

DESENVOLVIMENTO E FABRICAÇÃO DOS COMPONENTES UTILIZADOS PARA FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS JUNTAS ADESIVAS E CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS ADESIVOS.

Rodrigo Toledo Cunha¹, Ricardo Zuliane Gonçalves², Ney Francisco de Freitas Camelo³, Luiz
Rafael Rezende da Silva⁴,

Engenharias

Introdução e Objetivo

A união de materiais pode ser realizada por diferentes métodos, como rebiteamento, aparafusamento, soldagem e juntas adesivas. Entre eles, os adesivos vêm ganhando destaque, especialmente em aplicações estruturais, com uso iniciado no fim do século XIX e intensificado no século XX com os avanços da química dos polímeros, chegando a aplicações militares em aeronaves da Primeira Guerra Mundial (Skeist e Miron, 1981; Marques et al., 2021).

O progresso da indústria química possibilitou formulações mais sofisticadas, possibilitando o uso de adesivos em setores como o aeroespacial, ferroviário, naval e automobilístico (Adams, 2021; Dillard, 2023). Na indústria automotiva, a substituição de materiais tradicionais por aços de alta resistência, polímeros especiais, alumínio, magnésio e fibras cerâmicas exige novas soluções de união, pois soldagens podem falhar por incompatibilidades térmicas e métodos mecânicos concentram tensões (Carvalho, 2008; Almeida et al., 2019).

Nesse contexto, as juntas adesivas estruturais surgem como alternativa promissora por unirem materiais distintos sem grandes alterações geométricas, garantindo melhor distribuição de tensões, menor peso, maior resistência à fadiga e custos reduzidos (Jeevi et al., 2019). Diante desse cenário, o presente trabalho justifica-se pela necessidade de compreender a aplicação de adesivos na indústria automotiva, considerando o desenvolvimento de moldes, caracterização de juntas e análise de resultados, visando maior eficiência e modernização dos processos.

¹ Graduando em Engenharia Mecânica, Instituto Federal do Espírito Santo - IFES, rodrigocunha165@gmail.com;

² Graduado em Engenharia Mecânica, Instituto Federal do Espírito Santo - IFES, Ricardo.gzuliane@outlook.com;

³ Mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, neyfc@ifes.edu.br;

⁴ Doutor em Engenharia Mecânica, Universidade do Porto, luiz.silva@ifes.edu.ber.

Método e Metodologia

O trabalho abrange desde a fabricação dos corpos de prova até a análise das fraturas das juntas adesivas. Para isso, com base em Adams et al (2012) foram projetados moldes destinados à produção das placas de adesivo, das quais seriam obtidos os corpos de prova conforme a norma ASTM D638-14, e moldes para juntas de sobreposição simples, conforme a norma ASTM D1002 (Figura 1) tendo a medida L de 12,7 mm. Além disso, torna-se necessária a caracterização dos substratos utilizados nas juntas.

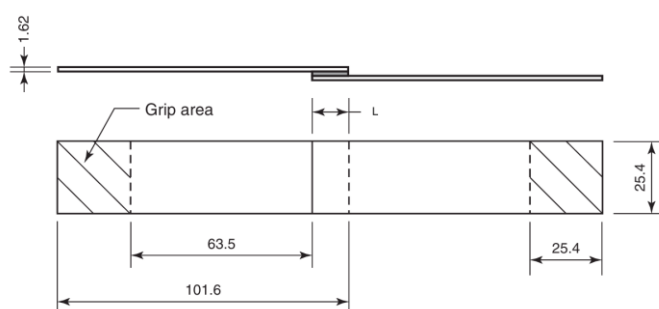


Figura 1 – Dimensões do corpo de prova de juntas adesivas com dimensões em milímetros.

Fonte: Adaptado de Silva, 2012.

As placas de adesivo foram fabricadas em moldes de silicone revestidos por chapas de aço inoxidável tratadas com desmoldantes e curadas em temperatura ambiente.

Para as juntas adesivas, foram desenvolvidos moldes em chapas metálicas ou por impressão 3D, projetados em software CAD 3D (AutoDesk Inventor), com base em Silva et al. (2012). Em cada condição de ensaio, foram previstas no mínimo quatro amostras para garantir replicabilidade e análise estatística. A fabricação ocorreu no Laboratório de Materiais e Processos de Fabricação (LPMF) do Ifes – campus São Mateus, utilizando insumos como aço carbono, chapas metálicas e adesivos epóxi bicomponente, obtidos em parte do estoque institucional e em parte por meio do projeto de pesquisa PJ 8181, financiado pelo Prociência.

