

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO
GRANDE DO SUL – CAMPUS FELIZ**

KIMBERLY CARNEIRO DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DE ADESIVOS PARA COLAGEM DE BORDA EM PAINÉIS DE
FIBRAS DE MADEIRA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de
bacharelado em Engenharia Química.

Orientador: Dr. André Zimmer

FELIZ

2023

KIMBERLY CARNEIRO DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DE ADESIVOS PARA COLAGEM DE BORDA EM PAINÉIS DE
FIBRAS DE MADEIRA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de bacharelado em Engenharia Química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Matheus Felipe Pedrotti

Prof.^a Suyanne Angie Lunelli Bachmann

ORIENTADOR

Prof. André Zimmer

Feliz, Junho de 2023.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), pela oportunidade da realização deste curso.

A empresa e colegas pela oportunidade da realização do estudo.

Ao meu orientador e docentes do Campus IFRS Feliz pelos ensinamentos, que me fizeram evoluir no processo de formação profissional e pessoal.

RESUMO

Considerado, a relevância da utilização de diferentes tipos de adesivos dentro de uma fábrica do ramo moveleiro, foi realizado um estudo de caso que contemplou uma avaliação do tipo de adesivos utilizados em colagem de borda, pois através de acompanhamento na produção percebeu-se a utilização de coladeiras de borda com diferentes tipos de adesivos, em que o roteiro de fabricação nem sempre seguia para a máquina indicada na programação. Por este motivo, é relevante que se avalie a utilização de adesivos utilizados em processos de colagem de borda, para compreender o comportamento após a aplicação no substrato. O presente trabalho trata sobre o aspecto de adesivos de fusão a quente aplicados por coladeiras de borda, a fim de avaliar o comportamento de dois diferentes adesivos, utilizados no processo produtivo de uma fábrica moveleira da serra gaúcha. Para tanto, foi necessário realizar colagem de borda utilizando materiais e equipamentos voltados para a fabricação de móveis, avaliando a eficiência dos adesivos a partir do uso de diferentes condições operacionais de temperatura, condições climáticas e tração. Realizou-se, então, um estudo envolvendo duas coladeiras de borda, com equipamentos próprios de aquecimento, garantindo que o adesivo seja inserido na fita de borda pronto para a aplicação no painel de madeira. Foram utilizados adesivos de etileno acetato de vinila (EVA) e poliuretano reativo (PUR). Na aplicação do adesivo aquecido, foram utilizados fita de borda de acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) e painéis com fibras de média densidade (MDF) e partículas de média densidade (MDP), disponibilizados pela fábrica de móveis. Realizou-se então três avaliações: de resistência a temperatura, utilizando inicialmente 60 °C, com aumento de 10 °C a cada hora, finalizando aos 100 °C. Resistência à tração, utilizando tração por equipamento e manual, para verificar se houve adesão, coesão ou delaminação. Resistência a condições ambientais utilizando-se cinco ciclos de 24 h com as temperaturas de 65, 10 e 35 °C. Diante disso, verificou-se que no ensaio de temperatura o adesivo EVA não suportou a temperatura de 60 °C, enquanto o adesivo PUR finalizou os ensaios suportando os 100 °C, que foi a máxima temperatura realizada. No ensaio de tração ambos adesivos romperam-se por delaminação, resultando que a borda de 0,45 mm obteve adesão e coesão forte. Já no ensaio de condições do ambiente a melhor graduação de qualidade foi obtida no painel MDF com adesivo PUR e a menor graduação da qualidade foi obtida pelo painel MDF com adesivo EVA.

Palavras-chave: Adesivo de fusão quente. Adesão. Adesivo termoplástico. Adesivo *hot melt* reativo.

Sumário

1	Introdução	7
1.1	Objetivo.....	8
1.1.1	Objetivo geral.....	8
1.1.2	Objetivos específicos	8
1.2	Justificativa	8
2	Revisão da literatura.....	10
2.1	Adesivos	10
2.2	Adesivo poliuretano reativo.....	13
2.3	Adesivo etileno acetato de vinila (eva).....	13
2.4	Paineis de madeira	13
2.5	Realização do processo de colagem de borda	15
3	Materiais e métodos.....	17
3.1	Materias	17
3.2	Métodos	17
3.2.1	Realização da colagem de borda.....	19
3.2.2	Avaliação da resistência à variação de temperatura.....	20
3.2.3	Ensaio de colagem (resistência à tração)	21
3.2.4	Avaliação de condições ambientais	21
4	Resultados e discussão	22
4.1	Avaliação da resistência a variação de temperatura.....	22
4.2	Avaliação do ensaio de colagem de resistência à tração	25
4.3	Avaliação do efeito das condições ambientais.....	26

5	Conclusão.....	28
	Referências.....	30

1 INTRODUÇÃO

Adesivos possuem diversas aplicações dentro de uma fábrica do ramo moveleiro, pois podem ser utilizados para fixação de acessórios e puxadores em portas, para realizar a união de painéis em molduras, para realizar acabamento em produtos com aplicação de tecido, para realizar aplicação de lâmina de madeira, realizar engrossamento de espessura de tampos, também, realizar o processo de colagem de borda.

Processos de colagem de borda são amplamente utilizados em indústrias moveleiras, em que, as fitas de borda são produzidas em materiais termoplásticos, melamina, papel ou madeira natural. O intuito da junção pode ter como objetivo promover melhor resistência mecânica, melhor resistência química, melhor resistência a intempéries climáticas, proporcionar facilidade na limpeza, além de evitar tempo de peça parada, pois, além de reduzir tempo de lixa, em processos de pintura não é necessário aplicação de fundo para recebimento de pintura nas bordas.

