

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE MATERIAIS E METALÚRGICA 2



HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
(ORGANIZADOR)

Atena
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE MATERIAIS E METALÚRGICA 2



HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
(ORGANIZADOR)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 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 Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

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 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
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: Maria Alice Pinheiro
Correção: Flávia Roberta Barão
Indexação: Gabriel Motomu Teshima
Revisão: Os autores
Organizador: Henrique Ajuz Holzmann

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia de materiais e metalúrgica 2 / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-551-5

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.515210610>

1. Engenharia de Materiais. 2. Metalúrgica. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Título. CDD 669

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, principalmente quando se diz a indústria 4.0, devido a necessidade de desenvolvimento de novos materiais, que apresentem melhores características e propriedades físico-químicas. Para obtenção desses novos materiais, muitos processos precisaram de alterações e de novos métodos, exigindo um desprendimento de força elevado nesta área. 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 a todos.

Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

STRESS-CRACKING: UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO DOS ÚLTIMOS 21 ANOS DE PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS

Vinícius Pereira Bacurau
Ana Larissa Soares Cruz
Nicolas Moreira de Carvalho Gomes
Ermeson David dos Santos Silva
Thalia Delmondes de Souza
Leonardo Alves Pinto
Edvânia Trajano Teófilo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5152106101>

CAPÍTULO 2..... 18

ESTUDO DA INFLUENCIA DA ADIÇÃO DO WC NANOESTRUTURADO NAS PROPRIEDADES DO AÇO MA957

Kívia Fabiana Galvão de Araújo
Maria José Santos Lima
Fernando Erick Santos da Silva
Cléber da Silva Lourenço
Uilame Umbelino Gomes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5152106102>

CAPÍTULO 3..... 30

CARACTERIZAÇÃO DA TRANSFORMAÇÃO MARTENSÍTICA EM AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS E DEFORMADOS POR DIFERENTES PROCESSOS DA ÁREA NUCLEAR

Jamil Martins Guimarães Júnior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5152106103>

CAPÍTULO 4..... 38

TRÊS MÉTODOS PARA MELHORAR AS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE LIGAS DE ALUMÍNIO

Juan José Arenas Romero
Jesús García Lira
Martín Castillo Sánchez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5152106104>

CAPÍTULO 5..... 45

IMPACT OF ZINC CONCENTRATION AND pH IN THE ELECTROPLATING PROCESS IN AN ACID SULFATE-BASED SOLUTION

Gabriel Abelha Carrijo Gonçalves
Pedro Manoel Silveira Campos
Tácia Costa Veloso
Vera Rosa Capelossi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5152106105>

CAPÍTULO 6	56
INSPEÇÃO ATRAVÉS DO ENSAIO VISUAL	
Marta Alves Marques	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.5152106106	
CAPÍTULO 7	78
RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS NO BRASIL: UMA ABORDAGEM SOBRE ARTIGOS CIENTÍFICOS E POLÍTICAS NACIONAIS NO ÚLTIMO QUINQUÊNIO	
Mariana Cordeiro Magalhães	
Fernanda Nadier Cavalcanti Reis	
Peolla Paula Stein	
Tatiane Benvenuti	
Tácia Costa Veloso	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.5152106107	
CAPÍTULO 8	84
PRODUÇÃO DE JANELAS INTELIGENTES BASEADAS EM POLÍMEROS NATURAIS	
Márcio Roberto da Silva Oliveira	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.5152106108	
CAPÍTULO 9	94
BENEFÍCIOS NA UTILIZAÇÃO DE TUBOS DE PAPELÃO ESTRUTURAL COMO SISTEMA CONSTRUTIVO	
Gabriela Santos Pereira Lopes de Barros	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.5152106109	
CAPÍTULO 10	106
ADIÇÃO DE BORRACHA DE PNEUS ORIUNDA DE CAPEAMENTO NO CONCRETO ESTRUTURAL – UMA AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS	
Myrelle Pinheiro e Silva	
Maria Letícia Ferreira da Silva	
Daniele Gomes Carvalho	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.51521061010	
CAPÍTULO 11	132
AVALIAÇÃO DA BORRACHA NATURAL EPOXIDADA COMO UM POSSÍVEL MATERIAL AUTORREPARÁVEL	
Duane da Silva Moraes	
Helena Mesquita Biz	
Tatiana Louise Avila de Campos Rocha	
Cristiane Krause Santin	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.51521061011	

CAPÍTULO 12..... 149

LAJOTAS DE PISO TÁTIL PREPARADAS COM ADIÇÃO DE *FLAKES* DE POLIESTIRENO RECICLADO COMO AGREGADO MIÚDO EM ARGAMASSA

Debora Scopel
Mateus Vosgnach
Vinicio Ceconello
Ana Maria Coulon Grisa
Edson L. Francischetti
Mara Zeni Andrade

