g de água na resina para facilitar a mistura da resina com as fibras (Mendes et al., 2012).

Os painéis de adesivo natural foram formados utilizando apenas serragem acrescentando 50% de resina em relação à massa de sólidos secos e 20 g de água. Foi utilizado uma quantidade maior de adesivo natural para se obter aproximadamente o mesmo teor de sólidos da resina uréia-formaldeído, descrito por Mendes et. al., 2012, em cada painel. Foram produzidos 6 corpos de prova para cada tipo de tratamento.

A formação do colchão de partículas foi feita em uma prensa manual com forma de aço inoxidável, com dimensões de 6 x 5 x 6 cm contendo fundo e tampa removíveis, sendo todas as peças previamente untadas com óleo vegetal para facilitar a retirada do corpo de prova, como mostra a Figura 11. As partículas foram uniformemente distribuídas por toda a extensão da

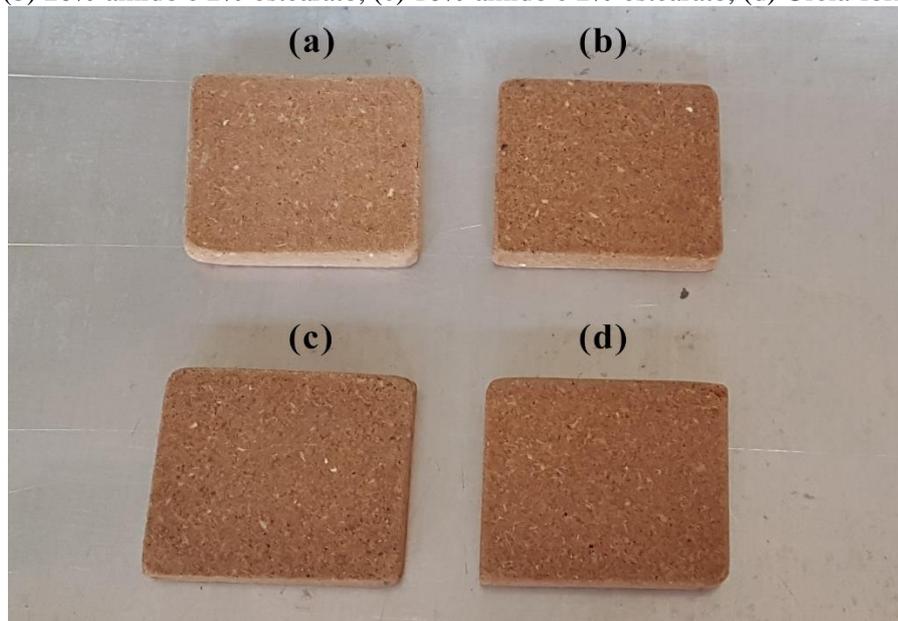
forma e o conjunto formado foi encaixado uma prensa manual em que a prensagem foi realizada através de dois parafusos. A prensa foi levada para estufa com circulação de ar onde o processo de prensagem aconteceu a uma temperatura de 120°C por aproximadamente quatro horas, sendo que após uma hora de secagem na estufa os parafusos da prensa foram reapertados. Por fim, o corpo de prova foi retirado da prensa e lixado para se obter uma superfície plana. Ao final do processo, cada corpo de prova tem dimensões de aproximadamente 5,7 x 4,9 x 1,2 cm. A Figura 12 apresenta a aparência dos painéis formados em cada composição de resina.

Figura 11 - Prensa manual utilizada para a formação dos painéis



Fonte: Autor, 2019.

Figura 12 – Aparência dos painéis com a seguinte composição de resina: (a) 20% amido, (b) 20% amido e 2% estearato, (c) 10% amido e 2% estearato, (d) Uréia-formaldeído



Fonte: Autor, 2019.

4.7. REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS FÍSICO-MECÂNICOS DOS PAINÉIS

Determinou-se as características físico-mecânicos dos corpos de prova produzidos na prensa manual seguindo a norma NBR 14810-2 da ABNT (2013), prevista para painéis de madeira aglomerada. Os testes foram realizados em triplicata. Dentre as propriedades estão:

4.7.1. Densidade

A densidade foi determinada através do quociente da massa pelo volume dos painéis, Equação 3, sendo que o volume foi encontrado através do produto das medidas de comprimento largura e espessura do corpo de prova, realizadas com a ajuda de um paquímetro.

$$d = \frac{m}{V} \dots\dots\dots \text{Equação 3}$$

Sendo:

d = Densidade do corpo de prova (g.cm^{-3})

m = Massa do corpo de prova (g);

V = Volume do corpo de prova (cm^3).

4.7.2. Umidade

Para encontrar teor de umidade de cada corpo de prova utilizou-se o processo de secagem à temperatura de aproximadamente (103 ± 2) °C até se obter um valor de massa constante. Para este teste, mediu-se a massa de cada painel antes e após o processo de secagem. (Ferreira, 2010)

A determinação do teor de sólidos foi realizada a partir da Equação 4:

$$U = \frac{m_i - m_f}{m_f} \times 100 \dots\dots\dots \text{Equação 4}$$

Sendo:

U = Umidade do corpo de prova (%)

m_i = Massa inicial do corpo de prova (g);

m_f = Massa final do corpo de prova (g);

4.7.3. Absorção de Água

O teor de absorção de água de cada corpo de prova foi encontrado após imersão dos painéis aglomerados em água destilada por um período de 24 horas. Para este teste, mediu-se a massa de cada painel antes e após 24 horas do processo de imersão (Ferreira, 2010).