As condições e as propriedades da fita de borda, adesivo e painel de madeira, bem como as condições do processo, influenciam diretamente na junção e colagem. A adesão do adesivo depende da permeabilidade dos substratos, quantidade aplicada e temperatura. Portanto, a realização de testes em condições normais de produção é de suma importância para garantir que os objetivos sejam atingidos. Deste modo, este trabalho tem como objetivo avaliar o aspecto de duas colas distintas, utilizadas na fabricação de móveis, na junção de painéis de madeira em fita de borda, realizadas em coladeira de borda de uma indústria moveleira.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o aspecto de dois diferentes adesivos, utilizados em uma empresa do setor moveleiro, da serra gaúcha, no processo de colagem de borda.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar colagem de borda utilizando materiais e equipamentos utilizados para fabricação de móveis em fábrica do setor moveleiro;
- Avaliar a influência da temperatura, do clima e tração na adesão cola-painel;
- Avaliar a eficiência das colas através da comparação dos resultados dos parâmetros obtidos experimentalmente com valores da literatura.

1.2 JUSTIFICATIVA

Tendo em vista que a indústria do ramo moveleiro utiliza adesivos em várias etapas produtivas e o processo de colagem de borda é uma de suas principais utilizações, foi realizado um acompanhamento na fabricação de produtos e identificou-se a utilização de equipamentos de colagem de borda com coleiros de adesivo PUR e adesivo EVA, em que, haviam produtos sendo fabricados em máquinas diferentes do roteiro cadastrado na programação da produção. Sabe-se que a escolha do melhor tipo de adesivo parte de uma necessidade de atingir exigências de qualidades visuais, reduzir o tempo de produção, atingir uma menor quantidade de retrabalho, garantir uma boa fixação e garantir facilidade no momento de aplicação. Por este motivo, foi realizado um estudo de caso, pois é relevante que se avalie a utilização de adesivos em máquinas utilizadas na indústria, em processos de colagem de

borda para se obter os aspectos do comportamento de colagem de adesivo termofixo e adesivo termoplástico.

Neste contexto, o trabalho mostrará a avaliação de colas utilizadas em máquinas de colagem de borda, a fim de instigar melhorias na produção.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Para compreender os parâmetros que podem influenciar na operação de colagem de borda, é necessário conhecer as propriedades envolvidas neste processo.

2.1 ADESIVOS

Adesivos *hot melt*, também conhecidos por adesivos de fusão a quente, são aplicados entre a temperatura de 120 e 290 °C (PINTO, 2007) e geralmente possuem em sua composição polímeros termoplásticos sintéticos. Quando este tipo de adesivo se solidifica apresenta como característica alta força de coesão. Em sua composição não apresenta água e solventes voláteis, sua estrutura é constituída 100% por sólidos (KINLOCH , 1987).

Os polímeros termoplásticos apresentam propriedades físicas reversíveis, ou seja, quando submetidos a aquecimento realizam fusão e retornam ao estado sólido quando resfriados (CANEVAROLO, 2002). Na Tabela 1, é possível visualizar as diferentes temperaturas de aplicação entre os tipos de polímeros para o ponto de amolecimento.

Tabela 1- Tipos de fusão a quente e suas temperaturas de aplicação.

Polímero	Temperatura de aplicação (°C)
EVA	130 - 150
EVA com resina	160 - 180
Poliuretano reativo	120

Fonte: Adaptado de Freitas (2016).

O desempenho das propriedades mecânicas são obtidas pelas características do polímero utilizado, são as propriedades mecânicas do adesivo que são analisadas para definir a finalidade de aplicação. Um dos polímeros mais utilizados em formulações para encadernação são os copolímeros de etileno-acetato de vinila (EVA), pois possuem boa flexibilidade, dureza e resistência à fadiga (KINLOCH, 1987). Quanto ao calor, o polímero

EVA apresenta capacidade de suportar altas temperaturas e possui vida útil longa (TOMIC, 2018). Importantes fornecedores do ramo de adesivos estão utilizando o poliuretano reativo (PUR), pois nos últimos anos foram demonstrados que este tipo de adesivo apresenta vantagens sobre os vinílicos (PINTO, 2007)

Os benefícios dos adesivos *hot-melt* são variados, pois podem ser utilizados em diferentes materiais. Este tipo de adesivo pode ser aderido a metais, plásticos, borrachas, madeira, papel, etc. Além disso, apresenta considerável flexibilidade nos substratos, tem fácil aplicação e apresenta baixo valor econômico (KINLOCH , 1987).

A aplicação deste tipo de adesivo não é eficiente quando utilizado em substrato com alta condutividade térmica, pois o processo de solidificação ocorre de forma rápida, fazendo com que o desempenho e as características mecânicas do adesivo sejam perdidos (KINLOCH , 1987). A cristalização deve ocorrer de forma lenta o suficiente para realizar a aplicação do adesivo sem prejudicar o desempenho. Durante o estado fundido uma importante característica é a viscosidade relativamente baixa, pois é ela que garante a molhabilidade ao ser aplicado no substrato (FREITAS, 2016).

Os adesivos apresentam a função de junção de duas ou mais superfícies, com a capacidade de resistirem à separação (KINLOCH, 1987). As condições apresentadas na junção e a forma que a carga é transmitida impactam diretamente no comportamento mecânico do adesivo (KINLOCH, 1987).