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.51521061012>

CAPÍTULO 13..... 159

ADSORCION DE XANTATO ISOPROPILICO DE SODIO EN LA GALENA

Claudia Veronica Reyes Guzman
Leonor Muñoz Ramírez
Sergio García Villarreal
Gloria Guadalupe Treviño Vera
Aglae Davalos Sánchez
Gema Trinidad Ramos Escobedo
Manuel García Yregoi
Evelyn Rodríguez Reyna
Samuel Chacón de la Rosa
Luis Rey García Canales

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.51521061013>

CAPÍTULO 14..... 170

ADSORCION DE CIANURO EN CARBON ACTIVADO DE CASCARA DE TAMARINDO

Claudia Veronica Reyes Guzmán
Leonor Muñoz Ramírez
Sergio García Villarreal
Gloria Guadalupe Treviño Vera
Aglae Davalos Sánchez
Gema Trinidad Ramos Escobedo
María Gloria Rosales Sosa
Evelyn Rodríguez Reyna
Samuel Chacón de la Rosa
Luis Enrique Barajas Castillo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.51521061014>

CAPÍTULO 15..... 180

DESENVOLVIMENTO DE MEMBRANAS DE QUITOSANA/GELATINA/FÁRMACO PARA REGENERAÇÃO DA SUPERFÍCIE OCULAR

Amanda Eliza Goulart Gadelha
Wladýmjr Jéfferson Bacalhau Sousa
Albaniza Alves Tavares
Rossembérg Cardoso Barbosa
Maria Dennise Medeiros Macêdo

Thiago Cajú Pedrosa
Ana Caroline Santana de Azevedo
Fernando Melo Gadelha
Kleilton Oliveira Santos
Marcus Vinícius Lia Fook

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.51521061015>

CAPÍTULO 16..... 194

META-ARAMIDAS: DE UMA PERSPECTIVA DE PROTEÇÃO PESSOAL A UMA PERSPECTIVA AMBIENTAL

Natália de Oliveira Fonseca
Íris Oliveira da Silva
Francisco Claudivan da Silva
Késia Karina de Oliveira Souto Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.51521061016>

CAPÍTULO 17..... 205

USINAS TERMELÉTRICAS E A SIDERURGIA

Késsia de Almeida Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.51521061017>

SOBRE O ORGANIZADOR..... 209

ÍNDICE REMISSIVO..... 210

CAPÍTULO 11

AVALIAÇÃO DA BORRACHA NATURAL EPOXIDADA COMO UM POSSÍVEL MATERIAL AUTORREPARÁVEL

Data de aceite: 01/10/2021

Data de submissão: 06/08/2021

Duane da Silva Moraes

Universidade do Vale do Rio dos Sinos –
Unisinos
São Leopoldo – RS
<http://lattes.cnpq.br/8535434625876752>

Helena Mesquita Biz

Universidade do Vale do Rio dos Sinos –
Unisinos
São Leopoldo – RS
<http://lattes.cnpq.br/4704815684618680>

Tatiana Louise Avila de Campos Rocha

Universidade do Vale do Rio dos Sinos –
Unisinos
São Leopoldo – RS
<http://lattes.cnpq.br/9378565098589680>

Cristiane Krause Santin

Universidade do Vale do Rio dos Sinos –
Unisinos
São Leopoldo – RS
<http://lattes.cnpq.br/8668574495269159>

RESUMO: O termo “*self-healing*” pode ser definido como a capacidade de um material em reparar danos automaticamente, associados à sua estrutura química e interações. Nesse contexto, a estrutura da Borracha Natural Epoxidada, que contém grupos epóxi extremamente reativos, os quais promovem interações por ligações de hidrogênio, torna esse polímero um possível

material autorreparável. Neste trabalho, uma amostra de ENR contendo 50% molar de grupos epóxi (ENR50) foi caracterizada pelas análises de ATR-FTIR e TGA. O processo de reticulação da ENR50 com Peróxido de Dicumila, Trialilcianurato e Óxido de Zinco foi estudado. As amostras foram caracterizadas em termos de sua densidade de reticulação, expansão em solvente e massa molar média das cadeias reticuladas por meio do Teste de Inchamento em Tolueno. O comportamento da autorreparação foi avaliado qualitativamente e classificado por indicadores de nível criados neste trabalho. Observou-se o potencial da ENR50 como um material autorreparável, porém, fatores como o agente de reticulação, porcentagem e condições do processo de reticulação devem ser monitorados e pré-estabelecidos.

PALAVRAS - CHAVE: DCP. ENR50. Reticulação com peróxido. Autorreparação.

