



Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)

Engenharia & ciência dos materiais



Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)

Engenharia & ciência dos materiais

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Henrique Ajuz Holzmann

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia e ciência dos materiais / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0203-9

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.039220906>

1. Engenharia. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Título.

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br



DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

A engenharia de materiais, se tornou um dos grandes pilares da revolução técnica industrial, devido a necessidade de desenvolvimento de novos materiais, que apresentem melhores características e propriedades físico-químicas. Grandes empresas e centros de pesquisa investem maciçamente em setores de P&D a fim de tornarem seus produtos e suas tecnologias mais competitivas.

Destaca-se que a área de material compreende três grandes grupos, a dos metais, das cerâmicas e dos polímeros, sendo que cada um deles tem sua importância na geração de tecnologia e no desenvolvimento dos produtos. Aliar os conhecimentos pré-existentes com novas tecnologias é um dos grandes desafios da nova engenharia.

Neste livro são explorados trabalhos teóricos e práticos, relacionados as áreas de materiais, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. Apresenta capítulos relacionados ao desenvolvimento de novos materiais, com aplicações nos mais diversos ramos da ciência, bem como assuntos relacionados a melhoria em processos e produtos já existentes, buscando uma melhoria e a redução dos custos.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Boa leitura.

Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ESTUDO DO EFEITO DA VARIAÇÃO DA %FEO NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE MISTURAS DESFOSFORANTES E DA GRANULOMETRIA DA CAL NA EFICIÊNCIA DE DESFOSFORAÇÃO DE FERRO GUSA

Caio Vaccari Silva
Raphael Mariano de Souza
Victor Bridi Telles
Estefano Aparecido Vieira
José Roberto de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0392209061>

CAPÍTULO 2..... 18

DIMINUIÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL NO PROCESSO DE DESSULFURAÇÃO DE FERRO GUSA VIA KR


Elton Volkers do Espírito Santo
Flaviani Marculano Marchesi
Heitor Cristo Clem de Oliveira
Silas Gambarine Soares
Henrique Silva Furtado
Felipe Fardin Grillo
José Roberto de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0392209062>

CAPÍTULO 3..... 32

FOTOCROMISMO E ATIVIDADE FOTOCATALÍTICA DE FILMES DE TiO₂ OU DE TiO₂ CONTENDO DOIS DIFERENTES PRECURSORES DE TUNGSTÊNIO

Luana Góes Soares da Silva
Annelise Kopp Alves

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0392209063>

CAPÍTULO 4..... 50

COMPÓSITO POLIMÉRICO DE FIBRAS DE JUTA E VIDRO-E COMO POTENCIAL USO EM PRÓTESES/ÓRTESES: PROPRIEDADES MECÂNICAS E CONFIGURAÇÕES

Sérgio Renan Lopes Tinô
Manoel Ivany de Queiroz Júnior
Vinicius Carvalhaes
Thamise Sampaio Vasconcelos Vilela
Ana Cláudia Juliano Carvalho
Lucas Teles Oliveira
Paula Micaelly Ferreira Bueno


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0392209064>

CAPÍTULO 5..... 65

ESTUDO COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES DE ADESIVOS À BASE DE RESINA

EPÓXI


Silvana de Abreu Martins
Alan Sala Bourguignon
Carlos Alberto Moreira da Silva Netto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0392209065>

CAPÍTULO 6..... 78

A MINERAÇÃO E O USO DOS MINERAIS EM ELEMENTOS DO COTIDIANO: AS CASAS


Rafaela Baldí Fernandes
Ian Henrique Pires

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0392209066>

CAPÍTULO 7..... 86

A MINERAÇÃO E O USO DOS MINERAIS EM ELEMENTOS DO COTIDIANO: COSMÉTICOS


Rafaela Baldí Fernandes
Caroline das Dôres Zeferino

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0392209067>

CAPÍTULO 8..... 95

A MINERAÇÃO E O USO DOS MINERAIS EM ELEMENTOS DO COTIDIANO: O LÁPIS


Rafaela Baldí Fernandes
Débora Pimentel de Carvalho Costa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0392209068>

CAPÍTULO 9..... 106

ESTUDO DE CONTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE *Guatteria schomburgkiana* DA AMAZÔNIA PARA USO NO SETOR INDUSTRIAL DE BASE FLORESTAL


Jício Saraiva Pinho
Syme Regina Souza Queiroz
Vera Lúcia Dias da Silva
Nilton Cesar Almeida Queiroz

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0392209069>

CAPÍTULO 10..... 115

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS – ESTUDO DE CASO - SANTO ÂNGELO - RS

João da Jornada Fortes Neto
Mariana da Silva Ferreira Fortes
Eliara Marin Piazza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.03922090610>