A determinação dos teores de absorção de água em 24 horas foi realizada a partir da Equação 5:

$$AA = \frac{m_f - m_i}{m_i} \times 100 \dots\dots\dots \text{Equação 5}$$

Sendo:

AA = Absorção de água do corpo de prova em 24 horas (%)

m_i = Massa inicial do corpo de prova (g);

m_f = Massa final do corpo de prova após 24 horas (g);

4.7.4. Inchamento em Espessura

O teor de inchamento em espessura de cada corpo de prova foi encontrado após imersão dos painéis aglomerados em água destilada por um período de 24 horas. Para este teste, mediu-se a espessura de cada painel antes e após 24 horas do processo de imersão (Ferreira, 2010).

A determinação dos teores de inchamento em 24 horas foi realizada a partir da Equação 6:

$$IE = \frac{E_f - E_i}{E_i} \times 100 \dots\dots\dots \text{Equação 6}$$

Sendo:

IE = Inchamento em espessura do corpo de prova em 24 horas (%)

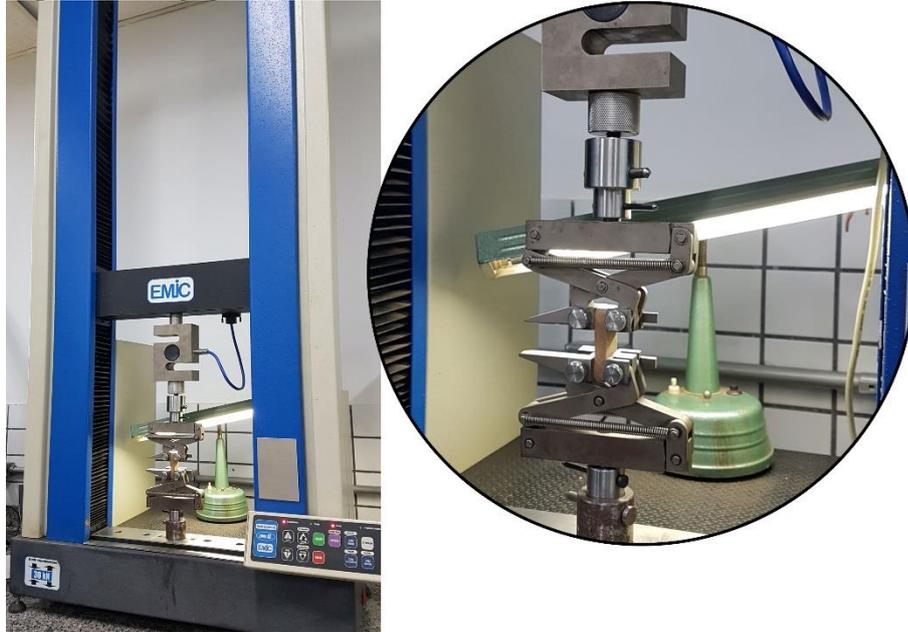
E_i = Espessura inicial do corpo de prova (g);

E_f = Espessura final do corpo de prova após 24 horas (g);

4.7.5. Resistência à Tração Perpendicular

O ensaio de resistência à tração perpendicular foi realizado utilizando um equipamento de ensaio mecânico universal EMIC modelo DL-3000, apresentada na Figura 13, que suporta uma capacidade máxima de 30 KN.

Figura 13 - Equipamento de ensaio mecânico universal



Fonte: Autor, 2019.

4.8. ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística foi realizada utilizando o teste não paramétrico Kruskal-Wallis com um intervalo de confiança de 90%. Com essa análise foi possível obter os p-valores das médias em cada parâmetro tendo como parâmetro de comparação as médias obtidas pela resina uréia-formaldeído.

Para a realização da análise utilizou-se o *Software GraphPad Prism 8.2.1*.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DAS RESINAS

As características físico-químicas das resinas uréia-formaldeído (UF), amido de milho (AM) e suas respectivas modificações com estearato de sódio (ES) estão apresentadas a seguir.

5.1.1. Teor de Sólidos

Após a realização da análise em triplicata do teor de sólidos (TS) das resinas encontrou-se os valores descritos na Tabela 4.

Tabela 4 - Teor de sólidos (TS) para diferentes composições de resina

Tratamento	Composição da Resina (%)			Teor de Sólidos (%)		
	UF	AM	ES	Média	Desvio padrão	Coefficiente de Variação (%)
1	100	0	0	64,227	1,830	2,850
2	0	20	0	18,645	0,317	1,699
3	0	20	2	17,855	0,258	1,447
4	0	10	2	10,295	0,385	3,744

Fonte: Autor, 2019.

De acordo com Iwakiri (2005), o teor de substâncias sólidas indica a quantidade de sólidos contidos na resina que formarão as tensões da linha de cola entre a resina e a madeira após toda a evaporação da água e solidificação do adesivo, sendo assim, quanto maior esse valor de teor de sólidos maior é a intensidade do fenômeno de adesão e, conseqüentemente, melhor é a eficiência de cola da resina.

Foi possível perceber que a resina à base de amido de milho apresentou um teor de sólidos muito inferior à resina uréia-formaldeído e que a adição de estearato de sódio na resina de amido de milho promoveu uma redução deste teor, ao analisar-se a proporção ES/AM. Essa redução no teor de sólidos pode ser justificada pela formação de complexos dos grupos hidroxila do amido com o estearato de sódio, que ocasiona na redução de grupos OH na estrutura do amido (Murillo-Ruíz, 2017), reduzindo o número de sítios disponíveis na amilose e amilopectina, componentes principais do amido de milho.

Os coeficientes de variação em todos os tratamentos foram classificados como baixos (< 10%) indicando uma baixa variabilidade dos resultados experimentais em cada tratamento.

Com relação ao teor de sólidos dos adesivos naturais, por eles apresentarem um valor muito inferior ao da resina UF, sugere-se a utilização de uma quantidade maior de adesivo natural para se obter aproximadamente o mesmo teor de sólidos da resina uréia-formaldeído e não comprometer o processo de adesão dos painéis aglomerados.

