



## **Estudo da Aplicação de Adesivos Estruturais para Junção de Chapas de Aço Carbono: Análise da Preparação Superficial do Aderente** **Study of the Application of Structural Adhesives for Joining Carbon Steel Plates: Analysis of Adherent Surface Preparation**

Franco da Silveira<sup>1</sup>

William Hister<sup>2</sup>

Flávio Kieckow<sup>3</sup>

Filipe Molinar Machado<sup>4</sup>

Marcela Avelina Bataghin Costa<sup>5</sup>

Fernando Gonçalves Amaral<sup>6</sup>

Antônio Vanderlei dos Santos<sup>7</sup>

**Resumo:** A aplicação de adesivos estruturais como método de junção vem sendo utilizado há anos nos diversos segmentos da indústria. Para uma boa resistência das juntas adesivadas, o processo de união deve considerar variáveis técnicas que interferem no comportamento mecânico da mesma. Nesse contexto, o artigo objetiva comparar a aplicação de adesivos estruturais com diferentes espessuras na união de chapas metálicas de aço considerando a preparação superficial do aderente, a fim de analisar a resistência ao cisalhamento da união das chapas. Como metodologia, o adesivo utilizado foi do tipo acrílico, com resistência ao cisalhamento de 1 t/pol<sup>2</sup>. As espessuras de camada do adesivo foram de 0,5 mm, 1,0 mm e 1,5 mm. As preparações superficiais adotadas foram com isopropanol e lixamento. Como resultados, constatou-se uma elevada resistência nas juntas de chapas metálicas com tratamentos superficiais, combinadas com

<sup>1</sup> UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

<sup>2</sup> URI Erechim – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

<sup>3</sup> URI Erechim – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

<sup>4</sup> URI Erechim – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

<sup>5</sup> IFSP – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

<sup>6</sup> UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

<sup>7</sup> URI Erechim – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

menores espessuras da camada do adesivo. Paralelamente, as fraturas foram adesivas em juntas de baixa resistência e coesivas em juntas com resistência elevada. Por fim, a pesquisa contribuiu para a lacuna de informações existente sobre a preparação superficial em processos de união que utilizam adesivos estruturais, tendo seus resultados maximizados quando há uma associação com baixas espessuras de camada.

**Palavras-chave:** Adesivo Estrutural; Chapas Metálicas; Preparação Superficial; Resistência ao Cisalhamento.

---

**Abstract:** The application of structural adhesives as a joining method has been used for years in the various segments of the industry. For a good resistance of the adhesive joints, the joining process must consider technical variables that interfere in the mechanical behavior of the same. In this context, the article aims to compare the application of structural adhesives with different thicknesses in the union of steel sheets considering the surface preparation of the adhesive in order to analyze the shear strength of the joints of the sheets. As a methodology, the adhesive used was acrylic type, with a shear strength of 1 t/in<sup>2</sup>. The layer thicknesses of the adhesive were 0.5 mm, 1.0 mm and 1.5 mm. The superficial preparations adopted were with isopropanol and sanding. As results, high resistance was observed in metal sheet joints with surface treatments, combined with lower thicknesses of the adhesive layer. At the same time, the fractures were adhesive in low strength joints and cohesive in joints with high resistance. Finally, the research contributed to the existing information gap on the surface preparation in bonding processes using structural adhesives, whose results are maximized when there is an association with low layer thicknesses.

**Keywords:** Structural Adhesive; Metal Plates; Superficial Preparation; Shear Resistance.

---

## 1. Introdução

O alto nível de exigência nos diversos segmentos da indústria possibilita o desenvolvimento de novas tecnologias, resultando em maior qualidade, produtividade e redução de custos de produtos e serviços (CHUN, KIM, LEE, 2015). A utilização de adesivos estruturais segue essa tendência, pois o nível de desenvolvimento alcançado pelo processo de união permite a aplicação dos adesivos em diversos segmentos (BEBER et al., 2018). Porém, a colagem adesiva é atualmente empregada pelos fabricantes de automóveis para complementar (ou substituir) a soldagem na junção de materiais diferentes (ALFANO et al., 2018).

A totalidade dos adesivos é composta de polímeros sintéticos, como os uretanos, acrílicos e epóxis (ANGELIDI et al., 2017; IMANAKA et al., 2018). Além disso, a maioria dos materiais sofrem alterações para melhorar a sua tenacidade (METTE, STAMMEN, DILGER, 2016). A escolha correta do adesivo a ser utilizado no processo de união é uma tarefa complexa, em função da variedade de opções de produtos, que podem variar desde uma fita adesiva simples, até o processo de estruturas em ninhos de abelha (*honeycomb structures*), utilizadas em aeronaves (SILVA et al., 2007; KUMAR, PATNAIK, CHAUDHARY, 2017).