SOBRE O ORGANIZADOR..... 132

ÍNDICE REMISSIVO..... 133

ESTUDO COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES DE ADESIVOS À BASE DE RESINA EPÓXI

Data de aceite: 01/06/2022

Data de submissão: 07/05/2022

Silvana de Abreu Martins

Universidade Estadual do Rio de Janeiro/
UERJ, Faculdade de Ciências Exatas e
Engenharias
Rio de Janeiro – RJ
<http://lattes.cnpq.br/2763044952669720>

Alan Sala Bourguignon

Marinha do Brasil, Centro de Mísseis e Armas
Submarinas da Marinha
Rio de Janeiro – RJ
<http://lattes.cnpq.br/2347119485522807>

Carlos Alberto Moreira da Silva Netto

Centro Universitário Estadual da Zona Oeste/
UEZO
Rio de Janeiro

RESUMO: Nas últimas décadas, os materiais adesivos têm sido amplamente utilizados em várias áreas da engenharia, principalmente na indústria automobilística, construção de estruturas na indústria civil, aeroespacial e outras, substituindo outros métodos convencionais utilizados na união de metais e de outras classes de materiais. Em geral, estas estruturas coladas são fabricadas unindo-se os metais com adesivos poliméricos. Assim sendo, existe uma necessidade de melhorar o conhecimento sobre o comportamento destes adesivos, em particular, as propriedades mecânicas e de adesão. Este trabalho tem por

objetivo apresentar um estudo comparativo de algumas das propriedades mecânicas de materiais adesivos a base de resina epóxi. Para isto, desenvolveu-se um estudo comparativo que se mostrou bastante adequado, evidenciando as diferenças e similaridades no comportamento dos materiais. Nesta metodologia analisa-se o desempenho de placas metálicas coladas com estes adesivos, assim como as propriedades mecânicas do adesivo propriamente dito. Foram estudados três tipos de adesivos, onde placas de metal foram coladas e testadas em ensaios de resistência ao cisalhamento, assim como os adesivos foram testados em ensaio de tração. Os resultados mostraram que, mesmo que estes três adesivos apresentem diferenças entre os tempos de cura, método de utilização, aplicação, todos apresentaram comportamento semelhante até aproximadamente 3,0 kN de aplicação da carga na resistência ao cisalhamento, no teste de adesão. Além de que ficou confirmado que dentre os adesivos, o que possui uma carga cerâmica, em sua composição, possui maior resistência mecânica e eficiência na adesão.

PALAVRAS-CHAVE: Adesivos, Epóxi, Juntas coladas, propriedades adesivas.

ABSTRACT: Epoxy adhesive has been widely used in many engineering areas, mainly in automobile industries, building construction and aerospace structures, replacing welds and other conventional joint methods in metals. In general, these structures are manufactured by joining metals with polymeric adhesives. Therefore, there is a need to improve the knowledge about the behavior of these kinds of materials,

especialmente, as propriedades mecânicas e adesivas. Nesta investigação foram estudados três adesivos à base de resina epóxi, e os resultados foram comparados usando uma metodologia desenvolvida que foi bastante adequada. Placas metálicas coladas foram testadas em ensaios de resistência à tração e os adesivos também foram testados em ensaios de tração, bem como em ensaios de fluência, relaxação e temperatura de transição vítrea T_g em DMA (Análise Mecânica Dinâmica). Os resultados mostraram que, mesmo se esses três adesivos apresentarem diferenças entre os tempos de cura ou a resistência final à tração, todos apresentaram comportamento mecânico semelhante até quase 3,0 kN de aplicação de carga em tração, assim como pouca susceptibilidade à fluência à temperatura ambiente apesar de algumas diferenças em suas composições, métodos de aplicação e modo de uso. No entanto, foi confirmado que, entre os adesivos, aquele que possui carga cerâmica em sua composição, apresenta melhor resistência mecânica, eficiência na adesão, assim como maior rigidez.

KEYWORDS: Adhesives, Adhesive properties, bonded joints, epoxy resin.

1 | INTRODUÇÃO

A crescente necessidade de desenvolvimento de novas tecnologias na área de materiais se deve, principalmente, à necessidade de melhoria da relação custo/benefício, além da grande concorrência entre os diversos materiais em um mercado cada vez mais exigente e competitivo. Os materiais adesivos são um exemplo, em especial, adesivos que venham substituir com eficiência outros processos de união de metais, como a solda, parafusos e rebites. Fazendo surgir o interesse em conhecer e melhorar o desempenho de outras metodologias de união de materiais.

Este trabalho tem o objetivo de apresentar um estudo do comportamento na adesão de materiais adesivos à base de resina epóxi em metal. A utilização de adesivos em ligações estruturais tem conhecido ao longo do tempo uma evolução significativa. As juntas coladas são cada vez mais utilizadas em estruturas na indústria automobilística e aeroespacial, essas estruturas são fabricadas pela união de metais através de um adesivo, geralmente de origem polimérica.