5.1.2. Densidade

Os valores médios de densidade para as resinas estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5 – Densidade (D) para diferentes composições de resina

Tratamento	Composição da Resina (%)			Densidade (g.cm ⁻³)		
	UF	AM	ES	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
1	100	0	0	1,263	0,0022	0,175
2	0	20	0	1,167	0,0131	1,119
3	0	20	2	1,059	0,0056	0,531
4	0	10	2	1,007	0,0008	0,075

Fonte: Autor, 2019.

O valor médio das três análises da densidade da resina uréia-formaldeído foi de 1,263 g.cm⁻³, um valor bem próximo ao fornecido pela empresa doadora da resina de 1,258 g.cm⁻³.

Foi possível perceber que a resina à base de amido de milho apresentou um valor de densidade inferior ao da resina uréia-formaldeído e que a adição de estearato de sódio para a modificação do amido reduziu os valores deste parâmetro. Os coeficientes de variação em cada tratamento foram classificados como baixos (< 10%) apontando a confiabilidade dos resultados experimentais.

De acordo com Ferreira (2010), a propriedade de densidade está diretamente ligada com a quantidade de sólidos que a resina possui e o número de monômeros reativos presentes na solução. Sendo assim, a redução observada na densidade está associada ao baixo teor de sólidos das resinas à base de amido. Além disso, a grande quantidade de água na resina justifica o fato de os valores estarem próximos ao valor de densidade da água. A norma NBR 14810-2 da ABNT (2013) não determina valores de densidade para as resinas, porém, comparando com a densidade da resina uréia-formaldeído, todas as resinas de amido modificado são aceitáveis para a formação de painéis.

5.1.3. Valor de pH

Os valores médios do pH para as resinas estão descritos na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores de pH para diferentes composições de resina

Tratamento	Composição da Resina (%)			Média	pH	
	UF	AM	ES		Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
1	100	0	0	8,097	0,129	1,593
2	0	20	0	9,400	0,010	0,106
3	0	20	2	9,617	0,142	1,475
4	0	10	2	9,810	0,053	0,539

Fonte: Autor, 2019.

Foi possível observar que a resina produzida com amido de milho apresentou um valor de pH maior do que a resina de uréia-formaldeído. Além disso, observou-se que os valores de pH aumentaram com a adição de estearato de sódio à resina. Isso deve-se ao fato da solubilização do sal em água com consequente reação de hidrólise reduzindo o número de sítios ácidos presentes na molécula de amido (Murillo-Ruíz, 2017). Classificou-se como baixos os coeficientes de variação de cada tratamento (< 10%).

A norma NBR 14810-2 da ABNT (2013) não determina valores de pH para as resinas. De acordo com Iwakiri (2005), uma resina não deve ter um valor de pH ultrapassando o valor de 11, pois pode resultar na degradação das partículas de madeira. Com isso ocorre o rompimento das ligações adesivas e consequentemente a diminuição das características físico-mecânicas do painel (Parthasarathy et al., 2011). Sendo assim os valores de pH de todas as resinas de amido modificado são aceitáveis para a formação de painéis.

5.2. ANÁLISE DE INFRAVERMELHO DAS RESINAS

Após a realização da análise de infravermelho das resinas uréia-formaldeído (UF), amido de milho (AM) e suas respectivas modificações com estearato de sódio (ES), foi possível observar os resultados descritos nas Figuras 14 e 15.

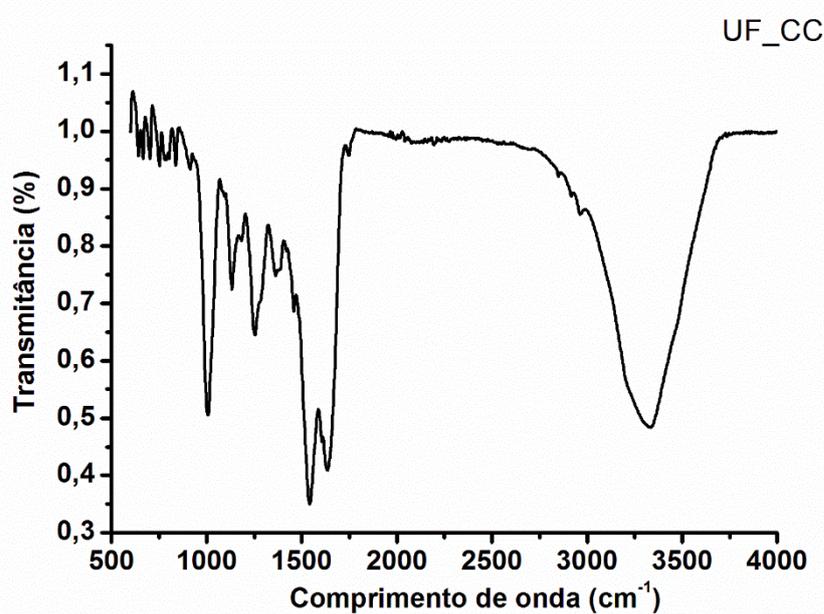
5.2.1. Resina uréia-formaldeído

De acordo com a Figura 14, na região em torno de 3300 cm^{-1} , observou-se uma banda característica de OH, a qual pode ser atribuída a banda de OH da água usada na solução da

resina uréia-formaldeído. Em torno de 1650 cm^{-1} , observou-se uma banda com característica de deformação axial C=O, sendo que foi observado uma banda de maior intensidade em torno de 1550 cm^{-1} atribuída à deformação axial N-H (grupos NH_2) da ureia não polimerizada.