Foi na indústria aeronáutica que surgiram as primeiras aplicações de adesivos em juntas, possibilitando assim, o desenvolvimento das ligações adesivas e atualmente sua aplicação em diferentes segmentos industriais está diversificado (OCANÁ, ARENAS, NARBÓN, 2015). Além da indústria aeronáutica e automobilística, os setores da construção civil, naval e aeroespacial fornecem a evidência de propriedades da boa durabilidade das junções (BEBER et al., 2018; SOUSA, CORREIA, FONSECA, 2018). A preocupação em reduzir a massa de veículos automotores, por exemplo, com o intuito de reduzir o consumo e ganhar velocidade, originou a utilização de materiais leves, como o alumínio e os compósitos reforçados com fibras. A união desses materiais é difícil, considerando os processos tradicionais. Nesse sentido, os adesivos são adotados como o método preferido de união (OCANÁ, ARENAS, NARBÓN, 2015).

Em geral, as uniões adesivadas oferecem inúmeras vantagens em comparação aos métodos tradicionais, como união por parafusos, rebites, soldas, entre outros (ALFANO et al., 2018; IMANAKA et al., 2018). Essas uniões não possuem concentradores de tensões, distribuindo uniformemente as tensões ao longo da área de ligação e amortecendo as vibrações, a fim de permitir a absorção das tensões e a melhoria da resistência à fadiga dos componentes ligados. Podem, também, reduzir custos, pois os projetos têm tendência a serem mais ágeis e, conseqüentemente, mais econômicos (BEBER et al., 2018). Para Banea et al. (2018), os principais benefícios da utilização de adesivos estruturais estão relacionados com a flexibilidade de projeto e a junção de materiais de diferentes classes.

Para uma boa resistência das juntas adesivadas, o processo de união deve considerar diversas variáveis que interferem no comportamento mecânico da junta, como o tipo de adesivo e suas propriedades, o tipo de junta, a preparação da superfície do substrato (material de base), a espessura do adesivo e a pressão e temperatura no processo de cura (ANGELIDI et al., 2017). A preparação da superfície dos aderentes (materiais a serem unidos pela superfície do adesivo) é o primeiro cuidado para obtenção de uma junta adesivada de qualidade com características controladas (BRINSON, 1990). A colagem dos adesivos é o tipo de método de junção que é fortemente dependente das propriedades da superfície do material. Uma única camada com a espessura de uma molécula de contaminante pode atrapalhar a molhabilidade ideal do adesivo na superfície do aderente, impedindo o preenchimento da junta e o contato íntimo entre os substratos que serão colados e o adesivo (MENDES, 2005). A espessura do filme adesivo deve ser uniforme e sem porosidade na região da colagem. A espessura ideal utilizada está entre 0,50 mm (milímetros) e 1,50 mm. Os métodos de controle não devem introduzir ou promover a formação de vazios (SILVA et al., 2007).

Considerando que a correta aplicação dos adesivos depende de todos esses fatores, a pesquisa objetiva desenvolver uma aplicação de adesivos estruturais com diferentes espessuras na união de chapas metálicas de aço carbono comum considerando a preparação superficial do aderente. Como complemento, busca-se analisar a resistência ao cisalhamento da união das chapas metálicas. As variáveis de estudo tratam-se das preparações da superfície e da espessura de camada de adesivo na junta metálica.

## **2. Referencial Teórico**

### **2.1 Teoria da Adesão**

Historicamente, posturas mecânicas, difusão, adsorção e reação superficial e teorias eletrostáticas têm sido postuladas para descrever os mecanismos de adesão. Mais recentemente, outras teorias foram desenvolvidas para o mecanismo de colagem (EBNESAJJAD, 2014). Ao projetar uma junta adesiva, supõe-se que exista uma adesão perfeita entre o substrato e o adesivo. Porém, os fenômenos envolvidos na adesão são complexos e necessitam de conhecimentos diversos (SILVA et al., 2007; ALFANO et al., 2018).

Assim, a resistência de uma junta colada é atribuída a duas principais forças: coesivas e adesivas. Ambas se relacionam às ligações químicas primárias (iônica, covalente e metálica) e/ou ligações secundárias (*Van der Waals* e Ligação de Hidrogênio), contemplando diferentes energias (PETRIE, 2007). As energias das ligações químicas primárias e secundárias estão dispostas na Tabela 1.