De forma ideal, o esperado para adesivo *hot-melt* é que a adesão ocorra de forma rápida o suficiente sem comprometer desempenho e as características mecânicas. Os fenômenos físico-químicos de adesão e coesão contribuem para a realização eficiente da colagem. A adesão é caracterizada pela resistência mecânica do substrato-adesivo e a coesão é caracterizada pela resistência interna do adesivo (SILVA, 2008).

As principais condições que podem prejudicar na adesão são a temperatura de aplicação, a composição química do adesivo, rugosidade do substrato e limpeza ineficiente da superfície antes da aplicação. As principais

condições que podem prejudicar na coesão são as forças intermoleculares, espessura da linha de colagem e estado físico do adesivo (SILVA, 2008).

As características finais de um adesivo *hot-melt* são obtidas pela combinação e proporção de diferentes componentes no momento da elaboração. Na formulação podem ser adicionadas resinas, aditivos, borrachas, ceras, polímeros e plastificantes (QUAIATTI, 2005). A adição de elastômeros proporciona aumento da tenacidade no produto final e contribui para uma melhora no parâmetro de coesão, pois diminui a deformação permanente. A aplicação do elastômero proporciona que o adesivo retorne ao seu comprimento inicial (CANEVAROLO, 2002). Para combater a degradação do polímero, são adicionados na formulação os aditivos que tem função antioxidante (QUAIATTI, 2005). Os plastificantes são utilizados para diminuição da dureza, contribuindo para o amolecimento do adesivo (CANEVAROLO, 2002).

Enquanto a adição de elastômetro favorece a coesão, a adição de resinas na formulação geralmente favorece a adesão (QUAIATTI, 2005).

Os resultados de ensaios mecânicos em adesivo dependem das condições da realização do ensaio, em ensaios de rompimento, o comportamento esperado de uma boa colagem é o rompimento dos substratos, sem que ocorra a separação do adesivo entre si, nem separação do adesivo com o substrato (KLEIN, 2009). Na ocorrência de falhas na colagem é preferível que a falha seja coesiva, pois apresentam maior interação substrato-adesivo do que a força intermolecular do adesivo (TOMIC, 2018).

Devido ao desenvolvimento de novos polímeros sintéticos, houve um grande estímulo para realizar progresso na fabricação de adesivos, este estímulo contribuiu, e ainda contribui, para a pesquisa e desenvolvimento de novas formulações com diferentes desempenhos na aplicação para atender as necessidades de fabricação (KINLOCH, 1987).

2.2 ADESIVO POLIURETANO REATIVO

O adesivo de fusão a quente de poliuretano reativo (PUR) e apresenta alta versatilidade de aplicação em diversos substratos. A qualidade da junta adesiva deste polímero depende da tensão superficial do adesivo.

Para o adesivo de PUR a fase de transição vítrea e a reação adesiva iniciam em aproximadamente 50°C. Na temperatura de 60 °C o adesivo deixa de se comportar de maneira rígida e passa a se deformar mais facilmente, nesta temperatura acontece o processo de fusão de alguns compostos adesivos, no qual ocorrem outros fenômenos como: forças Van der Waals, ligação de hidrogênio, ligação iônica e transferência de carga (PEREZ, 2019).

As ligações químicas formadas com acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) apresentam as propriedades mecânicas mais favoráveis, neste material o tipo de falha esperada é do tipo coesivas devido à tensão superficial do adesivo (PEREZ, 2019).

2.3 ADESIVO ETILENO ACETATO DE VINILA (EVA)

O etileno acetato de vinila (EVA) é um dos adesivos mais populares entre os adesivos de fusão a quente, por sua boa combinação de propriedades adesivas e coesivas. Entre as vantagens está seu relativo custo baixo, fácil formulação, não apresenta solventes voláteis e adere a diversos materiais como: vidro, papelão, madeira metal, entre outros. É um termoplástico, que possui na composição, cera e resina, estas propriedades irão garantir as forças adesivas, boa fluidez, facilidade em derreter e bom desempenho de aplicação. (INTERCOL, 2022).

2.4 PAINÉIS DE MADEIRA

Painéis de madeira são estruturas feitas com lâmina de madeira em diferentes estágios de desanexação, unidas por meio de pressão, temperatura e resina e designadas a manufatura. A principal vantagem deste produto é que eles são uma alternativa para substituir a madeira maciça, que tem alto valor

comercial, podendo ser a alternativa mais barata para diferentes finalidades, isto é, fazer móveis, portas e pisos com melhor valor quando comparado a madeira maciça (REMADE, 2013).

Sob o ponto de vista de processos produtivos, o consumo de painéis de madeira tem relevante importância para a economia brasileira e está ligada de forma direta à indústria moveleira e a construção civil, a de se considerar esta ligação pela construção de escritórios e residências, onde os painéis de madeira são utilizados para acabamento e mobiliário internos (BNDES, 2014).

Os principais tipos de painéis de madeira reconstituídos são o MDF e o MDP, fabricados a partir do processamento químico da madeira, sendo o MDP, sigla para *Medium Density Particleboard* ou Painel de Partículas de Média Densidade, o painel mais consumido no mundo, sendo comum a sua utilização ser destaque na fabricação de móveis como tampos de mesa, laterais de armários, prateleiras e divisórias. (REMADE, 2013).