De acordo com Silverstein (2004), o efeito de ressonância que ocorre em grupos C=O e N-, acoplados, onde o par de elétrons do N é compartilhado com o carbono do grupo C=O, torna a ligação dupla com caráter de ligação simples, podendo sugerir que a C=O tem a vizinhança de dois grupos N-H.

Figura 14 - Análise de Infravermelho da resina uréia-formaldeído



Fonte: Autor, 2019.

5.2.2. Amido de milho modificado

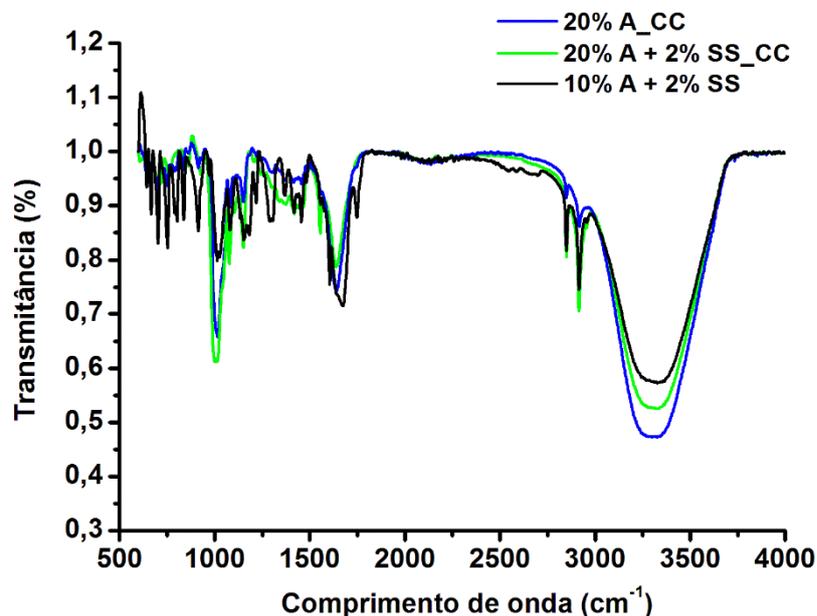
De acordo com a Figura 15, no espectro do amido, a banda larga em 3300 cm^{-1} refere-se ao estiramento das hidroxilas da sua estrutura. Nesses espectros, pode ser observado duas bandas de absorção de alta intensidade (2850 cm^{-1} e 2800 cm^{-1}), atribuídas respectivamente às deformações assimétrica e simétrica dos grupos CH_2 .

Em trabalho realizado por Costa (2017) observou-se bandas para o amido nas regiões de 1150 a 1100 cm^{-1} , que são atribuídas aos estiramentos das ligações C-O e C-C (álcoois), além da banda em 1080 cm^{-1} atribuída ao grupo C-O-C (éter) presente no anel de seis átomos da estrutura do amido.

Observou-se um aumento na intensidade do pico em torno 2900 cm^{-1} , o qual deve-se ao estiramento e deformações angulares de ligações C-H, presentes na estrutura do amido de milho modificado com estearato de sódio.

Em torno de 1700 cm^{-1} foram observados picos característicos de estiramento C=O de carbonilas, indicando a presença destes grupos após a modificação com estearato, haja visto que este pico não aparece para a amostra de amido sem modificação (20% A_CC) (Murillo-Ruíz, 2017).

Figura 15 - Análise de Infravermelho das resinas com amido de milho modificado



Fonte: Autor, 2019.

5.3. DETERMINAÇÃO DOS ENSAIOS FÍSICOS-MECÂNICOS DOS PAINÉIS AGLOMERADOS

Os resultados dos ensaios físicos-mecânicos dos painéis formados com as resinas uréia-formaldeído (UF), amido de milho (AM) e suas respectivas modificações com estearato de sódio (ES) estão apresentados a seguir.

5.3.1. Densidade

Os valores médios de densidade dos corpos de prova estão descritos na Tabela 7.

Tabela 7 - Densidade dos corpos de prova para diferentes composições de resina

Tratamento	Composição da Resina (%)			Densidade (g.cm ⁻³)		
	UF	AM	ES	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
1	100	0	0	0,667	0,006	0,870
2	0	20	0	0,688	0,047	6,848
3	0	20	2	0,764	0,021	2,788
4	0	10	2	0,758	0,042	5,600

Fonte: Autor, 2019.

A norma NBR 14810-2 da ABNT (2013) determina que a densidade dos painéis aglomerados pode variar de 0,551 g.cm⁻³ a 0,750 g.cm⁻³ para serem considerados de média densidade. Foi possível observar um pequeno aumento do valor de densidade nos painéis formados com as resinas de amido modificado, comparando-se com os painéis formados pela resina UF. Os coeficientes de variação em todos os tratamentos foram classificados como baixos (< 10%). Essa baixa variabilidade encontrada entre as amostras de cada tratamento pode ser explicada pelo fato de todos os painéis serem submetidos a uma pressão com tempo de prensagem semelhantes.

De acordo com Ferreira (2010), uma hipótese que pode explicar essa variação que ocorreu entre os tratamentos está relacionada ao retorno em espessura dos painéis após a retirada do corpo de prova da prensa quente ocasionando um pequeno aumento do volume dos painéis durante o período de resfriamento e acondicionamento e resultando na redução da sua densidade, o que se comprova na Tabela 7, comparando-se os tratamentos (1 e 2) aos tratamentos (3 e 4).

Lacombe (2015) verificou que pode existir uma relação direta entre as densidades do painel e fatores como tipo de adesivo, tempo e pressão na manufatura, espécie e geometria das partículas. Como foi utilizado o mesmo tipo de partículas em todos os tratamentos com aproximadamente a mesma pressão com tempo de prensagem, pode-se concluir que a diferença encontrada está relacionada com o tipo de adesivo utilizado. Sendo assim os adesivos de amido modificado resultaram em painéis com maiores valores de densidade, quando comparados à resina ureia-formaldeído.