Estas uniões por juntas coladas apresentam vantagens significativas, tais como: relação resistência-peso, resistência à fadiga, melhor acabamento, maior absorção de impacto e vibrações, melhor distribuição de tensões na região da colagem, relação custo-benefício, ótima adesão a metais e outros substratos, possibilidade de cura rápida ou lenta numa grande faixa de temperatura, ausência de água ou de outros produtos voláteis durante a reação de cura. Todavia, existem limitações tais como: resistência da junta depende diretamente da preparação da superfície de aplicação, resistência limitada em altas temperaturas, não são desmontáveis, são susceptíveis à degradação ambiental, durabilidade em condições extremas de serviço em longo prazo.

Neste trabalho foi realizado um estudo comparativo entre adesivos comerciais à base de resina epóxi, onde foi analisado o comportamento na adesão de metais. O conjunto metal-adesivo foi avaliado através do ensaio de tração na configuração "Single lap joint".

Esta configuração de junta colada é a mais simples e a mais estudada na literatura (De Barros *et al.* 2016, Icahr-Aman *et al.* 2007, Da Silva *et al.* 2019, De Souza 2012, Sampaio *et al.* 2016, Trindade *et al.* 2015, Banea *et al.* 2016). Esta configuração de junta colada é a mais simples, este ensaio permite, não só a determinação da força cisalhamento de um adesivo, quando ligado ao metal, mas também o seu modo de falha.

Os adesivos são muito utilizados na colagem metal-metal, devido à sua alta resistência mecânica e fácil aplicação (Quaresimim e Ricotta, 2006). São estes que se apresentam com maior diversidade de aplicações, sendo utilizados na indústria mecânica para unir quase todos os materiais.

2 | MÉTODOS EXPERIMENTAIS

Nesta pesquisa foram estudados três adesivos comerciais, um adesivo de cura rápida (ER), um adesivo de cura lenta com no mínimo 24 horas de cura (EL) e um adesivo específico para chumbadores (EC). Estes adesivos são todos à base de resina epóxi e serão denominados conforme tabela 1. Esta tabela apresenta as principais características destes adesivos. Estas características foram obtidas com os fornecedores.

Adesivo	Características
Resina epóxi de cura rápida (ER)	Tempo de trabalho 5 a 10 minutos
	Temperatura de trabalho: 25°C
	Textura: Líquido viscoso
	Razão de mistura volumétrica: 1:1
	Base polimérica: Epóxi
	Coloração após mistura: Laranja
Resina epóxi cura lenta (EL)	Tempo de trabalho: 20 a 30 minutos
	Temperatura de trabalho: 25°C
	Textura: Líquido viscoso
	Razão de mistura volumétrica: 5:1
	Base polimérica: Epóxi
	Coloração após mistura: Branco
Resina epóxi chumbador (EC)	Temperatura de trabalho: 25°C
	Textura: Massa espatulável
	Razão de mistura volumétrica: 4:1
	Base polimérica: Epóxi
	Coloração após mistura: Cinza
	Carga: Cimento

*Todos estes adesivos são comerciais.

Tabela 1 – Principais Características Dos Adesivos Estudados Neste Trabalho.

Os adesivos (ER) e (EC) são de uso imediato, sem necessidade de preparo antes da aplicação. Já o adesivo de cura lenta (EL) consiste em um éter diglicidílico de bisfenol A, no qual endurecedor amina alifática foi adicionado para iniciar o processo de polimerização. Este catalizador foi adicionado na proporção de 20%, conforme especificação do fabricante. Após a adição do catalizador e da sua homogeneização. No adesivo de cura rápida (ER), a cura inicial ocorre em até 30 minutos e a cura total em 24 horas, no adesivo de cura lenta (EL), a cura inicial ocorre em até 24 horas e a cura total em até uma semana, já a resina chumbador (EC), a cura inicial ocorre em até 50 minutos e a cura total em 24 horas.

2.1 Ensaio de cisalhamento (Lap- shear Joint)

Foram realizados ensaios de tração das juntas de cisalhamento simples (ASTM 1002 D, 2010) em uma máquina de ensaios universal Instron 5966, com célula de carga com capacidade de 10 kN, no laboratório de adesão do CEFET/RJ (Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, Brasil).

Para o preparo das amostras, foram realizados os cortes, em chapas de aço de 1/16" (1,5875 mm), conforme a norma ASTM 1002 D (2010) [10], (figura 1) e jateadas com microesferas de vidro AG (53-105 microns) à uma pressão de 9 bar, em uma máquina de jateamento modelo BBV7570/8 da fabricante Blastibrás. A colagem também foi executada de acordo com as medidas do corpo de prova padrão pela norma ASTM 1002 D (2010). As figuras 1 e 2 mostram as chapas de aço cortadas e uma amostra da junta colada sendo ensaiada, respectivamente.