Em relação ao desempenho por produtos, o painel MDF, sigla para *Medium Density Fiberboard* ou Painel de Fibras de Média Densidade (WEBER, 2011), tem como matéria prima principal a madeira de eucalipto e pinus e utiliza um processo seco com várias etapas para fabricação. A produção no Brasil iniciou em 1997, pela fábrica da Duratex, em Agudos (São Paulo), em que o MDF se destacou no mercado por suas características mecânicas e por sua estrutura ter considerável facilidade em adaptação (EISFELD, 2009).

O MDF, também, é amplamente utilizado na fabricação de móveis e apresenta algumas vantagens em relação ao MDP, pois possui propriedades mecânicas específicas mais próximas da madeira maciça, como consistência, boa estabilidade dimensional e forte capacidade de processamento. Apesar das diferenças de aplicação, os processos de produção de MDP e MDF são semelhantes. (REMADE, 2013).

Considerando, a relevância da indústria de painéis de madeira, este estudo de caso contemplou uma avaliação da utilização de junta adesiva entre os painéis de madeira, pois através da identificação sobre a estrutura de mercado percebeu-se que, entre os grandes destaques globais na utilização, os painéis MDF e MDP estão em considerável evidência na indústria.

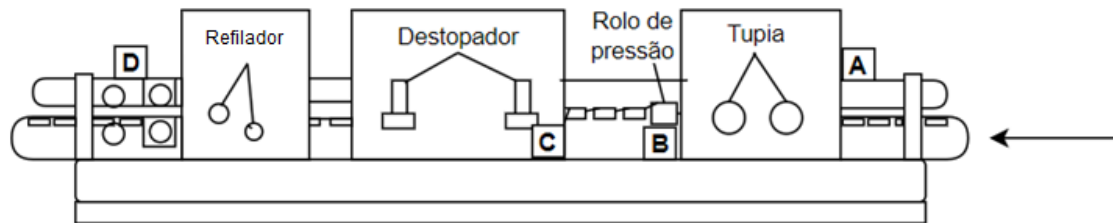
2.5 REALIZAÇÃO DO PROCESSO DE COLAGEM DE BORDA

A realização de colagem de borda inicia-se pela etapa de pré-corte que tem como finalidade realizar o corte do painel de madeira na largura e comprimento desejado. Após a etapa de corte os produtos geralmente são encaminhados à etapa da aplicação de borda no painel, a qual tem função de utilizar adesivo para promover a fixação. Neste processo, as peças podem passar por processos manuais para aplicação de borda em recorte ou podem passar por processos com aplicação de adesivos em equipamentos específicos para realização desta função que realizam a colagem em peças retas.

As máquinas que realizam colagem de borda são geralmente utilizadas em marcenarias e fábricas do ramo moveleiro, as configurações podem variar de acordo com a escolha do tipo de material a ser utilizado, em que a máquina pode conter diferentes grupos de funções no momento da colagem. Como por exemplo, a aplicação de diferentes espessuras que podem variar entre 0,4 mm a 3,0 mm (RODRIGO, 2023). O objetivo da utilização do processo de colagem é fornecer acabamento garantindo a competitividade com boas taxas de produção.

A Figura 1 demonstra uma coladeira de borda e suas configurações, em que é composta por Figura 1A tupia de entrada, ferramenta que realiza a usinagem na borda do material antes da aplicação da fita, afim de evitar imperfeições no acabamento. Figura 1B rolo de pressão, responsável por fornecer um perfeito ajuste, pois é nesta etapa que é realizada a aplicação da cola. Figura 1C serra destopadora, realiza o corte dos excessos de fita nos topos. Figura 1D refilador e grupo raspador de fita de borda, este grupo fornece o acabamento retirando todos os excessos (RODRIGO, 2023). A alimentação da cola aquecida ocorre na lateral da coladeira e o aquecimento é feito com auxílio de uma resistência elétrica, permitindo a aplicação da cola quente na parte de trás da fita, garantindo que fique pronta para a aplicação no painel de madeira.

Figura 1 - Coladeira de borda esquematizada para observação da operação



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

No que diz respeito à transformação da matéria, a estrutura interna pode ser afetada conforme a maneira de realização do seu processamento, afetando as propriedades físicas, mecânicas, químicas e de transições térmicas dos materiais poliméricos (RABELLO, 2023).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAS

As coladeiras de borda utilizadas foram disponibilizadas pela fábrica de móveis, localizada na cidade de Flores da Cunha, RS. A marca e modelo do equipamento não serão divulgadas, pois são utilizadas no processo produtivo da empresa, que não foi obtida a autorização para a divulgação.

Foram utilizados o adesivo termoplástico com base de etileno acetato de vinila (marca Jowat, denominação: *Jowatherm 288.60*) e o adesivo termorrígido com base de poliuretano reativo (marca Jowat, denominação: *Jowatherm Reaktant 608.00*). Na aplicação da cola aquecida, foi utilizada fita de borda em material acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), com espessura de 0,45 mm, e painéis com fibras de média densidade (MDF) e partículas de média densidade (MDP), ambos com espessura de 22 mm, disponibilizados e preparados pela fábrica de móveis.

A escolha da utilização da fita ABS com espessura de 0,45 mm se deu por conta do processo produtivo, em que esta era a única espessura com processo de colagem liberado para ser realizado em ambos os equipamentos.