EVALUATION OF EPOXIDIZED NATURAL RUBBER AS A POSSIBLE SELF-HEALING MATERIAL

ABSTRACT: The term “self-healing” can be defined as the ability of a material to automatically repair damage associated with its chemical structure and interactions. In this context, the structure of Epoxidized Natural Rubber, which contains extremely reactive epoxy groups, which promote interactions by hydrogen bonds, makes this polymer a possible self-repairable material. In this work, an ENR sample containing 50% molar epoxy groups (ENR50) was characterized by ATR-FTIR and TGA analyses. The crosslinking process of ENR50 with Dicumyl Peroxide,

Triallylcyanurate and Zinc Oxide was studied. The samples were characterized in terms of their crosslinking density, solvent expansion and average molar mass of the crosslinked chains using the Toluene Swelling Test. The self-repair behavior was qualitatively evaluated and classified by level indicators created in this work. The potential of ENR50 as a self-repairing material was observed, however, factors such as the crosslinking agent, percentage and conditions of the crosslinking process must be monitored and pre-established.

KEYWORDS: DCP. ENR50. Peroxide crosslinking. Self-healing.

1 | INTRODUÇÃO

Inspirado na capacidade de autorreparação dos sistemas biológicos, o desenvolvimento de materiais com essa mesma capacidade tem sido objeto de estudo de diversas pesquisas científicas. Na natureza, o mecanismo de autorreparação pode ocorrer em moléculas simples, como por exemplo, o reparo do DNA, bem como em nível microscópico, como a fusão de ossos quebrados e a cura de lesões em vasos sanguíneos (HAGER *et al.*, 2010).

Os materiais de autorreparação incluem um grupo grande e em desenvolvimento de materiais capazes de reparar sua estrutura química e propriedades mecânicas de forma autônoma ou com estímulo externo. Esses materiais são classificados em dois grupos principais: não autônomos, que requerem intervenções externas, como calor ou luz, para ativar sua característica de autorreparação, e autônomos, em que o dano atua como estímulo para que o processo de cura inicie (HAGER *et al.*, 2010). O mecanismo de autorreparação também pode ser dividido em intrínseco, que se baseia na ligação reversível dinâmica, incluindo ligações covalentes e interações intermoleculares, que compõem o material, ou extrínseco quando são adicionados à matriz, em geral polimérica, microrecipientes que abrigam o agente autorreparável (ZHANG *et al.*, 2017). As capacidades dos materiais autorreparáveis consistem não apenas em estender a vida útil do produto, mas também aumentar a confiabilidade de seu uso e reduzir o desperdício de recursos (ZHANG *et al.*, 2017).

As interações intermoleculares das ligações de hidrogênio são utilizadas para construir compostos autorreparáveis através de redes supramoleculares, uma vez que essas ligações são mais fracas do que as presentes na rede e, portanto, serão rompidas quando ocorrer algum dano no material e se reformarão devido ao seu caráter dinâmico (HERBST *et al.*, 2013; URDL *et al.*, 2017). Phadke *et al.* (2012) propuseram que o autorreparo poderia ser alcançado incluindo na rede polimérica, cadeias hidrocarbônicas laterais contendo grupos funcionais polares, os quais mediarão as ligações de hidrogênio através de duas partes da cadeia. Chen *et al.* (2012) estudaram a produção de um elastômero termoplástico multifásico combinando rigidez e cura espontânea, utilizando um esqueleto de Poliestireno como a fase dura e Poliacrilamida como a fase macia, uma vez que o grupo funcional amida secundária apresenta dupla funcionalidade de doar e receber elétrons. A Borracha Natural

(NR) é um biopolímero, composto por unidades de isopreno (C_5H_8)_n unidas entre si através de uma configuração poli(cis-1,4-isopreno), além de outros componentes, como proteínas, minerais, carboidratos e lipídios (VAN BEILEN & POIRIER, 2007; RIPPEL & GALEMBECK, 2009). Quando a Borracha Natural reage com o Ácido Performico (produzido *in situ* pela reação entre o Peróxido de Hidrogênio e o Ácido Fórmico), obtém-se a Borracha Natural Epoxidada (ENR) (SANTIN *et al.*, 2012; GNECCO *et al.*, 1996; GAN & NG, 1986).