A densidade é um parâmetro importante na qualidade dos painéis aglomerados, pois interfere nas suas propriedades físicas e mecânicas. Quanto menor a densidade, maior a existência de vazios no interior do painel e conseqüentemente maior a sua absorção de água (Kelly, 1977).

5.3.2. Umidade

Após a realização dos ensaios nos quais os painéis ficaram em estufa até que suas massas se tornassem constantes, foram encontrados os teores de umidade dos corpos de prova em cada tratamento. Os valores médios de umidade dos corpos de prova estão descritos na Tabela 8.

Tabela 8 - Umidade dos corpos de prova para diferentes composições de resina

Tratamento	Composição da Resina (%)			Umidade (%)		
	UF	AM	ES	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
1	100	0	0	12,947	0,385	2,972
2	0	20	0	12,277	0,493	4,014
3	0	20	2	7,177	0,587	8,176
4	0	10	2	9,922	0,716	7,218

Fonte: Autor, 2019.

A norma NBR 14810-2 da ABNT (2013) determina que o teor de umidade médio dos painéis aglomerados pode variar de 5 a 13%. Os resultados encontrados em todos os tratamentos estão dentro da faixa permitida pela norma. Classificou-se como baixos os valores de coeficiente de variação de cada tratamento (< 10%).

Para os corpos de prova formados pela resina de amido modificado, foi possível observar uma diminuição no teor de umidade com a adição de estearato de sódio. Torquato em 2008 comprovou que os valores de teor de umidade não são afetados pela densidade dos painéis aglomerados. Então essa redução pode ser explicada pela diminuição de grupos hidroxilas do amido na resina que se ligam com as moléculas de água, reduzindo a higroscopicidade dos painéis. A diminuição dos grupos hidroxilas ocorre devido à ligação desses grupos à molécula de estearato de sódio. Porém também foi possível observar que a diminuição da quantidade de amido na resina resultou no aumento do valor de umidade do painel.

Uma observação importante a relatar é que a adição de água durante o processo de formação dos corpos de prova para melhorar a adesão entre as partículas de serragem e a resina, não interferiu nos valores finais de teor de umidade das placas, pois, as mesmas passaram por processo de secagem em estufa com circulação de ar.

De acordo com Remade (2003), um teor de umidade elevado ocasiona um aumento no ciclo de prensagem devido à necessidade de um maior tempo para a retirada da umidade excedente do painel, aumentando os custos de produção. Enquanto um menor teor de umidade

forma um perfil de densidade mais homogêneo ocasionando uma maior resistência à tração perpendicular.

5.3.3. Absorção de água

Após a realização dos ensaios nos quais os painéis ficaram mergulhados em água por 24 horas, foram encontrados os valores de absorção de água dos corpos de prova em cada tratamento. Os valores médios de absorção de água dos corpos de prova estão descritos na Tabela 9.

Tabela 9 - Absorção de água dos corpos de prova para diferentes composições de resina após 24 horas

Tratamento	Composição da Resina (%)			Absorção de água 24 horas (%)		
	UF	AM	ES	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
1	100	0	0	64,740	11,139	17,207
2	0	20	0	69,348	9,086	13,101
3	0	20	2	48,127	9,098	18,905
4	0	10	2	47,654	7,300	15,318

Fonte: Autor, 2019.

A norma NBR 14810-2 da ABNT (2013) não estipula valores de absorção de água em 24 horas, porém Lacombe (2015) trabalhou com uma comparação baseada em Nascimento (2003) que encontrou valores variando de 27 a 50%. Realizando essa mesma comparação, foi possível observar que apenas os painéis formados pelas resinas de amido modificado, tratamentos 3 e 4, se encaixaram na faixa especificada. Desta forma, observa-se que a modificação do amido com estearato de sódio é benéfica para uma menor absorção de água nos painéis aglomerados.

De acordo com Kelly (1977), a densidade dos painéis é um fator de grande influência para os valores de absorção de água em 24 horas, sendo que nos painéis de baixa densidade podem ser encontrados vazios interiores os quais absorvem mais água.

Analisando-se a Tabela 9, foi possível perceber que os painéis dos tratamentos 1 e 2, por apresentarem menores valores de densidade resultaram em maiores valores de absorção de água. Já nos tratamentos 3 e 4, os maiores valores de densidade dos painéis acarretaram menores valores de absorção de água. Em todos os tratamentos encontrou-se valores de coeficiente de variação que indicam uma média dispersão dos resultados que estão variando entre 10 e 20%.

Essa média variabilidade dos resultados experimentais em cada tratamento pode estar relacionada com a dificuldade de se espalhar homogeneamente as partículas de madeira pela

prensa durante a formação dos painéis, devido ao processo utilizado na metodologia ser de forma manual, o que ocasiona pontos com diferentes vazios interiores em cada painel, fazendo com que cada um absorva a água de forma diferente.

5.3.4. Inchamento

Após a realização dos ensaios nos quais os painéis ficaram mergulhados em água por 24 horas, foram encontrados os valores de inchamento em espessura dos corpos de prova em cada tratamento. Os valores médios de inchamento dos corpos de prova estão descritos na Tabela 10.

Tabela 10 - Inchamento dos corpos de prova para diferentes composições de resina após 24 horas

Tratamento	Composição da Resina (%)			Inchamento 24 horas (%)		
	UF	AM	ES	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
1	100	0	0	6,245	2,304	36,892
2	0	20	0	7,044	1,668	23,684
3	0	20	2	5,817	2,127	36,563
4	0	10	2	5,769	2,652	45,977

Fonte: Autor, 2019.