Discussão e Resultados

O molde confeccionado para a fabricação das placas de adesivos está representado pela Figura 2, juntamente com uma placa de adesivo epóxi solidificada no quadrado do lado esquerdo do molde de silicone. Neste molde são feitas duas placas separadas possibilitando 4 corpos de prova.

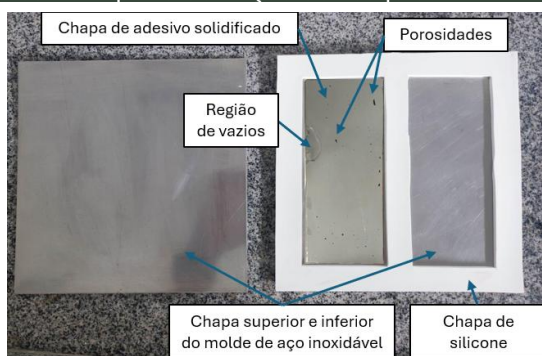


Figura 2 – Molde para a fabricação das placas de adesivos.

Fonte: Autor.

O adesivo epóxi ainda requer otimização, pois mesmo com a aplicação de desmoldante fluido de silicone em chapas de aço inoxidável, observou-se elevada aderência, dificultando a retirada da placa sem danos e evidenciando poros e vazios na estrutura. Também se identificou a necessidade de aprimorar o corte dos corpos de prova, devido à fragilidade característica do material, inviabilizando sua fabricação inicial. Como alternativa, planeja-se desenvolver moldes diretamente no formato dos corpos de prova e avaliar novos desmoldantes. Em relação às juntas, foram confeccionados dois moldes: um de alumínio, que possibilitou a produção adequada, e outro em polímero por impressão 3D, que apresentou desgaste pelo contato com acetona e não suportou a pressão necessária para manter o paralelismo durante a cura. O processo de cura das juntas foi realizado em prensa hidráulica, sob pressão de 2 bar e em temperatura ambiente.

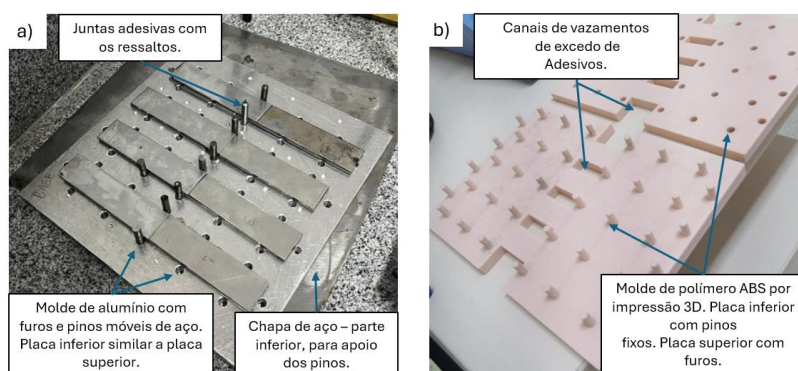


Figura 3 – Moldes para juntas adesivas. a) Molde de alumínio com pinos de aço e chapa de sustentação de aço inoxidável e b) Molde de ABS por impressão 3D com pinos fixos.

Fonte: Autor.

Para a execução das juntas foi utilizado uma máquina de ensaios universal conforme a evidência na Figura 4, onde as juntas foram executadas em três espessuras na ordem de 0,25 mm, 0,45 mm e 0,8 mm, conforme a figura 4.

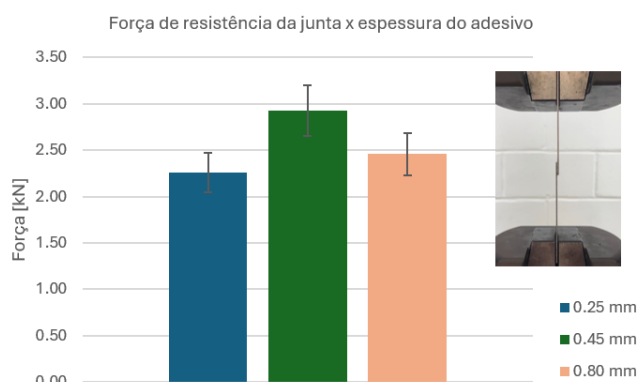


Figura 3 – Representação da força de resistência da junta em relação a espessura do adesivo.