Os grupos epóxi altamente reativos presentes na estrutura química da ENR tornam esse polímero um possível material autorreparável. Rahman *et al.* (2013) avaliaram a característica autorreparadora de amostras de borracha natural epoxidada com dois níveis de epoxidação: 25 e 50% (molar), ENR25 e ENR50 respectivamente, e compararam o comportamento encontrado com o da borracha não funcionalizada, poli(cis-1,4-isopreno) (PISP). Os autores observaram a autorreparação de danos balísticos em corpos de prova produzidos com ENR50 e misturas de ENR50/PISP, contendo pelo menos 25% (em massa) de ENR50. Fatores como a mobilidade das cadeias macromoleculares, o nível de epoxidação e a presença de porções polares originadas da abertura do anel epóxi desempenham um papel significativo no autorreparo do dano balístico (RAHMAN *et al.*, 2013). Para evitar o fluxo de cadeias poliméricas durante o manuseio dos elastômeros é necessário promover a formação de uma estrutura em rede tridimensional no material, as quais são chamadas de reticulações.

O objetivo deste trabalho é verificar o potencial de autorreparação de uma amostra de Borracha Natural Epoxidada contendo 50% molar de grupos epóxidos (ENR50). Foram realizados estudos sobre os processos de autorreparação, bem como sobre o tipo de agente e as condições ideais do processo de reticulação, a fim de se obter um material elastomérico e autorreparável. Além disso, o processo de reticulação da ENR50 via peróxidos, apresentado na Figura 1, e a relação entre o nível de reticulação e a capacidade de autorreparação do elastômero foram avaliados.

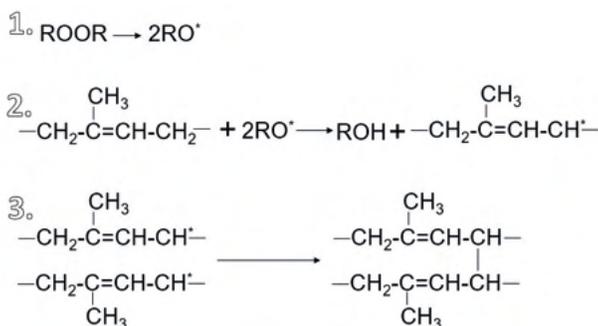


Figura 1. Processo de reticulação da Borracha Natural via peróxido. (KRUZELÁK *et al.*, 2014)

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

A amostra de Borracha Natural Epoxidada foi fornecida pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, contendo 50% (molar) de grupos epóxidos, denominada ENR50. Para a reticulação da ENR50, Peróxido de Dicumila (DCP) purificado foi usado como agente de reticulação, Trialilcianurato (Rhenogran TAC-50) com pureza de 40 a 60% (m/m), adquirido da Rhein Chemie, foi usado como coagente de reticulação, e Óxido de Zinco comercial foi usado como ativador da reação. Metanol P.A. e Tolueno P.A. adquiridos da empresa Neon, e Diclorometano P.A. adquirido da Synth foram usados como solventes, sem qualquer purificação prévia.

2.2 Reticulação da ENR50

A ENR50 foi reticulada com Peróxido de Dicumila purificado (RAHMAN *et al.*, 2013), por meio de dois procedimentos experimentais descritos a seguir.

2.2.1 Procedimento Experimental 1

Inicialmente, a amostra de ENR50 foi solubilizada em Tolueno P.A., na proporção de 15 mL de solvente/g de polímero (NETO, 1999), sob agitação e aquecimento a 60 °C. Em seguida, DCP, previamente dissolvido em Diclorometano, foi adicionado ao sistema e a temperatura alterada para 100 °C para a evaporação do solvente. O sistema foi transferido para placas de petri e seco em estufa a 60 °C. Para a confecção dos corpos de prova, as amostras foram prensadas em Prensa Hidráulica, marca FKL e modelo XP30, sob aquecimento e com aplicação de 200 kN de força, conforme descrito na Tabela 1. Após o tempo de prensagem, as amostras foram resfriadas a 60 °C também sob aplicação de força. A massa de peróxido adicionada à borracha foi variada em 0,5 e 1,5% da massa do elastômero inserido no procedimento.

2.2.2 Procedimento Experimental 2

O uso de coagentes durante o processo de reticulação de elastômeros, principalmente quando é utilizado peróxido como agente reticulante, reduz a ocorrência de reações indesejadas que competem pelos radicais peróxidos e prejudicam a reticulação do elastômero (FAGUNDES, 2011). Dessa forma, uma segunda rota experimental foi desenvolvida, incluindo no processo, além do Peróxido de Dicumila (DCP), o Trialilcianurato (TAC) como coagente de reticulação e o Óxido de Zinco como ativador da reação. Assim, após a solubilização completa da amostra de ENR50 em Tolueno P.A., conforme descrito no procedimento experimental 1, foram adicionados ao sistema, o DCP, o Óxido de Zinco e o TAC previamente dissolvidos em Diclorometano. O sistema foi transferido para placas de petri, mantido em temperatura ambiente para evaporação do solvente por 24 horas e, por

fim, seco em estufa a 60 °C. A confecção dos corpos de prova seguiu o mesmo processo experimental descrito anteriormente e as condições de prensagem estão discriminadas na Tabela 1.