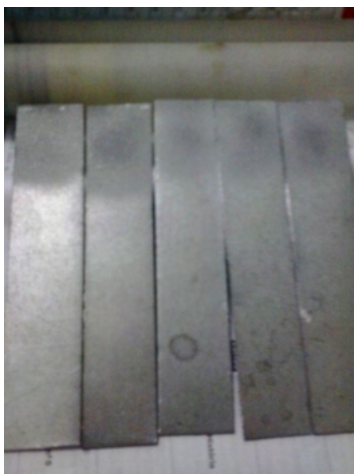


Figura 1 – Corpos de prova conforme ASTM D 1002 (2010).



Figura 2 – Ensaio de tração das juntas de cisalhamento simples.

2.2 Ensaio de Tração

O ensaio de tração foi realizado conforme norma ASTM D638 (2002)[11]. Os corpos de prova foram confeccionados com as dimensões sugeridas do tipo V dessa norma ASTM D 638.

Os moldes, para o preparo dos corpos de prova, foram confeccionados com borracha de silicone e foram preenchidos com os três tipos de adesivos, confeccionando-se uma média de seis a dez corpos de prova de cada adesivo. Na figura 3 é mostrado um molde, de borracha de silicone.

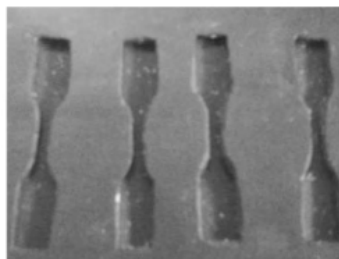


Figura 3: Molde de borracha de silicone para confecção dos corpos de prova ASTM D 638 (2002).

3 | RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A seguir são apresentados os resultados experimentais obtidos nos testes de

adesão, Lap- shear Joint, e nos ensaios de tração.

3.1 Ensaio de Cisalhamento (*Lap-Shear Joint*)

Os resultados dos ensaios de adesão, lap-shear, serão apresentados no diagrama força versus deslocamento, já que as amostras possuíam praticamente as mesmas dimensões na sessão transversal e o interesse aqui é prioritariamente fazer uma comparação entre os materiais os três materiais estudados.

Nas figuras 4, 5 e 6 são apresentados os resultados dos ensaios com os adesivos chumbador (EC), de cura rápida (ER) e de cura lenta (EL) respectivamente e o gráfico comparativo entre os três gráficos, na figura 7.

Na figura 4, observa-se o gráfico que mostra força versus deslocamento, nota-se que a ruptura ocorreu com o nível de força em torno de $7,76 \pm 0,30$ kN. Esta curva é construída com a média dos resultados obtidos nos cinco ensaios com o adesivo chumbador.

Na figura 5, observa-se relação entre a força versus deslocamento do adesivo de cura rápida. Verifica-se que a ruptura ocorreu em torno $3,87 \pm 0,10$ kN de força aplicada.

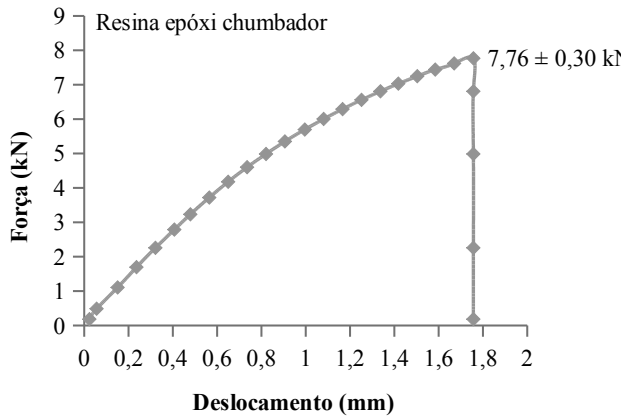


Figura 4: Gráfico do ensaio de lap-shear da resina epóxi chumbador.

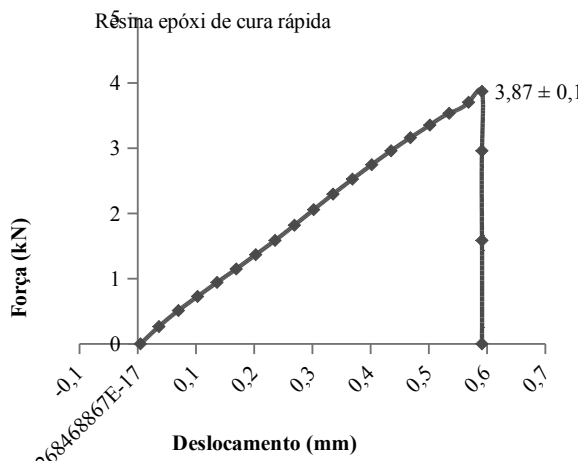


Figura 5: Gráfico do Ensaio de lap-shear da resina epóxi de cura rápida.