Fonte: Autor.

Os resultados obtidos confirmaram, em parte, o esperado pela literatura, segundo Huang e Zhang (2021) e Banea et al. (2014), que indicam redução da resistência mecânica em juntas com maior espessura e aumento quando a espessura diminui. Contudo, no presente estudo houve divergência em relação a esses autores, o que demanda análise mais aprofundada. Essa diferença pode estar relacionada à ausência de um elemento de compensação da linha neutra na fixação das juntas, utilizado nas referências, mas não aplicado neste projeto para manter maior proximidade com situações reais.

Considerações Finais

O estudo confirma o potencial das juntas adesivas como alternativa promissora para a união de materiais na indústria automotiva, principalmente frente às limitações dos métodos tradicionais. Entretanto, ainda foram observados desafios, como dificuldade no desmolde do epóxi e presença de porosidade, indicando a necessidade de ajustes no processo de fabricação. Como trabalho em andamento, as próximas etapas envolvem otimizar moldes, parâmetros de cura e caracterização das juntas, além de avaliar diferentes espessuras e substratos para ampliar a confiabilidade dos resultados. Dessa forma, a pesquisa avança no desenvolvimento de soluções que favoreçam veículos mais leves, eficientes e sustentáveis, consolidando a adesão estrutural como tecnologia estratégica para o futuro das uniões em engenharia.

Referências

SKEIST, I.; MIRON, J. **History of Adhesives**. Journal of Macromolecular Science: Part A - Chemistry: Pure and Applied Chemistry, 1981, v.15(6), p.1151-1163. doi: 10.1080/00222338108066458.

MARQUES, Eduardo A. S.; CARBAS, Ricardo J. C.; TENREIRO, A. Francisco G.; SILVA, Lucas F. M. da. **Introdução às ligações adesivas estruturais**. Porto: Quântica Editora – Conteúdos Especializados, 2021.

ADAMS, Robert D. **Adhesive Bonding: Science, Technology and Applications**. 2 ed. [S.I]: ELSEVIER, 2021.

DILLARD, David A. (Ed.). **Advances in structural adhesive bonding**. Elsevier, 2023.

CARVALHO, Enéas Gonçalves De. **Inovação tecnológica na indústria automobilística: características e evolução recente 1**. [s.l.]: dez, 2008. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ecos/a/dZZpqddXTF5dKJzwkf5qxKp/?format=pdf&lang=pt>>.

ALMEIDA, Diego Tolotti de; SOUZA, João Henrique Corrêa de; MAEHLER, Piero David; SIMON, Tiago Roberto. **Efeito da espessura do adesivo no comportamento mecânico de juntas adesivas para aplicação automotiva**. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 228-238, abr./jun. 2019. Disponível em: <http://www.tmm.periodikos.com.br/article/doi/10.4322/2176-1523.20191355>. Acesso em: 11 set. 2024.

JEEVI, G., Nayak, S. K., Abdul Kader, M. **Review on adhesive joints and their application in hybrid composite structures**. Journal of Adhesion Science and Technology, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01694243.2018.1543528>

ADAMS, R. D. Testing of bonded joints. In: **Industrial applications of adhesive bonding**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1987. p. 69-87.

ASTM D1002. ASTM International. **Resistência ao cisalhamento de amostras metálicas coladas por colagem**, 2019.

SILVA, Lucas F. M. da; DILLARD, David A.; BLACKMAN, Bamber; ADAMS, Robert D. **Testing Adhesive Joints, Best Practices**. Weinheim: Wiley-VCH Verlag & Co. KGaA, 2012.

ZHANG, Dawei; HUANG, Ying. **Influence of surface roughness and bondline thickness on the bonding performance of epoxy adhesive joints on mild steel substrates**. *Progress in Organic Coatings*, v. 153, p. 106135, 2021.

BANEA, Mariana D.; DA SILVA, Lucas Filipe Martins; CAMPILHO, Raul DSG. **The effect of adhesive thickness on the mechanical behavior of a structural polyurethane adhesive**. *The Journal of Adhesion*, v. 91, n. 5, p. 331-346, 2015.