Identificação	Reagentes			Condições de Prensagem ^c		
	DCP (%)	ZnO (%)	TAC50 (%) ^a	T (°C)	Δt (min)	Molde
Amostra 1	0,5	-	-	180	12 ^b	Circular ^c
Amostra 2	1,5	-	-	180	12 ^b	
Amostra 3	0,5	-	-	150	15	Retangular ^d
Amostra 4	1,5	-	-	150	15	
Amostra 5_a	0,5	-	-	160	20	
Amostra 5_b					40	
Amostra 5_c					60	
Amostra 6_a	1,5	-	-	160	40	
Amostra 6_b					60	
Amostra 7_a	0,5	0,625	0.25	160	20	
Amostra 7_b					40	
Amostra 8_a	1,5	1,875	0.75	160	20	
Amostra 8_b					40	

a) Pureza do reagente igual 50%.

b) Após 2 minutos de prensagem, a amostra foi retirada do equipamento e ajustada no molde para, então, ser submetida a mais 10 minutos de aquecimento.

c) Dimensões: 12 mm de diâmetro e 2 mm de espessura.

d) Dimensões: 50 mm de comprimento, 15 mm de largura e 4 mm de espessura.

Tabela 1. Formulações e condições de prensagem.

2.3 Caracterização

A amostra ENR50 foi inicialmente caracterizada através das análises de ATR-FTIR e TGA, e as amostras reticuladas foram submetidas ao Teste de Inchamento e ao Ensaio de Autorreparação.

2.3.1 Espectroscopia no infravermelho por transformada de fourier com reflexão total atenuada (ATR-FTIR)

A análise de FTIR foi realizada em um espectrômetro da empresa Agilent Technologies modelo Cary 630, com o acessório ATR, dispensando a preparação prévia das amostras, e cristal de Selênio e Zinco. As condições utilizadas foram: 32 varreduras, resolução de 16 cm⁻¹ e a faixa de absorção compreendendo a região entre 650 cm⁻¹ e 4000 cm⁻¹.

2.3.2 Termogravimetria (TGA)

A análise de TGA foi realizada em um analisador térmico simultâneo PerkinElmer, modelo STA8000. O programa de aquecimento utilizado foi de 25 °C a 820 °C, com velocidade de aquecimento de 10 °C/ min, sob atmosfera inerte de N₂.

2.3.3 Teste de inchamento

A eficiência do procedimento de reticulação para as amostras 1 a 8 foi avaliada por meio do Teste de Inchamento, seguindo a Norma Americana D6814-02 (ASTM, 2018). Inicialmente, foi determinado a massa inicial das amostras e, posteriormente, elas foram submersas em Tolueno, mantidas por 24 horas em temperatura ambiente. Em seguida, o excesso de solvente foi retirado da superfície das amostras e pesou-se a amostra inchada (peso final). Por fim, as amostras foram secas em estufa a 70 °C durante 16 h. A amostra ENR50 não reticulada também foi analisada, a fim de utilizá-la como amostra branco neste teste.

As massas inicial e final foram registradas para calcular o grau de inchamento (α) de acordo com a Equação 01 (JORGE *et al.*, 2009), a densidade de reticulação (v_e) através da Equação 02 (ASTM, 2018), e a massa molar média das cadeias reticuladas (M_c), de acordo com Teoria de Flory-Rehner, definida pela Equação 05.

$$\alpha (\%) = \frac{(W_f - W_i)}{W_i} \times 100 \quad (1)$$

$$v_e = \frac{-[\ln(1 - V_r) + V_r + x_1 V_r^2]}{[V_1(V_r^{1/3} - V_r)/2]} \quad (2)$$

Onde:

W_f = massa da amostra após inchamento;

W_i = massa da amostra inicial;

v_e = número efetivo de cadeias reticuladas por unidade de volume;

x_1 = parâmetro de interação polímero-solvente;

V_1 = volume molar do solvente;

V_r = fração volumétrica de polímero em uma rede inchada em equilíbrio com o solvente puro, calculada conforme a Equação 03.

$$V_r = \frac{\left(\frac{M_{\text{borracha seca}}}{\rho_{\text{borracha}}}\right)}{\left(\frac{M_{\text{borracha seca}}}{\rho_{\text{borracha}}}\right) + \left(\frac{M_{\text{solvente absorvido}}}{\rho_{\text{solvente}}}\right)} \quad (3)$$

A massa de solvente absorvido pela amostra foi calculada pela diferença entre a massa inicial da borracha (W_i) e a massa da borracha inchada (W_f). A densidade do solvente foi obtida da Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) do fabricante e a densidade da borracha seca, por sua vez, foi determinada conforme

indicado na Norma D6814-02 (ASTM, 2018) e calculada a partir da Equação 4, mostrada abaixo.

$$\rho_{borracha} (g/cm^3) = \frac{0,7913xA}{(A-B)} \quad (4)$$

$$MC = \frac{V_1 \rho_{borracha} \left(V_r^{1/3} - \frac{V_r}{2} \right)}{-[\ln(1-V_r) + V_r + x_1 V_r^2]} \quad (5)$$

Onde:

A = massa do corpo de prova medida no ar (g);

B = massa da amostra medida em metanol (g)..