**Tabela 1:** Energias das ligações químicas primárias e secundárias.

<b>Tipo de Ligação</b>	<b>Energia da Ligação (kJ.mol<sup>-1</sup>)</b>	<b>Comprimento da Ligação (n.m.)</b>
<i>Primária, químicas</i>		
Iônica	600 - 1000	0,2 - 0,4
Covalente	60 - 800	0,1 - 0,3
Metálica	100 - 350	0,2 - 0,6
<i>Ácido-base, interações</i>		
Brønsted	< 1000	-
Lewis	< 80	-
<i>Secundárias, físicas</i>		
Hidrogênio	~ 50	0,3
Van der Waals	-	-
Interações dipolo	5 - 20	0,4
London	1 - 40	< 1

Fonte: (PACKHAM, 2005).

A força coesiva é tão importante quanta a força adesiva, pois ela está relacionada ao aderente, ou substrato, e é resultado das interações entre as moléculas ou íons adjacentes de um mesmo material e diz a respeito à sua força de coesão (SILVA et al., 2007). Várias teorias foram propostas para tentar explicar o fenômeno da adesão, entretanto, não há uma teoria única que explique o fenômeno de uma forma completa e geral. A ligação de um adesivo a uma superfície é a soma de um conjunto de forças mecânicas, físicas e químicas que se sobrepõem e se influenciam (ZHANG et al., 2018). A partir do conjunto de forças, surgem quatro teorias gerais de adesão: mecânica, adsorção, difusão e eletrostática.

## 2.2 Tipos de Teoria da Adesão

### 2.2.1 Teoria Mecânica

O estudo da adesão mecânica iniciou-se na escala macrométrica, através de observações a diversos sistemas, como por exemplo: fios têxteis e elastômeros, constituintes dos pneus de automóveis; couro e adesivo. No entanto, estudos que avaliam a adesão em menor escala, aproximando a escala atômica tem ganhado força (PIZZI e MITTAL, 2003; PACKHAM, 2005; COGNARD, 2006).

O adesivo deve ter propriedades adequadas a fim de penetrar nos poros e aberturas em um tempo razoável, assim como molhar convenientemente o substrato. Porém, o encravamento não se aplica a todos os casos, pois também pode ocorrer uma boa adesão em superfícies lisas (HOEHNE, 2013). Alguns métodos têm capacidade de melhorar a adesão, entre eles, os tratamentos superficiais. Eles proporcionam uma maior rugosidade, maior área de contato, melhor cinética de molhagem, entre outros benefícios (HOEHNE, 2013).

### **2.2.2 Teoria da Adsorção**

A teoria da adsorção é a adesão entre moléculas do adesivo (o adsorvido) e o substrato (o adsorvente). Para que ocorra um contato íntimo entre as moléculas, alguns fatores devem ser considerados: energia de superfície, tensão superficial, adesão, coesão, espalhamento, entre outros (PACKHAM, 2005; COGNARD, 2006). A teoria da adsorção é dividida em dois tipos: adsorção física e adsorção química. A adsorção física ocorre quando ligações secundárias surgem na interface e é o mecanismo mais importante de adesão. A adsorção química, ou quimiossorção, ocorre quando ligações primárias surgem na interface. Estas ligações possuem caráter químico e são extremamente fortes. O uso de agentes de ligação e promotores de adesão (*primers*) ajuda a fixar o aderente à superfície por reação química (PIZZI e MITTAL, 2003; PACKHAM, 2005; COGNARD, 2006; HOEHNE, 2013).

### **2.2.3 Teoria da Difusão**

A teoria da difusão ocorre apenas em materiais poliméricos (COLMYN, 1997). O conceito da teoria da difusão é simples. A extremidade de uma cadeia polimérica superficial difunde na estrutura da outra superfície formando uma ponte ou ligação por meio da interface. Quando a adesão de um material é com ele próprio, o processo é denominado de autoadesão (HOEHNE, 2013). Porém, se forem utilizados diferentes polímeros, a adesão é denominada heteroadesão (SILVA et al., 2007). A teoria da difusão não possui muitas aplicações, entretanto, um exemplo é a solda por calor de termoplásticos (PACKHAM, 2005). Destaca-se que a teoria da difusão não se aplica quando os materiais não são solúveis, ou seja, no movimento em que a cadeia polimérica está restringida pela sua estrutura cristalina, ou quando os materiais estão abaixo de sua temperatura de transição vítrea (PACKHAM, 2005; SILVA et al., 2007).

### **2.2.4 Teoria Eletrostática**

Conforme Pizzi (2003), a teoria eletrostática foi desenvolvida por meio de experimentos. A teoria eletrostática impõe a força de adesão à transferência de elétrons entre o substrato e o adesivo, responsáveis por desenvolverem uma superfície carregada positivamente e outra negativamente. Essa teoria só é aplicada quando a união ocorre entre um polímero e um metal (PACKHAM, 2005). A análise presente no sistema da adesão eletrostática pode ser comparada a análise de um capacitor, pois as superfícies estão paralelas e carregadas,

responsáveis por formar uma dupla camada de cargas na interface metal-polímero (PIZZI, 2003; HOEHNE, 2013).