Finalmente, na figura 6, é apresentado o gráfico do ensaio do adesivo de cura lenta, pode-se constatar que a ruptura ocorreu em torno de $2,51 \pm 0,21$ kN, como mencionado anteriormente, este resultado é a média dos ensaios realizados em cinco corpos de prova. Observa-se também, que desvio padrão foi um pouco maior que os resultados dos demais adesivos o que pode ser devido à maior fluidez deste adesivo, além do fato deste não ser de pronta aplicação, sendo necessário o preparo do mesmo antes da aplicação, o que pode ter provocado alguma heterogeneidade nas juntas coladas.

Na figura 7, estão os gráficos dos três adesivos, podemos observar, comparativamente, que o adesivo de cura lenta apresentou a ruptura no ensaio, em um nível de carga menor que os demais adesivos, seguida do adesivo de cura rápida e depois o adesivo chumbador, este último apresentando maior resistência na adesão.

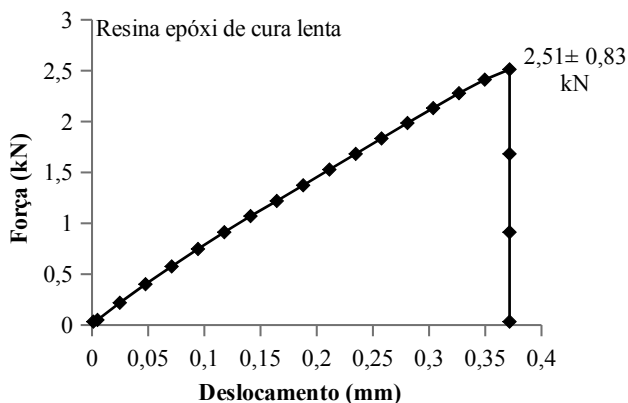


Figura 6: Gráfico do Ensaio de lap-shear da resina epóxi de cura lenta.

O adesivo chumbador teve um desempenho extremamente superior aos demais, o que já poderia ser previsto devido à sua aplicação ter uma maior exigência em termos de adesão em relação aos demais adesivos utilizados comercialmente. Interessante observar que todos apresentaram a mesma inclinação da curvatura no gráfico, ou seja, o mesmo comportamento da força em relação ao deslocamento, o que é bastante coerente já que todos os adesivos são à base de resina epóxi.

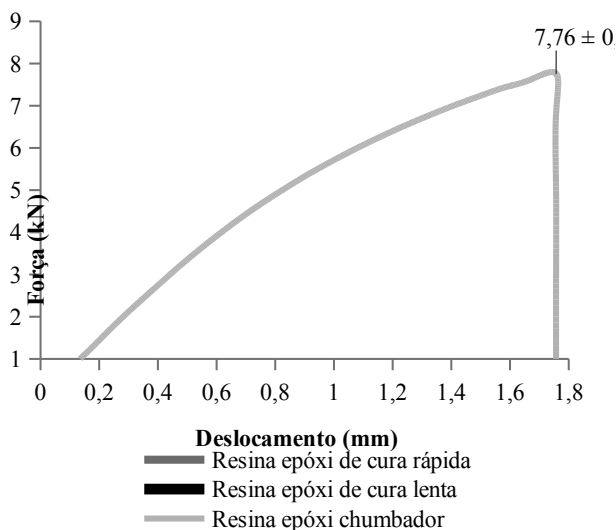


Figura 7: Comparação entre os ensaios de lap-shear com os três adesivos à base de resina epóxi.

Como observamos, nestes gráficos, o adesivo chumbador (EC) apresentou um desempenho consideravelmente superior em termos de resistência na adesão. Pode-se observar também que os três adesivos apresentam um comportamento bastante similar até aproximadamente 3000N. Além disso, em termos de adesão, verifica-se que o ER possui maior resistência que o EL.

3.2 Ensaio de Tração dos Adesivos

Os ensaios de tração do adesivo também foram realizados no laboratório de e teste de adesão do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ), em uma máquina de ensaios universal Instron 5966, com célula de carga com capacidade de 10 kN, partindo das orientações propostas pela norma ASTM 638D, os ensaios foram realizados com velocidade de tração 1,0 mm/min com 5 corpos de prova de cada tipo de resina epóxi.

A figura 8 mostra o corpo de prova fixado à garra para início do ensaio e a Figura 9 a curva tensão x deformação do adesivo chumbador (EC).



Figura 1: Ensaio de tração do adesivo (ASTM 638D, 2002).