A norma NBR 14810-2 da ABNT (2013) estipula que os painéis aglomerados devem apresentar valores de inchamento em espessura em 24 horas inferiores a 18%. Os resultados encontrados em todos os tratamentos estão abaixo do valor permitido pela norma. Porém, os valores de coeficiente de variação em cada tratamento indicam uma alta dispersão dos resultados encontrados.

Comparando os ensaios de absorção de água e inchamento em espessura, observou-se que o comportamento de inchamento dos painéis foi diretamente proporcional ao de absorção de água, ou seja, os painéis que absorveram uma quantidade menor de água incharam menos em espessura. Sendo assim, os painéis formados pelas resinas de amido modificado resultaram em painéis com menores valores de inchamento em espessura, o que corrobora com o resultado obtido para a absorção de água, na qual demonstra que a modificação com estearato de sódio é favorável para a produção dos painéis.

Essa redução no valor de inchamento pode estar relacionada com a redução da higroscopicidade dos painéis que a adição de estearato de sódio proporciona, fazendo com que as partículas de madeira absorvam uma menor quantidade de água e inchem menos.

A alta variabilidade dos resultados experimentais em cada tratamento pode estar relacionada com a dificuldade de se espalhar homoganeamente as partículas de madeira pela prensa durante a formação dos painéis, resultando em regiões com maiores quantidades de partículas que interferem na forma como cada painel incha em espessura.

5.3.5. Tração Perpendicular

Os valores médios para o ensaio de tração perpendicular dos corpos de prova estão descritos na Tabela 11.

Tabela 11 - Tração perpendicular dos corpos de prova para diferentes composições de resina

Tratamento	Composição da Resina (%)			Tração Perpendicular (MPa)		
	UF	AM	ES	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
1	100	0	0	0,755	0,221	29,296
2	0	20	0	0,958	0,181	18,931
3	0	20	2	1,344	0,214	15,941
4	0	10	2	0,958	0,246	25,615

Fonte: Autor, 2019.

A norma NBR 14810 da ABNT (2013) estabelece que a resistência à tração perpendicular de um corpo de prova é determinada através da submissão de uma força de tração distribuída de madeira uniforme até ocorrer a ruptura do painel, definindo assim a carga máxima em função da área da superfície do corpo de prova, sendo que esse valor deve ser igual ou maior do que 0,35 MPa.

Os valores médios de resistência à tração perpendicular em todos os tratamentos variaram de 0,755 a 1,344 Mpa e obedecem ao requisito estabelecido pela NBR, porém os coeficientes de variação para os tratamentos 2 e 3 foram classificados como médios e para os tratamentos 1 e 4 foram classificados como altos, indicando uma média e alta dispersão dos resultados experimentais em cada tratamento.

As diferenças encontradas entre os resultados obtidos em cada tratamento podem estar relacionadas com a dificuldade de controle do processo de formação dos corpos de prova, como por exemplo a dificuldade de se realizar uma distribuição homogênea de resina e partículas de madeira para a formação dos painéis, resultando na formação grumos de partículas e na alteração do comportamento de cada corpo de prova.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 13, foi possível observar um aumento no valor de tração dos painéis formados pelas resinas de amido em relação aos painéis formados pela resina UF. A adição de estearato de sódio à resina de amido contribuiu para melhorar a resistência à tração perpendicular, porém quando se diminui a relação amido/estearato (tratamento 4) observa-se que estes valores diminuem, indicando que uma maior proporção amido/estearato é favorável para este parâmetro mensurado.

5.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Uma análise estatística foi realizada a fim de se comparar se houve variação significativa entre as médias obtidas em cada parâmetro utilizando as resinas de amido de milho (AM) e suas respectivas modificações com estearato de sódio (ES) tendo como parâmetro de comparação os valores encontrados para a resina uréia-formaldeído. Para isso, utilizou-se o teste não paramétrico Kruskal-Wallis com um intervalo de confiança de 90%.

Na Tabela 12, estão descritos os resultados da análise estatística dos parâmetros de teor de sólidos, densidade e pH das resinas.

Tabela 12 – Análise estatística das resinas pelo método de Kruskal-Wallis com $\alpha = 0,1$

Parâmetros	P-valor	Variação Significativa
Teor de Sólidos	0,0001	Sim
Densidade	0,0001	Sim
pH	0,0001	Sim

Fonte: Autor, 2019.

Foi possível observar que os dados das resinas de amido modificados nos três parâmetros, teor de sólidos, densidade e pH, diferem significativamente da resina uréia-formaldeído, comprovando que são resinas com propriedades físico-químicas diferentes.

Na Tabela 13, estão descritos os resultados da análise estatística dos parâmetros de densidade, umidade, absorção de água, inchamento em espessura e tração perpendicular dos painéis formados pelas resinas.

Tabela 13 - Análise estatística dos painéis aglomerados pelo método de Kruskal-Wallis com $\alpha = 0,1$

Parâmetros	P-valor	Significância
Densidade	0,033	Sim
Umidade	0,0003	Sim
Absorção de água 24 horas	0,038	Sim
Inchamento 24 horas	0,839	Não
Tração Perpendicular	0,117	Não

Fonte: Autor, 2019.

As médias dos parâmetros de densidade, umidade e absorção de água para os painéis formados pelas resinas de amido modificado diferem significativamente dos painéis formados pela resina uréia-formaldeído, enquanto dos parâmetros de inchamento e tração perpendicular não apresentam diferença significativa.