2.3.4 ENSAIO DE AUTORREPARAÇÃO

A capacidade de autorreparação da ENR50 foi avaliada por meio de um teste qualitativo (SANDER, 2018). Os corpos de prova obtidos das amostras 1 a 8 e da ENR50 não reticulada foram cortados em duas partes distintas, reconectados após cerca de 30 segundos e acondicionados dessa forma a 25 e 60 °C, durante 2 e 24 horas. Após passado o período de tempo estipulado, os corpos de prova foram fotografados, enquanto eram tracionados manualmente e horizontalmente pelas pontas. Para melhor interpretar o nível de autorreparação na interface de cada uma das amostras, foram criados indicadores que classificam a autorreparação em quatro níveis:

- **Nível 0** – O corpo de prova não se autorreparou;
- **Nível 1** – Algumas regiões da interface entre as partes foram autorreparadas;
- **Nível 2** – As interfaces se autorrepararam, mas se romperam após tracionadas;
- **Nível 3** – As interfaces se autorrepararam e se romperam, mesmo tracionadas.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 ATR-FTIR

A Figura 2 apresenta a análise ATR-FTIR da amostra ENR50, com suas respectivas atribuições.

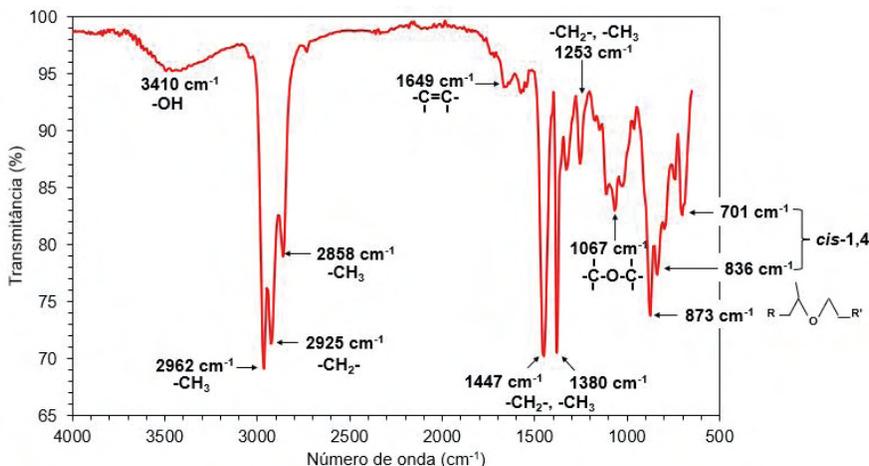


Figura 2. Espectro de ATR-FTIR da ENR50

A configuração do isômero *cis* pode ser vista na região em 836 e 701 cm^{-1} . A banda em 1067 cm^{-1} é característica das vibrações do grupo éster e em 873 cm^{-1} , dos grupos *cis-epóxi*. A deformação axial da ligação dupla entre carbonos de alquenos não-conjugados produz uma deformação fraca em 1649 cm^{-1} . As bandas em 1447, 1380 e 1253 cm^{-1} podem ser atribuídas aos grupos $-\text{CH}_2-$ e $-\text{CH}_3$ e à flexão C-H. Enquanto, as absorções em 2858, 2925 e 2962 cm^{-1} correspondem à deformação axial da ligação entre carbono e hidrogênio dos alcanos. Por fim, a existência de uma banda fraca em 3410 cm^{-1} , região característica do grupo $-\text{OH}$, pode estar relacionada à ocorrência de reações de abertura do anel epóxi (reações secundárias) (SANTIN *et al.*, 2012; SILVERSTEIN *et al.*, 2012; YAHYA *et al.*, 2011).

3.2 Termogravimetria (TGA)

A Figura 3 mostra o termograma da análise de TGA da ENR50.