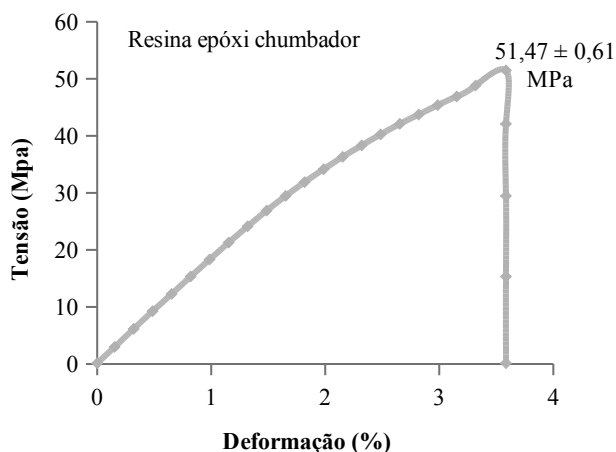


Figura 9: Gráfico tensão x deformação do ensaio de tração do adesivo epóxi chumbador.

Nota-se que ocorreu um desvio padrão muito pequeno da média dos resultados obtidos dos corpos de prova ensaiados, isto indica que possuem comportamentos semelhantes no lote a qual pertencem e indicam um bom nível de confiabilidade dos resultados. O módulo de elasticidade foi calculado utilizando com referência o intervalo de deformação entre 0,0 e 0,2%, traçando-se uma linha tangente a esta região correspondente à região elástica do material. Obteve-se para o adesivo epóxi chumbador o módulo de elasticidade igual a $1,93 \pm 0,01$ GPa. Na figura 10 observa-se o gráfico de ensaio de tração do adesivo epóxi de cura lenta, com as respectivas barras de erros. O módulo de elasticidade foi calculado utilizando com referência o intervalo de deformação entre 0,0 e 0,2%, onde se encontra uma região linear, onde foi traçada uma tangente para a obtenção da região elástica linear obtendo-se o módulo de elasticidade igual a $1,44 \pm 0,11$ GPa. Este procedimento para a obtenção do módulo de elasticidade foi utilizado no cálculo do módulo dos três adesivos.

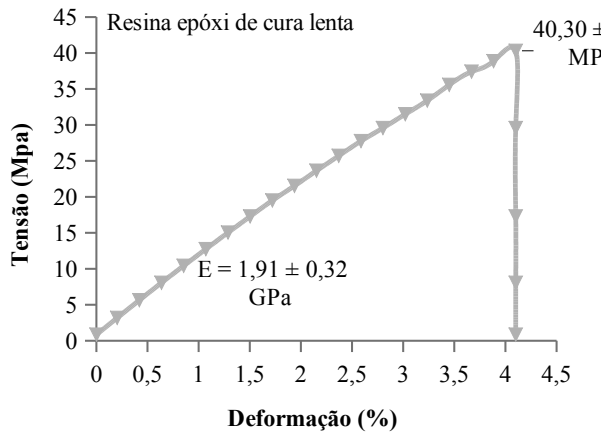


Figura 102: Gráfico do ensaio de tração do adesivo epóxi de cura lenta.

A figura 11 apresenta o gráfico obtido do ensaio de tração com o adesivo epóxi de cura rápida (ER), onde ocorreu um desvio padrão maior em relação aos outros adesivos, da média dos de prova ensaiados, o que indica um comportamento um pouco mais heterogêneo no lote a qual pertencem. Isto pode ter ocorrido devido à natureza do adesivo que tem um pot-life bem pequeno, o que dificultou o vazamento do adesivo nos moldes para o preparo dos corpos de prova.

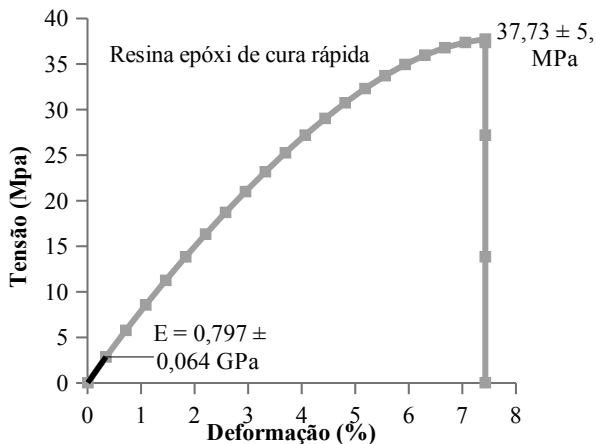


Figura 3: Gráfico do ensaio de tração do adesivo epóxi de cura rápida.

O módulo de elasticidade foi calculado utilizando com referência o intervalo de deformação entre 0,0 e 0,2%, da mesma forma que os demais traçando uma tangente na

região inicial linear do gráfico, correspondente à região elástica do material. Obteve-se para o adesivo epóxi de cura rápida o módulo de elasticidade igual a $1,10 \pm 0,08$ GPa, conforme o apresentado na figura 11.