### 3. Materiais e Métodos

#### 3.1 Substrato

Conforme exibe a Tabela 2, o material adotado para a composição dos corpos de prova foi o NBR-5915-2-13-EM (ABNT, 2013), sendo compreendido como uma chapa de aço, fina e sem qualquer tratamento termoquímico. Os corpos de prova foram desenvolvidos por meio de cortes na chapa NBR-5915-2-13-EM, com as mesmas propriedades mecânicas e geométricas para todas as amostras desenvolvidas.

**Tabela 2:** Composição química da chapa de aço carbono (% massa).

C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Nb	Cr	Ni	N
0,03	0,003	0,19	0,013	0,008	0,044	0,009	0,001	0,014	0,003	0,0023

#### 3.2 Adesivo

O adesivo utilizado foi acrílico de dois componentes. A proporção utilizada entre adesivo e acelerador foi 4 x 1. Dentre as principais características, destacam-se versatilidade, resistência à temperatura, resistência a diversos ambientes e não escorrimento (garantindo colagem em posições verticais). Para a aplicação do adesivo, utilizou-se uma pistola de aplicação manual, conforme exibe a Figura 1. A bisnaga com os tubos de adesivo e o acelerador são inseridos na pistola, juntamente com o bico misturador, que serve para dosar a proporção correta. Uma coloração visualmente uniforme significa uma boa homogeneização do adesivo, confirmando que está pronto para ser aplicado.

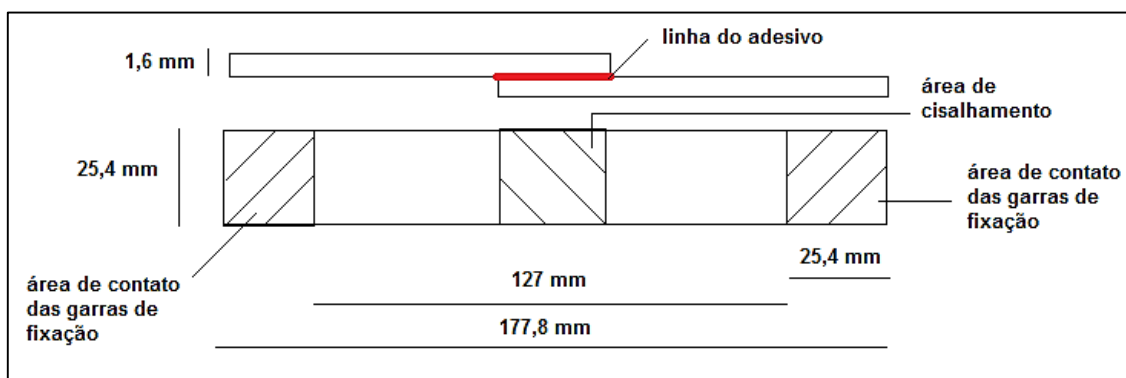


**Figura 1:** Pistola para aplicação manual do adesivo.

O início da cura ocorre logo após a mistura do adesivo e do acelerador. O tempo de movimentação das chapas, para ajustes de alinhamento e regulagem da espessura, foi de 48 minutos. Já a cura completa foi de 24 horas à temperatura ambiente (21 °C). A resistência máxima ao cisalhamento é de 1 t/pol<sup>2</sup>. Como a área de colagem foi de aproximadamente ½ pol<sup>2</sup>, a força máxima da cola, para a área em análise, foi de 500 kgf/pol<sup>2</sup> (ou 4900 N).

### 3.3 Confeção dos Corpos de Prova

Os ensaios foram realizados segundo a norma ASTM D1002 (1983), referente ao ensaio de cisalhamento em juntas coladas. Seguindo as determinações da norma, foram desenvolvidos os corpos de prova (CP) para realizar os testes. A Figura 2 expressa as dimensões consideradas para desenvolver os corpos de prova.



**Figura 2:** Corpo de prova desenvolvido para realizar os ensaios. Fonte: (ASTM D1002, 1983).

### 3.4 Preparação Superficial

A preparação da superfície foi uma das principais etapas que antecedem a colagem e por isso foi um dos parâmetros avaliados no estudo. Foram estabelecidas três variações das condições de preparação da superfície:

1º teste) Sem preparação superficial. O adesivo foi misturado e posteriormente aplicado no substrato. Entretanto, esse substrato continha óxidos, gorduras ou pós que impediram a correta molhabilidade do mesmo, tornando a junta colada mais suscetível à fratura.