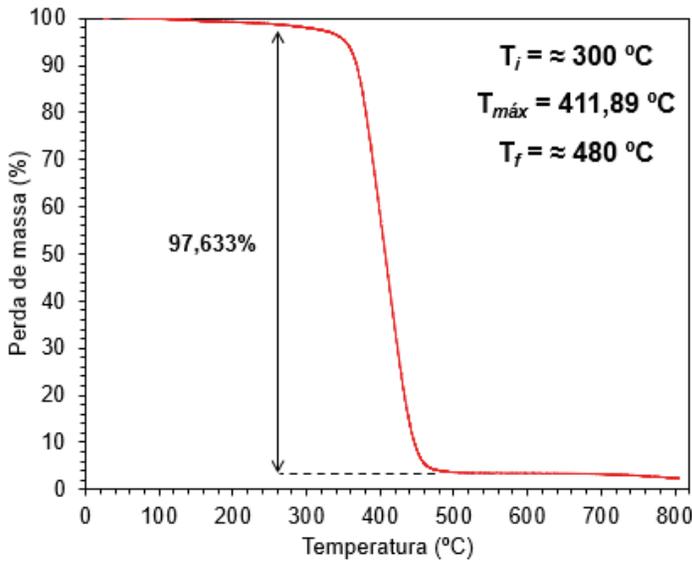


Figura 3. Termograma TGA da ENR50

É possível identificar a presença de apenas uma etapa de degradação de massa, característica da Borracha Natural Epoxidada e pode-se inferir que a massa residual após aquecimento a $500 \text{ }^\circ\text{C}$ (aproximadamente 2,4%) deve-se à presença de aditivos na amostra de ENR50 avaliada. O comportamento apresentado para a amostra de ENR50 estudada neste trabalho é semelhante ao de amostras utilizadas em outros estudos (ALWAAN & HASSAN, 2014; HAMZAH *et al.*, 2016; SILVA, 2012).

3.3 Condições de Prensagem

A Figura 4 apresenta um compilado de imagens dos corpos de prova de ENR50 após o procedimento de prensagem.

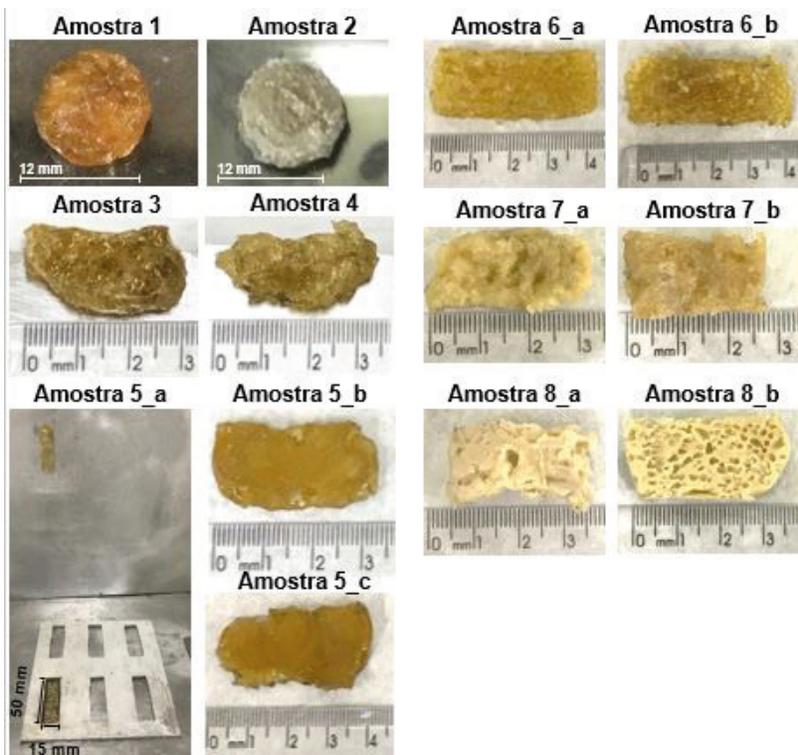


Figura 4. Registro fotográfico corpos de prova após a prensagem

É possível observar que a Amostra 1 apresentou uma coloração alaranjada, mostrando que a temperatura de cura foi excessiva e um tempo maior promoveria a degradação da amostra. A coloração da Amostra 2 deve-se à ocorrência de desprendimentos de material da chapa e do molde de alumínio utilizados, sendo por esse motivo que, a partir desse teste, foram utilizadas chapas de aço e um novo molde retangular. As Amostras 3, 4 e 5_a não apresentaram a forma retangular adequada, devido ao baixo grau de reticulação existente nestas amostras, o que não permite a correta conformação do corpo de prova. Porém, a coloração das amostras mostrou que a temperatura de 160 °C é a mais indicada para o processo de prensagem da ENR50 (RAHMAN *et al.*, 2013; YAHYA *et al.*, 2011).