O gráfico da figura 12 mostra uma comparação entre os resultados dos ensaios de tração dos três adesivos e a diferença no comportamento mecânico destes materiais, observa-se que a resina epóxi chumbador (EC) e a resina epóxi de cura lenta (EL) possuem maior rigidez e resistência à tração que a resina de cura rápida (ER) que por sua vez demonstra possuir maior ductilidade.

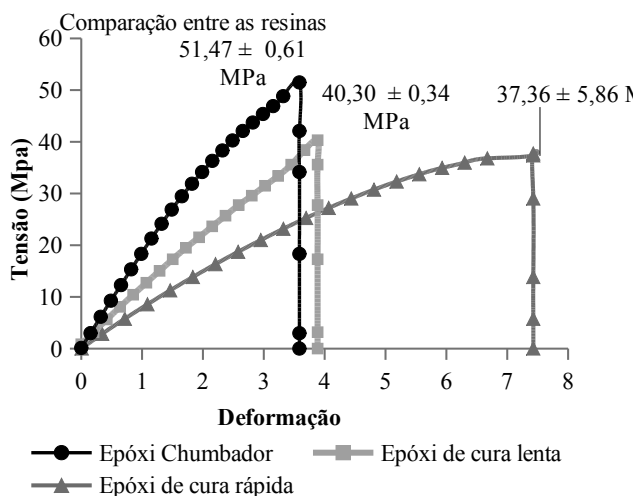


Figura12: Comparação entre as resinas epóxi (ensaio de tração).

A tabela 2 mostra os resultados nos ensaios de tração destes três adesivos. O Módulo de elasticidade, o Limite de resistência e o Alongamento.

Adesivos	Módulo de elasticidade (GPa)	Limite de resistência (MPa)	Alongamento (%)
EC	$1,93 \pm 0,01$	$51,47 \pm 0,61$	$3,58 \pm 0,13$
EL	$1,44 \pm 0,11$	$40,30 \pm 0,34$	$4,10 \pm 0,15$
ER	$1,10 \pm 0,08$	$37,73 \pm 5,86$	$7,42 \pm 0,72$

Tabela 2: Parâmetros obtidos nos ensaios de tração.

Já na tabela 3 pode-se observar um resumo geral com os resultados obtidos nos ensaios realizados neste trabalho, teste de adesão ("lap-shear") e ensaio de tração. Onde podemos fazer uma análise final de todos os resultados obtidos nos testes realizados

nestes três adesivos e comparar o comportamento em dois tipos diferentes de solicitação a que os materiais foram submetidos. Assim facilitando chegar às principais conclusões.

Testes	Adesivo chumbador	Adesivo de cura lenta	Adesivo de cura rápida
Teste de adesão Limite de resistência MPa	7,76 ± 0,30	2,51 ± 0,41	3,87 ± 0,10
Ensaio de tração Módulo de elasticidade GPa	1,93 ± 0,01	1,44 ± 0,11	1,10 ± 0,08
Ensaio de tração Limite de resistência MPa	51,47 ± 0,61	40,30 ± 0,34	37,73 ± 5,86
Ensaio de tração Alongamento %	3,58 ± 0,13	4,10 ± 0,15	7,42 ± 0,72

Tabela 3: Resumo com os resultados obtidos nos ensaios.

4 | CONCLUSÕES

A metodologia utilizada neste estudo possibilitou fazer uma comparação entre o comportamento de três adesivos à base de resina epoxilica, em relação à sua resistência na adesão e resistência à tração. Pode-se concluir que o EC (adesivo chumbador), que possui em sua composição carga cerâmica, apresentou melhor desempenho, em relação aos outros dois adesivos, em termos de resistência na adesão, em termos de limite de resistência e módulo de elasticidade, do adesivo propriamente dito, o resultado também foi superior. Interessante observar que apesar do adesivo EC possuir maior resistência na adesão no teste “lap-shear”, os três adesivos apresentaram o mesmo comportamento até aproximadamente a carga 3,0 KN. Sendo que ER demonstrou possuir maior resistência na adesão que o EL, chegando ao limite de resistência de aproximadamente 3,9 kN. Apesar do ER apresentar também maior ductilidade e menor limite de resistência no ensaio de tração do adesivo propriamente dito. O que nos permite constatar que, o fato do adesivo possuir melhores propriedades mecânicas na tração, não significa que terá melhores propriedades de adesão, pois esta propriedade é influenciada, principalmente, por fatores relacionados à interface adesivo/substrato, além de outros fatores influentes ligados à capacidade de adesão.