3.2 MÉTODOS

Para o experimento de resistência a temperatura, foi utilizada uma estufa de aço inoxidável 430, com convecção natural de ar, equipada com sistema de controle de temperatura para sua base e laterais. Foi utilizado um termômetro acoplado no superior da estufa, para controlar a temperatura ao longo do experimento. A estufa utilizada pode ser observada na Figura 2.

Figura 2 – Estufa utilizada para avaliar a resistência à temperatura.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Foram realizados os ensaios de colagem e avaliação da resistência à tração, no equipamento Emic 2320, do tipo de bancada. Com capacidade máxima de força de até 2 kN. A medição de deslocamento é realizada por sensor óptico, com acompanhamento em tempo real da força e deslocamento via *software*. O equipamento pode ser utilizado em ensaios de tração, compressão, flexão e outros.

Na figura 3 pode ser observado o equipamento utilizado para realizar os ensaios de simulação em diferentes condições climáticas, o instrumento é uma câmara climática MMM CLIMACELL, com a câmara interna em aço inoxidável DIN 1.4301 (AISI 304). Seu princípio de funcionamento simula um fluxo normal, se baseando em um fluxo controlado, espiral, de baixo para cima. É equipado com sistema de controle de umidade, aliado a um sistema de refrigeração, permitindo o controle de seus parâmetros. O equipamento pode ser utilizado para realizar testes de estabilidade de componentes e produtos químicos.

Figura 3 – Equipamento utilizado para simulação de clima



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Foram realizados experimentos para a avaliação do desempenho da colagem em diferentes condições experimentais de resistência a variação de temperatura, tração e simulação climática. As temperaturas foram monitoradas durante os experimentos realizados para possibilitar avaliar o desempenho do adesivo com o substrato.

3.2.1 Realização da colagem de borda

A realização da colagem de borda iniciou-se a partir de duas máquinas, utilizadas no processo de uma fábrica do setor moveleiro, foram utilizadas como base uma coladeira de borda com coleiro EVA e uma coladeira de borda com coleiro PUR.

De acordo com a ficha técnica do fabricante, a faixa de temperatura para aplicação do adesivo PUR está entre 100 °C e 120 °C, os testes foram realizados dentro da faixa de 100 °C. Para o adesivo EVA o fabricante recomenda a faixa de temperatura entre 190 °C e 210 °C, os testes foram realizados dentro da faixa em aproximadamente 200 °C, medidas com um termômetro na linha de aplicação da cola.

Os dois equipamentos utilizados na colagem estavam equipados com os mesmos aparatos de colagem. Para que pudesse ser observado o processo de colagem, um breve esquema de união da fita de borda com o painel de madeira está esquematizado na Figura 4. A imagem mais a esquerda demonstra a localização da tupa, processo no qual realiza o corte no painel de madeira, seguido pelo equipamento de rolo de pressão, processo no qual realiza a pressão necessária para aderir o painel de madeira na junta adesiva. As imagens seguintes demonstram como ocorre a alimentação da máquina com painel, em que a imagem ao meio demonstra a passagem pela tupa e a imagem mais a direita a passagem pelo rolo de pressão.

Figura 4 – Processo de colagem de borda na coladeira de borda.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

3.2.2 Avaliação da resistência à variação de temperatura

Para a avaliação da resistência a variação de temperatura foi utilizada as temperaturas de 60, 70, 80, 90 e 100 °C. Os corpos de prova foram posicionados no centro da estufa, de forma que a circulação do ar fosse uniforme em todas as faces.

O tempo de exposição para cada temperatura foi de 1 h, com intervalos, entre cada uma, de 15 min com temperatura de 23 ± 2 °C e com umidade relativa do ar de $50\pm 5\%$. Foram testadas duas amostras de cada composição preparadas com as

dimensões de 25 cm x 25 cm. A avaliação foi realizada conforme ABNT NBR 16332 (2014).

3.2.3 Ensaio de colagem (resistência à tração)

Para a avaliação da resistência à tração, com auxílio de um estilete, foi deslocado aproximadamente 50 mm da borda do corpo de prova, para possibilitar a fixação no equipamento.

As amostras foram tracionadas com um equipamento Emic 2320 a uma velocidade de 10 mm/min e, também, de forma manual. Foram testadas duas amostras de cada composição preparadas com as dimensões de 25 cm x 25 cm. A avaliação foi realizada conforme ABNT NBR 16332 (2014).

3.2.4 Avaliação de condições ambientais

Para a avaliação do efeito do clima, em cada ciclo de funcionamento utilizou-se as temperaturas de 65, 10 e 35 °C, nesta ordem, com a umidade relativa do ar, respectivamente, em 30, 10 e 80%. Os corpos de prova foram posicionados no centro da câmara de simulação climática, de forma que a circulação do ar fosse uniforme em todas as faces. Constantemente foram verificados se o reservatório de água destilada estava cheio e se o reservatório de purga estava vazio.

O tempo de exposição para cada ciclo foi de 24 h, programados para permanecerem durante 4, 6 e 12 h, respectivamente, para as temperaturas utilizadas. Foram testadas duas amostras de cada composição preparadas com as dimensões de 25 cm x 25 cm e obtida a média deste resultado. A avaliação foi realizada conforme ABNT NBR 16332 (2014).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para melhor compreensão e discussão dos resultados, primeiramente será apresentada o processo de colagem de borda e, após, os resultados obtidos na avaliação dos parâmetros operacionais.