2º teste) Limpeza preliminar da superfície com álcool isopropílico (propan-2-ol). Nesta segunda situação foi usado o álcool isopropílico (propan-2-ol) em um pano de limpeza aplicado na parte da chapa que recebeu o adesivo.



3º teste) Limpeza total da superfície (álcool, lixamento e álcool). Na última preparação, houve aplicação de álcool isopropílico (propan-2-ol). Após a remoção de todas as impurezas superficiais, foi realizada uma abrasão mecânica por meio de lixamento (granulometria 60), gerando macro rugosidades, a fim de facilitar a molhabilidade do adesivo no substrato. Neste mesmo teste, foi realizado uma nova aplicação de álcool isopropílico (propan-2-ol), para garantir a retirada de qualquer resquício oriundo da abrasão. Utilizou-se uma lixa de granulometria 60, sendo o lixamento realizado no sentido perpendicular à força de cisalhamento da junta, fazendo com que houvesse maior resistência ao cisalhamento.

A definição da espessura de camada do adesivo ponderou as especificações recomendada pelo fabricante, que é de 0,50 mm. Porém, outros dois valores foram arbitrados para verificar a influência de tal variação proposta. Por meio da combinação de 3 tipos de preparações superficiais com 3 espessuras de camada do adesivo, obteve-se um total de 9 combinações diferentes ensaiadas. Para cada situação, foram ensaiados 5 corpos de prova, totalizando 45. Essas informações estão compiladas conforme a Tabela 3.

**Tabela 3:** Agrupamento dos corpos de prova, nas diferentes situações.

<b>Espessura da camada do adesivo</b>	<b>Variação da preparação da superfície</b>	<b>Número de corpos de prova para cada situação</b>
1,50 mm	Sem tratamento	5
	Álcool Isopropílico	5
	Álcool + Lixamento + Álcool	5
1,0 mm	Sem tratamento	5
	Álcool Isopropílico	5
	Álcool + Lixamento + Álcool	5
0,50 mm	Sem tratamento	5
	Álcool Isopropílico	5
	Álcool + Lixamento + Álcool	5

A máquina para ensaio de cisalhamento utilizada foi da ~~marca~~ EMIC, com capacidade de carga útil de 200 kN. A velocidade de ensaio foi a recomendada pela norma ASTM D1002 (1983), que foi de 10 mm/min. Após seguir todas as observações e restrições para a colagem das chapas, conforme a Tabela 3, foram executados os ensaios. A Figura 3 ilustra como os corpos de prova foram fixados na máquina para realização do ensaio, utilizando as extremidades do corpo de prova para fixação total.



**Figura 3:** Corpo de prova fixado na máquina para realização do ensaio de cisalhamento.

#### 4. Resultados e Discussões

A Tabela 4 apresenta os valores médios de resistência máxima ao cisalhamento para todas as combinações expostas na Tabela 3. Destacam-se que os testes sem preparação superficial foram desenvolvidos para verificar a veracidade dos referenciais.

**Tabela 4:** Valores médios da resistência ao cisalhamento para as combinações.

	Espessura		
	<i>1,5 mm</i>	<i>1,0 mm</i>	<i>0,5 mm</i>
Sem tratamento	3041 N	3270 N	3640 N
Álcool Isopropílico	3208 N	3748 N	3954 N
Álcool Isopropílico + lixamento + Álcool	3800 N	4097 N	4688 N

Pela Tabela 4, os valores médios de força ficaram entre 3041 N para espessura de camada de 1,5 mm e 3640 N para 0,5 mm. Em uma mesma condição de preparação superficial e espessura de camada de adesivo, nota-se diferença de até 50 % nos valores de resistência. Na espessura de 0,5 mm, a ausência de preparação superficial influenciou diretamente nos resultados.

A resistência máxima foi maior nos corpos de prova que não estavam com substâncias contaminantes em sua superfície. Porém, por meio de inspeção visual, os substratos não demonstraram contaminação inicial, dificultando o processo de união eficiente. Além disso, observou-se que da espessura de 1,5 mm para 1,0 mm, tem-se um ganho médio de resistência de 7%. Já de 1,5 mm para 0,5 mm, esse valor atinge uma porcentagem de 16,5%, considerando apenas o controle de camada de espessura do adesivo. Na Figura 4 é possível constatar que a ruptura nos corpos de prova sem preparação superficial possui um caráter adesivo, reforçando os valores de resistência dispostos na Tabela 4.