Essa não significância está relacionada com os altos valores de coeficiente de variação e, conseqüentemente, a alta variabilidade dos resultados obtidos em cada tratamento. Essa alta dispersão dos dados está relacionada com a dificuldade de se obter uma homogeneização eficiente durante a mistura das resinas com as partículas de madeira e com a falta de uma automatização do processo de formação dos painéis, sendo que a metodologia utilizou uma prensa manual, o que ocasiona em diferenças que podem ser consideradas significativas em cada painel, mesmo tendo os mesmos insumos.

A análise dos valores e da diferença significativa observada nos parâmetros de densidade, umidade e absorção de água, indica que os painéis formados pelas resinas de amido modificado com estearato de sódio resultaram em propriedades físico-mecânicas melhores que os painéis formados pela resina uréia-formaldeído.

Os valores observados para os painéis formados por resina de amido modificado mostraram que uma maior densidade é devido a uma maior ligação entre as partículas e que uma menor absorção de água indica a promissora utilização desses painéis em ambientes que apresentam altos teores de umidade.

6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostraram que o aproveitamento de serragem e a utilização de adesivos naturais à base de amido de milho modificado com estearato de sódio são promissores para a fabricação de painéis aglomerados.

As propriedades físico-químicas de densidade e pH das resinas à base de amido modificado apresentaram resultados com valores aceitáveis para utilização. Para resolver a condição de baixo teor de sólidos, concluiu-se que aumentar a porcentagem de resina nos painéis é satisfatório para garantir a eficiência de colagem.

Com as resinas de amido modificado com estearato de sódio foi possível formar painéis com propriedades físico-mecânicas que atendem à NBR 14810 da ABNT (2013). A modificação do amido de milho com estearato de sódio contribui para a redução no teor de umidade dos corpos de prova, que pode ocasionar em painéis com maior resistência à tração perpendicular. Essa modificação também contribui para a formação de painéis com maiores densidades e menores capacidades de absorção de água.

Como sugestão para trabalhos futuros, as mesmas propriedades físico-mecânicas podem testadas em painéis formados pelos mesmos insumos, porém utilizando um processo automatizado, com o intuito de reduzir a variabilidade entre os resultados obtidos em cada tratamento e, conseqüentemente, obter melhores valores de coeficiente de variação.

REFERÊNCIAS

- ALCÁZAR-ALAY, S. C.; MEIRELES, M. A. A. Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. **Food Science and Technology**, v. 35, n. 2, p. 215-236, 2015.
- BARROS FILHO, R. M. **Painéis aglomerados a base de bagaço de cana-de-açúcar e resinas uréia formaldeído e melamina formaldeído**. 2009. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.
- BEMILLER, J.; WHISTLER, R. **Starch: Chemistry and Technology**. 3 ed. International Series: Academic Press, 2009. 879 p.
- BNDES. **Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas**. Rio de Janeiro, n 27, p.121-156, 2008.
- BUFALINO, L. **Avaliação da permeabilidade e sua influência sobre as propriedades físicas e de colagem em painéis aglomerados**. 2010. 80 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.
- CAMPOS, C. I.; LAHR F. A. R. Estudo comparativo dos resultados de ensaio de tração perpendicular para MDF produzido em laboratório com fibras de Pinus e de Eucalipto utilizando uréia-Formaldeído. **Revista Matéria**, v. 9, n. 1, p. 29 – 40, 2004.
- CARVALHO, A. G. et al. Avaliação de adesivos à base de taninos de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e de *Acacia mearnsii* na fabricação de painéis aglomerados. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 2, p. 479-489, 2014.
- CENÁRIOS IBÁ. Estatísticas da indústria brasileira de árvores. **Indústria Brasileira de Árvores (Ibá)**: 2019.
- COSTA, L. A. **Elaboração e caracterização de filmes biodegradáveis à base de amido de semente de jaca incorporados com antocianinas**. 2017. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Bacharelado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, v. 39, n. 3, p. 945-954, 2009.
- ELEOTÉRIO, J. R. et al. Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF de diferentes massas específicas e teores de resina. **Ciência Florestal**, v. 10, n. 2, p. 75-90, 2000.
- ENGELMANN, P. M. **Poluição ambiental gerada por uma unidade industrial do setor madeireiro**. 2014. 63 f. Projeto de Conclusão de Curso (Engenharia Agroindustrial Agroquímica) – Universidade Federal do Rio Grande, Santo Antônio de Patrulha, 2014.
- FAGUNDES, H. A. V. **Produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul**. 2003. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

FERREIRA, E. S. **Propriedades físico-mecânicas de painéis de fibras de média densidade (MDF) produzidos com resinas convencionais e modificadas com tanino de acácia negra.** 2010. 212 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

FREIRE, A. L. F. et al. Impactos ambientais de painéis de madeira e derivados – Uma revisão de literatura. **Revista Espacios**, v. 36, n. 10, p. 1-12, 2015.

GONÇALVES, C. A. et al. Produção de chapas de madeira aglomerada com adesivo uréia-formaldeído modificado com tanino de *Mimosa caesalpiniaefolia* Bentham (sabiá). **Floresta e Ambiente**, v. 10, n. 1, p. 18-26, 2003.

GONÇALVES, F. G. et al. Chapas aglomeradas confeccionadas com ureia-formaldeído sob adição de tanino em pó. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1349-1363, 2017.

GU, Y. et al. Preparation, characterization and properties of starch-based adhesive for wood-based panels. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 134, p. 247-254, 2019.

HALVARSSON, S. et al. Properties of medium-density fibreboard (MDF) based on wheat straw and melamine modified urea formaldehyde (UMF) resin. **Industrial Crops and Products**, v. 28, p. 37-46, 2008.

IMAM, S. H. et al. Environmentally friendly wood adhesive from a renewable plant polymer: characteristics and optimization. **Polymer Degradation and Stability**, v. 73, p. 529–533, 2001.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída.** Curitiba: FUPEF, 2005. 254p.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-uréia-formaldeído. **Revista Cerne**, v. 11, n. 4, p. 323-328, 2005.