4.1 AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA A VARIAÇÃO DE TEMPERATURA

O ensaio de variação de temperatura consiste na exposição dos corpos de prova para avaliação de colagem e encolhimento, ao término de cada temperatura foi efetuado um controle visual da situação do painel ainda quente e realizada a graduação dos aspectos das amostras, a graduação e descrição dos parâmetros estão no Quadro 1.

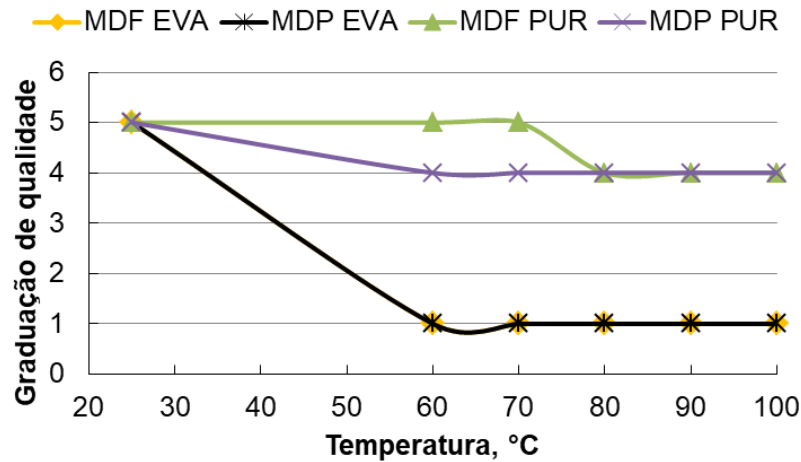
Quadro 1 – Graduação dos aspectos dos corpos de prova utilizados para a avaliação da resistência à variação de temperatura.

Descrição de defeitos	Graduação
Sem alteração	5
Descolamento não contínuo da borda de 1 a 2 mm	4
Descolamento contínuo da borda de 1 a 2 mm	3
Descolamento contínuo da borda maior que 2 mm e/ou descolamento parcial espontâneo e/ou deformação evidente da borda	2
Descolamento total espontâneo	1

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 16332 (2014).

É possível observar na Figura 5 os resultados da resistência à variação de temperatura, para as cinco temperaturas distintas.

Figura 5 – Avaliação da resistência à variação de temperatura com avaliação realizada de hora em hora.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Tanto para os painéis em MDF e MDP com a aplicação do adesivo EVA, foi observado que no primeiro ciclo, com a temperatura de 60 °C, houve o deslocamento total espontâneo, ou seja, o adesivo não suportou o aquecimento e na primeira temperatura, de forma espontânea, soltou-se por completo. Este resultado não era esperado, conforme TOMIC (2018), o polímero EVA apresenta capacidade de suportar maiores temperaturas, com amolecimento esperado para ocorrer na faixa de temperatura de 80 a 105 °C.

A variação de temperatura afeta as propriedades mecânicas e influencia nas propriedades elétricas, químicas e na estabilidade. Os materiais poliméricos geralmente são sensíveis a grandes mudanças de temperatura, pois altas temperaturas resultam na mobilidade molecular, tornando as cadeias mais flexíveis o que faz reduzir o módulo elástico.

Os resultados obtidos evidenciam que se os produtos que utilizam o adesivo EVA passarem, por exemplo, por um processo de aplicação de embalagem a quente, a temperatura poderá interferir na qualidade final.

O painel em MDP com adesivo PUR do seu primeiro ciclo, de 60 °C, em diante, permaneceu com um deslocamento não contínuo da borda. Já o painel em MDF com adesivo PUR permaneceu em seus dois primeiros ciclos, de 60 e 70 °C, sem alterações. Porém, do terceiro ciclo em diante, com as temperaturas de 80, 90 e 100 °C, foi notado um deslocamento não contínuo da borda. Os resultados obtidos com o adesivo PUR não se apresentaram satisfatórios com a literatura, pois não é

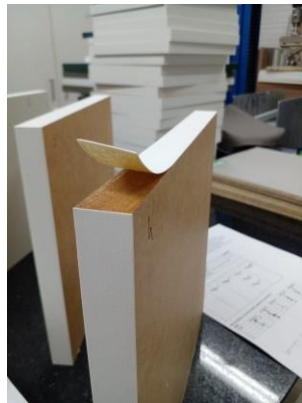
esperado que o adesivo PUR inicie o encolhimento com as temperaturas de 60, 70 e 80 °C.

A umidade presente nos painéis de madeira pode ter contribuído para estes resultados, as chapas são condicionadas em um pavilhão, em que o clima não é controlado, ficando expostas a todas as mudanças climáticas, ainda é preciso realizar um estudo com os painéis de madeira para confirmar esta possibilidade.

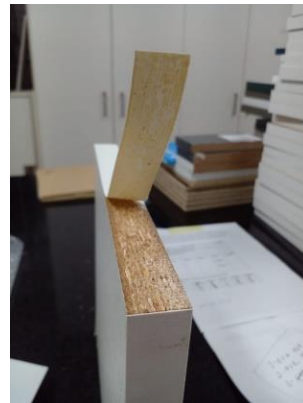
Na Figura 6, pode ser visto os resultados do ensaio de resistência a temperatura

Figura 6 – Representação dos resultados obtidos no ensaio de resistência a temperatura