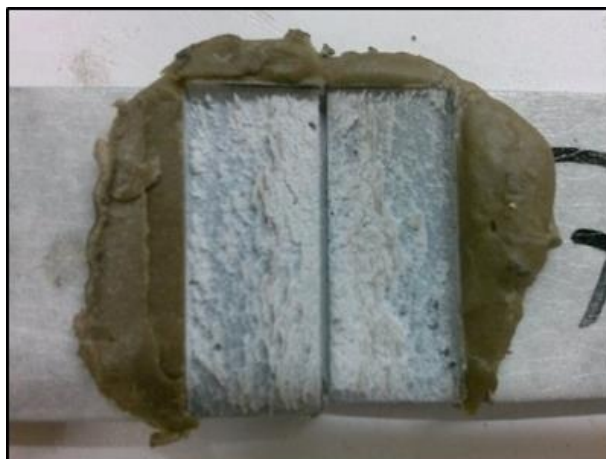


**Figura 4:** Ruptura adesiva na junta sem preparação superficial.

Analisando a condição de preparação superficial utilizando álcool isopropílico, observam-se resultados distintos. Comparando as médias dessa situação com as médias obtidas nas chapas sem preparação superficial, para as mesmas espessuras, nota-se a influência positiva que a aplicação do álcool teve. Entretanto, um problema encontrado foi a possibilidade da contaminação se desenvolver novamente nas chapas preparadas, pois o álcool proporciona tal interferência. Para evitar esse problema, pode-se sugerir o processo de decapagem química, porém, o custo para a execução de tal preparação é elevado (HOEHNE, 2013).

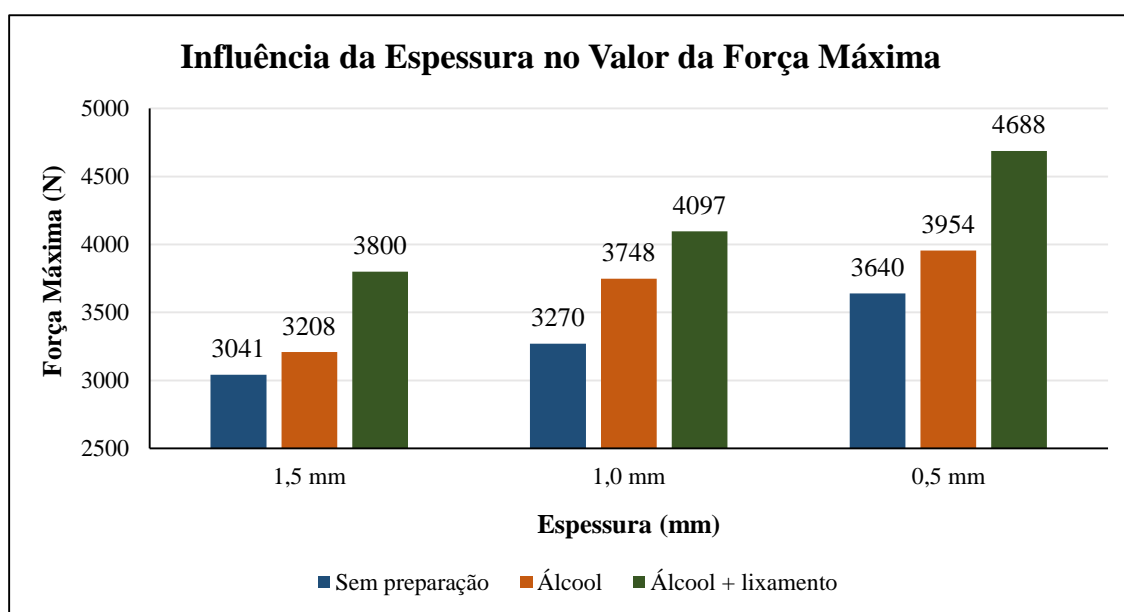
Considerando a preparação combinada de álcool isopropílico e lixamento, corrobora-se que uma boa repetitividade foi encontrada nas situações de 1,5 mm, 1,0 mm e 0,5mm, além dos elevados valores de resistência. Destaca-se que em um corpo de prova, com espessura de camada de 0,5 mm, a resistência à tração encontrada foi de 5012 N, superando o valor de resistência do próprio adesivo, que para  $\frac{1}{2}$  pol<sup>2</sup> de área colada foi de 4900 N.

Da espessura de 1,5 mm para 1,0 mm, tem-se um ganho de resistência de 7,2%. Já de 1,5 mm para 0,5 mm, esse valor atinge uma porcentagem de 19%. Percebe-se que, apenas variando a espessura, o acréscimo na resistência ao cisalhamento é significativo. A Figura 5 exibe uma ruptura coesiva, no interior do filme do adesivo, para reforçar a eficiência da preparação superficial combinada. Verifica-se que o adesivo aderiu completamente nos dois substratos, refletindo em altos valores de resistência ao cisalhamento.