AGRADECIMENTOS

Os autores desse trabalho agradecem aos professores da COPPE/UFRJ Lavinia Borges e Daniel Castello, aos estudantes de Pós-graduação Luana Orlandini e William Hernandez LAVI/COPPE/UFRJ e em especial ao professor Silvio Romero de Barros – CEFET/RJ, pela cooperação.

REFERÊNCIAS

Altidis, J.D., Lima, S.J.G., Domes, R.M., Sampaio, E.M., Torres, S.M., Barros, S. D. (2012). "Adhesion Test Using Epoxy Quasicrystal Composites"- Journal of Adhesion Science and Technology 26 1443-1451.

Astm. 638 D, 2002. American Society For Testing And Material Standards. Standard Test Method For Tensile Properties Of Plastics. Eua: Astm,.

Astm. Standard 1002 D, "Standard Test Method For Apparent Shear Strength Of Single-Lap-Joints Adhesively Bonded Metal Specimens By Tension Load (Metal-To-Metal)". Astm, 2010.

Banea, M. D. ; Da Silva, Lfm ; Carbas, R. J. C.; De Barros, S. 2016. "Debonding On Command of multi-material adhesive joints". The Journal of Adhesion, v. 13, p. 1,

Da Silva, L.F.M; Carbas R.J.C.; Critchlowb, G.W.; Figueiredo, M.A.V.; Brown, K, (2009). "Effect of material, geometry, surface treatment and environment on the shear strength of single lap joints", International Journal of Adhesion & Adhesives 29 pp 621-632

De Barros, S.; Freitas, S. T. ; Banea, M. D. ; Budhe, S. ; "Arouche, M. M. ; Santos, B. L. 2016. Adhesion Quality Of Steel-Cfrp Interface Bonding". In: 3rd Brazilian Conference On Composite Materials (Bccm-3), , Gramado. Brasil.

De Souza, J. P. B. 2012 "Análise Térmica De Polímero Dgeba e Sua Relação Na Resistência De Juntas Coladas", Dissertação De Mestrado: Uff. RJ, Brasil.

Icahr-Aman, R.; Sunar, M. ; YILBAS, B., (2007). "Influence of adhesive thickness and filler content on the mechanical performance of aluminum single-lap joints bonded with aluminum powder filled epoxy adhesive" Journal of Material Processing Technology

Quaresimim M, Ricotta M. 2006. "Fatigue Behaviour And Damage Evolution of single lap bonded joints in composite material". Compos Sci Technol,

Sampaio, E.M.; Garcia, F. G.; Limaverde, A. M; Silva, A.H.M.F.T.; Perrut, V.A.; 2006 "Aderência De Juntas De Cisalhamento Coladas Com Adesivos Epoxídicos De Baixa E Alta Viscosidade". Cbecimat. Brasil.

Trindade, M. P. ; Silva, A. N. ; De Barros, Silvio ; Veloso, A. C. R. ; Altidis, J. D. 2015. "Determination Of Shear Strength Of Single-Lap Joints For Different Thicknesses Of The Bonded Layer". In: Xiv B-Mrs Meeting, 2015,. Xiv Encontro Da Sbpmat. V. 1 Rio De Janeiro, Brasil.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adesivos 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77

Amazônia 106, 107, 113

Análise de imagens 1, 11, 12, 14, 16

Argamassa 115, 116, 117, 119, 120, 129, 130, 131

C

Compósitos poliméricos 50, 52, 56, 57, 63, 64, 110, 112, 113

D

Desfosforação de ferro-gusa 1, 17

Dessulfuração 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31

E

Epóxi 59, 65, 66, 67, 70, 71, 72, 73, 74, 75

F

Fator de dessulfuração 18, 20, 21, 24, 29, 30, 31

Fibras 34, 35, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 44, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 61, 62, 63, 64, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114

Fluxantes 19

Fotocatálise 32, 37, 44, 46

Fotocromismo 32

Fratura 50, 54, 56, 62, 63

G

Guatteria schomburgkiana 106, 107, 112

H

Hibridização 50

J

Juntas coladas 65, 66, 71, 77

M

Madeira 95, 96, 97, 100, 101, 102, 106, 107, 108, 110, 112

Manifestações patológicas 115, 116, 117, 118, 120, 122, 128, 129, 130

P

Propriedades adesivas 65

Propriedades mecânicas 19, 50, 51, 52, 54, 55, 57, 58, 59, 62, 63, 64, 65, 76, 113

R

Revestimentos 115, 116, 117, 119, 120, 126, 127, 129, 130, 131, 132

S

Spin-coating 32, 33, 35, 36

T

Termodinâmica computacional 1, 3, 6, 8, 9, 14, 17, 18, 20, 21, 31

Trióxido de tungstênio 32

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

@atenaeditora 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 



Engenharia & ciência dos materiais

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

@atenaeditora 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 



Engenharia & ciência dos materiais