MDF ADESIVO EVA



MDP ADESIVO EVA



MDF ADESIVO PUR



MDP ADESIVO PUR

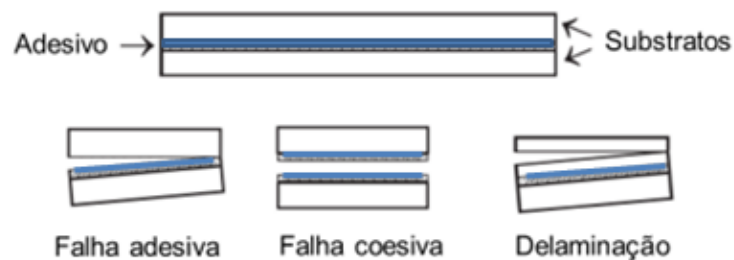


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

4.2 AVALIAÇÃO DO ENSAIO DE COLAGEM DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

A Figura 7 apresenta três tipos de falhas que podem ocorrer ao realizar a descolagem no ensaio de adesão. A falha adesiva ocorre quando a camada do adesivo fica em apenas um dos substratos. A falha coesiva ocorre quando o adesivo apresenta a camada de cola nas duas superfícies dos substratos. Já a delaminação, ou rompimento do substrato, ocorre quando a adesão e a coesão são muito fortes. Freitas (2016), estes conceitos irão contribuir para a compreensão dos resultados.

Figura 7. Representação das falhas da descolagem na avaliação do ensaio de colagem.



Fonte: Adaptado de Freitas (2016).

O ensaio de colagem foi adaptado conforme ABNT NBR 16332:2014. Para todos os corpos de prova houve a delaminação, não sendo possível obter resultados mensuráveis ao realizar o arrancamento da fita de borda, pois a fita se rompia em pequenos pedaços durante as tentativas de flexão. O ensaio foi repetido de forma manual e os mesmos resultados foram obtidos.

Conforme estudos relacionados, os resultados esperados eram que as amostras com adesivo PUR apresentassem falha coesiva e melhor desempenho do que o adesivo EVA, porém ambos adesivos apresentaram boa aderência no tipo de substrato utilizado no ensaio. De forma visual, os dois adesivos obtiveram os mesmo resultados, possivelmente a espessura da fita de borda escolhida contribuiu para este resultado. Assim, ao utilizar fita de borda com espessura de 0,45 mm, o resultado apresentado foi que os dois diferentes adesivos aderiram nos dois substratos, apresentando forte adesão e coesão. A Figura 8 apresenta as falhas obtidas

Figura 8. Representação das falhas da descolagem por delaminação

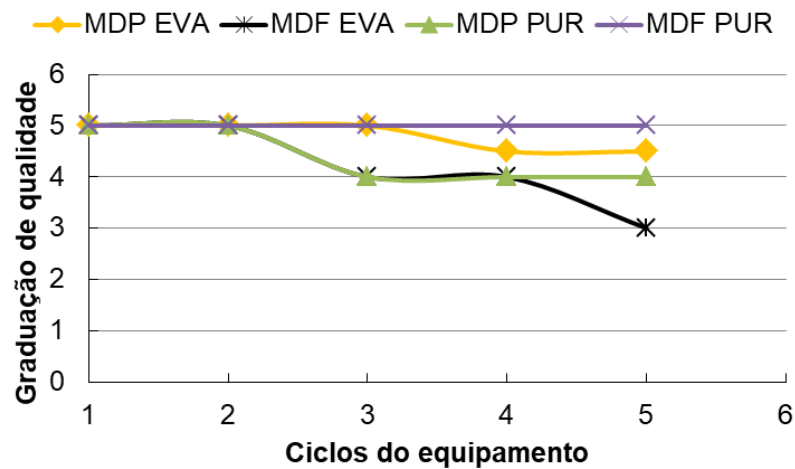


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

4.3 AVALIAÇÃO DO EFEITO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS

Na Figura 9 é possível observar os resultados do efeito do ensaio de condições ambientais, para os cinco ciclos do equipamento, bem como a graduação de qualidade ao final de cada ciclo.

Figura 9. Avaliação do efeito do ensaio de climatização com a graduação de qualidade



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Para a avaliação de cada ciclo de umidade e temperatura, foram observados os aspectos de qualidade disponibilizados no Quadro 2.

Quadro 2 – Graduação dos aspectos dos corpos de prova utilizados para a avaliação da resistência das condições ambientais

Descrição de defeitos	Graduação
Sem alteração	5
Descolamento não contínuo da borda de 1 a 2 mm	4
Descolamento contínuo da borda de 1 a 2 mm	3
Descolamento contínuo da borda maior que 2 mm e/ou descolamento parcial espontâneo e/ou deformação evidente da borda	2
Descolamento total espontâneo	1

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 16332 (2014).

As amostras ficaram expostas a grandes variações de temperatura e umidade, com objetivo de recriar situações extremas de mudanças climáticas, pois em situações reais do dia a dia os produtos ficam sujeitos às mais diversas condições, como variações de temperatura, umidade, contato com agentes químicos, exposição às intempéries e outras influências. Estas inconstâncias dificultam na realização de previsões de comportamentos esperados

Em termos de resistência, umidade e exposição ao calor, por conta dos ensaios realizados anteriormente, era esperado que o adesivo PUR obtivesse melhor desempenho. Porém foi observado que o segundo melhor resultado foi obtido pelo painel MDP com adesivo EVA.

As amostras de MDP foram disponibilizadas pela fábrica com melamina envolta por toda a superfície da peça, as peças foram disponibilizadas da mesma forma que são vendidas, provavelmente por este motivo os resultados para os painéis MDP foram melhores que o esperado, pois provavelmente a superfície adicionada sobre as amostras garantiu proteção e melhora dos resultados esperados na análise dos adesivos.