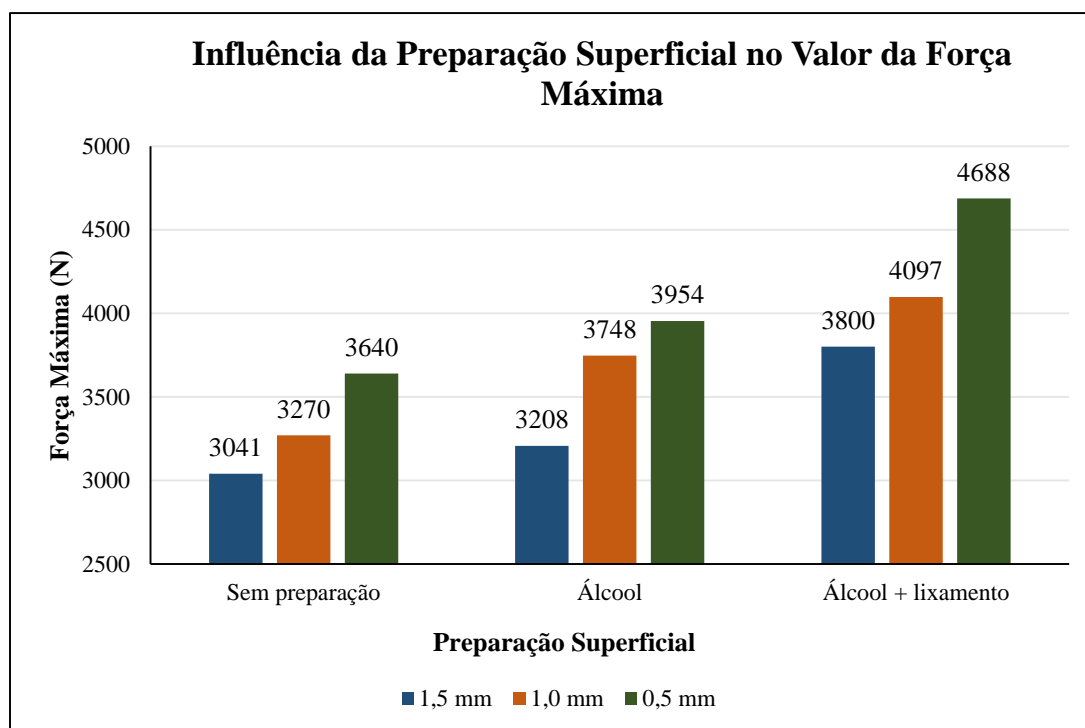
**Figura 5:** Ruptura coesiva na junta preparada com álcool e lixamento.

Todos os resultados comentados, assim como os valores da Tabela 4, estão dispostos na Figura 6 e na Figura 7. A Figura 6 exibe a influência da espessura de camada do adesivo e a Figura 7 expressa a influência da preparação da superfície utilizada.



**Figura 6:** Gráfico agrupado por espessura da camada do adesivo.

As Figuras 6 e 7 demonstram, respectivamente, a superioridade dos valores de resistência máxima na medida em que se diminui a espessura do adesivo na junta e ao passo que é realizada uma melhoria na limpeza superficial e no ancoramento mecânico no processo de colagem da chapa metálica.



**Figura 7:** Gráfico agrupado pelo tipo da preparação da superfície.

## 5. Conclusões

O trabalho apresentou a influência da espessura de camada do adesivo e a influência da preparação da superfície utilizada. A utilização para a redução de pontos de solda ou para substituição de rebites são apenas alguns exemplos de sua aplicação no contexto industrial. Contudo, algumas variáveis ainda são desconhecidas, como a preparação superficial e a camada de espessura do adesivo. Assim, a pesquisa buscou contribuir para aqueles que buscam entender melhor as definições e conceitos do tema e servir como parâmetro para a aplicação de adesivos estruturais em chapas metálicas de carbono.

As juntas sem preparação superficial apresentaram variabilidade de resultados, oscilando até 50% dos valores de resistência ao cisalhamento, mantendo as condições. Apesar do processo de colagem ser mais simples, é preciso salientar que a resistência ao cisalhamento não é elevada. Além disso, como exibido pelos testes, a preparação por meio da aplicação de álcool e lixamento proporcionaram resultados satisfatórios e com maior repetitividade. Em comparação aos resultados dos corpos de prova sem preparação inicial, obteve-se um ganho médio de 20% na resistência ao cisalhamento. Essa dupla preparação, além de remover as impurezas, aumentou a rugosidade das chapas, fazendo com que ocorra a aderência mecânica entre os materiais constituintes.