IWAKIRI, S. et al. Avaliação das propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduos de serrarias de nove espécies de madeiras tropicais da Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 42, n. 1, p. 59-64, 2012.

KATSUKAKE, A. **Uma revisão sobre resina Uréia-Formaldeído (R-UF) empregada na produção de Painéis de Madeira Reconstituída.** 2009. 53 f. Monografia de Conclusão de Curso. (Licenciatura plena em Química) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2009.

KELLY, M. W. **Critical literatura review of relationship between processing parameters and physical properties of particleboard.** Gen. Tech. Rep. FPL-10, Madison, WI: USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, 1977, 70p.

LACOMBE, J. E. A. **Painéis de madeira aglomerada produzidos com resíduos de serragem e poliestireno expandido para aplicações na construção civil.** 2015. 193 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

LESSMANN, V. E. **Estudo da reação de cura de resinas uréia-formol por espectrometria de ressonância magnética nuclear**. 2008. 121p. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

LI, Z. et al. Improving the performance of starch-based wood adhesive by using sodium dodecyl sulfate. **Carbohydrate Polymers**, v. 99, p. 579-583, 2014.

LIMA, E. G.; SILVA, D. A. Resíduos gerados em indústrias de móveis de madeira situadas no pólo moveleiro de Arapongas – PR. **Revista Floresta**, v. 35, n. 1, p. 105-116, 2005.

MACEDO, L. B. et al. Propriedades físicas de painéis aglomerados de madeira produzidos com adição de película de polipropileno biorientado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.7, p.674–679, 2015.

MALONEY, T.M. **Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing**. Updated edition covers composite wood products. San Francisco: Miller Freeman, 1977. 681p.

MENDES, R. F. et al. Efeito da associação de bagaço de cana, do tipo e do teor de adesivo na produção de painéis aglomerados. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 1, p. 161-170, 2012.

MURILLO-RUIZ, E. A. Influencia de la proporción de ácido esteárico en las propiedades de almidón modificado con ácido esteárico. **Respuestas**, v. 22, n. 1, p. 17-28, 2017.

ORTIZ-FERNÁNDEZ, A. et al. Design of experiments for optimization a biodegradable adhesive based on ramon starch (*Brosimum alicastrum Sw.*). **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 73, p. 28-37, 2017

PARTHASARATHY, S. et al. Effect of temperature and humidity on formaldehyde emissions in temporary housing units. **Journal of the Air & Waste Management Association**, v. 61, n. 6, p. 689-695, 2011.

RELATÓRIO IBÁ. O setor brasileiro de árvores plantadas. Ano/base 2017. **Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ)**: 2018.

REMADE. Processo produtivo de chapa de fibra de média densidade (MDF). **Revista de Madeira**, n. 71, 2003.

ROWELL R. M. et al. Characterization and Factors Affecting Fiber Properties. In: **NATURAL POLYMERS AND AGROFIBERS BASED COMPOSITES**, 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2000.

SÁNCHEZ-RIVERA, M. M. et al. Partial characterization of banana starches oxidized by different levels of sodium hypochlorite. **Carbohydrate Polymers**, v.62, p. 50 - 56, 2005.

SILVA, G. C. et al. Propriedades de adesivo aplicado em painéis a partir da substituição por lignossulfonato do processo sulfito. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 1, p. 322-335, 2019.

SILVA, S. A. M. et al. Painéis MDF produzidos com resina poliuretana à base de óleo de mamona. **Vértices**, v.15, n. 1, p. 7-20, 2013.

SILVERSTEIN, R.M. **Spectrometric Identification of Organic Compounds**, 6 ed., Paperback, 2004.

SINGH, N. et al. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v 81, p. 219-231, 2003.

SÓSTONES, A. et al. **Resina de Ureia-formaldeído**. 2010. Relatório (Licenciatura Plena em Química) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Petrolina, 2010.

SOUZA, D. Z. **Painéis de resíduos aglomerados utilizando amido de milho**. 2018. 64 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Química) – Universidade de Uberaba, Uberaba, 2018.

THARANATHAN, R.N. Food-derived carbohydrates – Structural complexity and functional diversity. **Critical Reviews in Biotechnology**, v.22, p.65-84, 2002.

TESTER, R. F. et al. Starch - composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, v. 39, p. 151-165, 2004.

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

TORQUATO, L. P. **Caracterização dos painéis MDF comerciais produzidos no Brasil**. 2008. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

TSUKAMOTO, K. et al. Effect of sectioning and water on resin-embedded sections of corn starch granules to analyze inner structure. **Carbohydrate Polymers**, v. 89, p. 1138-1149, 2012.

VALENZUELA, J. et al. Industrial production of pine tannin-bonded particleboard and MDF. **European Journal of Wood and Wood Products**, v.70, n. 5, p. 735-740, 2012.

WANG, Y. et al. Effects of different durations of acid hydrolysis on the properties of starch based wood adhesive. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 103, p. 819-828, 2017.

WEBER, C. **Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados**. 2011. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

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

WEBER, F. H. et al. Caracterização físico-química, reológica, morfológica e térmica dos amidos de milho normal, ceroso e com alto teor de amilose. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 4, p. 748-753, 2009.

WU, X. et al. Effect of Stearic Acid and Sodium Stearate on Cast Cornstarch Films. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 124, p. 3782–3791, 2012.

ZHANG, Y. et al. Preparation and properties of a starch-based wood adhesive with highbonding strength and water resistance. **Carbohydrate Polymers**, v. 115, p. 32-37, 2015.

_____. **NBR 14810-2 – Chapas de madeira aglomerada Parte 2: Requisitos**. ABNT. Rio de Janeiro, 2013.