Os painéis de MDF foram adicionados na câmara de climatização, apenas com a aplicação de fita de borda ABS. Para estes matérias o comportamento do adesivo foi conforme esperado. Os substratos com adesivo de PUR não apresentaram deformação ou encolhimento, enquanto os substratos com adesivo de EVA apresentaram descolamento contínuo da borda, de aproximadamente 1 mm.

5 CONCLUSÃO

A realização do estudo de caso possibilitou verificar na prática o comportamento de colagem de adesivos termoplásticos com base EVA e termorrígidos com base PUR. As amostras confeccionadas através da realização de aplicação do adesivo apresentaram comportamento, por vezes, não adequado frente à resistência mecânica e química, diante às condições operacionais verificadas no trabalho. A utilização de equipamentos de colagem de borda permitiu que a aplicação do adesivo se realizasse de forma semiautomatizada, garantindo que as amostras recebem as mesmas condições operacionais. Além disso, a temperatura de aplicação da cola se manteve estável para as amostras, indicando o correto funcionamento do controle de temperatura nas máquinas.

Verificou-se que no ensaio de temperatura o adesivo EVA não suportou a temperatura inicial de 60 °C, apresentando um desprendimento total nos painéis de madeira. Por outro lado, o adesivo PUR finalizou os testes de temperatura sem consideráveis modificações. Quanto à adesão os dois polímeros apresentaram um rompimento por delaminação, onde foi possível concluir que, apesar das propriedades dos adesivos apresentarem desempenhos diferentes, nas operações que não envolvam altas temperaturas ambos apresentam aspectos semelhantes nos substratos estudados, porém quando utilizados em operações com alta temperatura o PUR se mostra mais eficiente.

As avaliações realizadas permitiram verificar o comportamento térmico, químico e mecânico presentes na estrutura dos dois adesivos poliméricos frente aos parâmetros operacionais realizados. Quando comparado ao desempenho esperado academicamente, o produto apresenta um nível de complexidade mais elevado, pois o desempenho foi analisado conforme uma variedade de fatores, tais como técnica e condições de processamento de aplicação do adesivo, ambiente envolvendo a temperatura e umidade, agentes químicos, tipo de polímero e aditivos presentes na formulação.

O estudo realizado surgiu para evidenciar uma problemática aos métodos existentes. Frente a isso, há a contribuição para o desenvolvimento de uma melhoria na produção frente à verificação das condições de desempenho, com grande

potencial de reduzir quantidade de retrabalho de peças e também, melhorar o processo.

REFERÊNCIAS

- BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **“Panorama de mercado: painéis de madeira”** Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/3023/1/Panorama%20de%20mercado.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2021.
- C. D. F. Klein, **Síntese e caracterização de poliésteres termoplásticos**, 2009.
- CANEVAROLO JÚNIOR, Sebastião V. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. São Paulo: Artliber, 2002. 183 p. ISBN 8588098105.
- EISFELD, Cristiane de Loyola. **Análise da competitividade entre as indústrias de painéis de madeira: compensado, MDF e OSB no estado do Paraná**. 2009. 96 f. Tese (Pós graduação) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.
- INTERCOL. EVA hotmelts. Disponível em: <https://adhesive.intercol.eu/en/producten-2/hot-melt-glue/eva-hotmelts/index.html>. Acesso em: 03 fev. 2022.
- KINLOCH, A. J. **Adhesion and adhesives: science and technology**. London: Chapman & Hall, 1987. 441 p
- M. A. Quaiatti, **Utilização de elastômeros termoplásticos no segmento de adesivos sensíveis à pressão (PSA)**, 2005.
- N. Z. Tomic; A. D. Marinkovic; D. Veljovic; K. Trifkovic; S. Levic; V. Radojevic; R. J. Heinemann, **A new approach to compatibilization study of EVA/PMMA polymer blend used as an optical fibers adhesive: Mechanical, morphological and thermal properties**, 2018.
- PEREZ, Antonio Piqueras. **Characterization a polyurethane-based reactive hot melt adhesive for applications in materials**. 2019. 8 f. Tese (Doutorado) - Universidade Tecnológica de Pereira, Pereira, Colômbia, 2019.
- PINTO, Arnaldo Manuel Guedes. **Ligações adesivas entre materiais e polímeros com e sem alteração superficial dos substratos**. 2007. 372 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2007. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10216/58792>. Acesso em: 1 jun. 2023.
- Rabello, M.S. **Estrutura e Propriedades de Polímeros**, 2a edição, Ed.do autor, Campina Grande, 2023. ISBN 978-65-00-69331-7
- R. F. R. Freitas, **Adesivos termofundíveis: correlação da natureza química com suas propriedades adesiva, reológica e térmica**, 2016.
- REMADE. Revista da Madeira: **Painéis de Madeira MDP e MDF – Mercado e Competitividade**. Edição nº 136. Julho, 2013.
- RODRIGO, Thiago. **Coladeiras de borda e seus grupos de trabalho**. 2023. Disponível em: <https://emobile.com.br/site/marcenaria/coladeiras-de-borda-e-seus-grupos-de-trabalho/>. Acesso em: 7 jul. 2023.
- S. A da Silva, **Estudo do comportamento reológico dos adesivos hot melt PSA e sua relação com a composição e as propriedades adesivas**, 2008

WEBER, Cristiane. **Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados.** 2011. 90 f. Tese (Pós Graduação) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