Por fim, como sugestões para trabalhos futuros mencionam-se as propostas: a) realizar união de materiais de classes diferentes (aço e alumínio); b) utilizar diferentes espessuras de chapas, analisando a influência dessa variação; c) preparar diferentes superfícies nos substratos

(fosfatização das chapas, pintura das chapas, entre outras); e d) realizar a comparação de juntas coladas com outros tipos de uniões, como solda e rebite, avaliando o comportamento mecânico de ambos e a possibilidade de utilizar combinações desses métodos no setor estrutural.

## 6. Referências

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2013. *ABNT NBR 5915-2: chapas e bobinas de aço laminadas a frio. Parte 2: aços para estampagem*. Rio de Janeiro: ABNT.

ALFANO, M. et al. 2018. Fracture toughness of structural adhesives for the automotive industry. *Procedia Structural Integrity*, v. 8, p. 561-565.

ANGELIDI, M. et al. 2017. Ductility, recovery and strain rate dependency of an acrylic structural adhesive. *Construction and Building Materials*, v. 140, p. 184-193.

ASTM D 1002. 1983. *Standard Test Method for Apparent Shear Strength of Single-Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loads (Metal to Metal)*. USA.

BANEA, M. D. et al. 2018. Multi-material adhesive joints for automotive industry. *Composites Part B: Engineering*, v. 151, p. 71-77.

BEBER, V. C. et al. 2018. On the fatigue behavior of notched structural adhesives with considerations of mechanical properties and stress concentration effects. *Procedia Engineering*, v. 213, p. 459-469.

BRINSON, H. F. 1990. *Engineered Materials Handbook: Adhesives and Sealants*. New York, USA: ASM International, v. 3.

CHUN, H.; KIM, J. W.; LEE, J. 2015. How does information technology improve aggregate productivity? A new channel of productivity dispersion and reallocation. *Research Policy*, v. 44, n. 5, p. 999-1016.

COGNARD, P. 2006. *Handbook of Adhesives and Sealants*. 1 ed. v. 2.

COLMYN, J. 1997. *Adhesion Science*. The Royal Society of Chemistry. Cambridge, ENG, 149p.

EBNESAJJAD, S. 2014. *Surface Treatment of Materials for Adhesive Bonding*. William Andrew. 2ª Ed. 360 p.

HOEHNE, J. L. 2013. *Estudo da utilização de adesivo estrutural para redução de pontos de solda nas partes móveis de veículos e correlação da estrutura do compósito metal/recobrimento/adesivo formado com seu desempenho mecânico*. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, Brasil. 174 p.

IMANAKA, M. et al. 2018. Fatigue crack propagation rate of CFRP/aluminum adhesively bonded DCB joints with acrylic and epoxy adhesives. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 85, p. 149-156.

KUMAR, P.; PATNAIK, A.; CHAUDHARY, S. 2017. A review on application of structural adhesives in concrete and steel-concrete composite and factors influencing the performance of composite connections. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 77, p. 1-14.

MENDES, C. N. R. P. 2005. *Contribuição ao desenvolvimento de projeto de carrocerias automotivas utilizando adesivo estrutural para junção de chapas metálicas*. São Paulo: USP, 2005. 176 p. Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Engenharia pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

METTE, C.; STAMMEN, E.; DILGER, K. 2016. Challenges in joining conductive adhesives in structural application – Effects of tolerances and temperature. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 67, p. 49-53.

OCANÃ, R.; ARENAS, J. M.; NARBÓN, J. J. 2015. Evaluation of Degradation of Structural Adhesive Joints in Functional Automotive Applications. *Procedia Engineering*, v. 132, p. 716-723.

PACKHAM, D. E. 2005. *Handbook of Adhesion*. 2 ed. West Sussex, ENG: John Wiley & Sons.

PIZZI, A.; MITTAL, K. L. 2003. *Handbook of adhesive technology*. 2ed. New York: Marcel Dekker. 1024p.

PETRIE, E. 2007. *Handbook of Adhesives and Sealants*. 2 ed. New York, USA: McGraw-Hill.

PIZZI, A.; MITTAL, K. L. 2003. *Handbook of adhesive technology*. 2 ed. New York, USA: Marcel Dekker.

SILVA, L. F. M.; MAGALHÃES, A. G.; MOURA, M. F. S. F. 2007. *Juntas Adesivas Estruturais*. Porto, PT: Publindústria.

SOUSA, J. M.; CORREIA, J. R.; FONSECA, S. C. 2018. Some permanent effects of hygrothermal and outdoor ageing on a structural polyurethane adhesive used in civil engineering applications. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 84, p. 406-419.

ZHANG, J. et al. 2018. Effect of the cohesive law shape on the modelling of adhesive joints bonded with brittle and ductile adhesives. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v.85, p. 37-43.