As Amostras 5_b, 5_c, 6_a e 6_b foram obtidas após um tempo maior de prensagem (20 e 40 min), o que favoreceu a formação de um corpo de prova mais uniforme e com o formato retangular o mais próximo do desejado. Por fim, é possível evidenciar uma mudança de coloração nas Amostras 7 e 8 em comparação às amostras curadas apenas com DCP, provavelmente devido à presença de Óxido de Zinco.

3.4 Teste de Inchamento

A Figura 5 mostra o teste de inchamento das amostras de ENR50.



Figura 5. Teste de Inchamento das amostras de ENR50

Durante o contato de um polímero reticulado com um solvente termodinamicamente compatível, as moléculas do solvente penetram na rede polimérica e promovem seu inchamento, sem quebrar os pontos de reticulação. Em contrapartida, se o polímero não estiver devidamente reticulado, ele se dissolverá novamente no solvente. Por meio da Figura 5, é possível identificar que as Amostras 3, 4, 5_a e 7_a, além da amostra de ENR50, foram novamente solubilizadas no solvente e/ou sofreram deformação de seu formato original, gerando uma consistência de gel e indicando que as amostras não foram efetivamente reticuladas (TAKESHITA, 2010).

Os parâmetros α , ν_e e M_c foram determinados apenas para as amostras efetivamente reticuladas, conforme apresentado pela Tabela 2. Para calcular ν_e e M_c , o valor de 0,376 foi usado para o parâmetro x_1 , que descreve a interação entre a ENR com 48% molar de grupos epóxi curada com DCP, e Tolueno (GELLING *et al.*, 1991), como uma aproximação para a ENR50.

Identificação	$\rho_{borracha}$ (g/cm ³)	V_r	v_e	M_c (g/mol)	α (%)
Amostra 1	35,0295	0,0024	1,05x10 ⁻⁰⁷	6,75x10 ⁰⁸	805,33
Amostra 2	20,7802	0,0067	5,89x10 ⁻⁰⁷	7,18x10 ⁰⁷	557,57
Amostra 5_b	48,0935	0,0025	1,10x10 ⁻⁰⁷	8,84x10 ⁰⁸	571,45
Amostra 5_c	30,3737	0,0037	2,12x10 ⁻⁰⁷	2,89x10 ⁰⁸	672,94
Amostra 6_a	64,6513	0,0014	4,31x10 ⁻⁰⁸	3,02x10 ⁰⁹	835,87
Amostra 6_b	62,2010	0,0014	4,00x10 ⁻⁰⁸	3,13x10 ⁰⁹	868,34
Amostra 7_b	86,6114	0,0011	2,71x10 ⁻⁰⁸	6,42x10 ⁰⁹	743,78
Amostra 8_a	59,9709	0,0015	4,63x10 ⁻⁰⁸	2,61x10 ⁰⁹	868,43
Amostra 8_b	65,3086	0,0016	5,49x10 ⁻⁰⁸	2,40x10 ⁰⁹	704,22

Tabela 2. Grau de inchamento, densidade de reticulação e massa molar média das cadeias reticuladas dos corpos de prova de ENR50

Quanto maior a quantidade de peróxido adicionada ao processo de cura, mais eficiente é a reticulação das cadeias poliméricas, criando ligações mais fortes e numerosas, dificultando conseqüentemente a elasticidade do material, o que gera um menor grau de inchamento, como pode-se observar pelos resultados das Amostras 1 e 2.

Entre as Amostras 5_b e 6_a, e as Amostras 5_c e 6_b, foi observado comportamento oposto, uma vez que algumas porções das Amostras 5_b e 5_c permaneceram aderidas à superfície do vidro durante sua transferência para as vidrarias de pesagem do laboratório ou foram solubilizados no solvente .

Entre as Amostras 7_b e 8_b, foi observado o mesmo comportamento identificado para as Amostras 1 e 2, sendo verificado que a Amostra 8_b, prensada por mais tempo ($\Delta t = 40$ min), apresentou um grau de inchamento menor que a Amostra 8_a ($\Delta t = 20$ min), mostrando que quanto maior o tempo de prensagem, maior o número de reticulações formadas na cadeia polimérica.

Quanto menor for a densidade de reticulação, menor será o número de pontos reticulados na cadeia polimérica e maior será a cadeia reticular, ou seja, quanto maior for o valor de α , maior será o grau de inchamento (ROCHA, 2003; SANTIN, 2001), como pode ser visto entre as Amostras 1 e 2, e entre as Amostras 7_b e 8_b, que diferem pela massa de DCP adicionada à reação de reticulação do elastômero, sob a mesma temperatura e o mesmo tempo de prensagem.

Por fim, pode-se observar que as Amostras 6_a e 6_b apresentam maior α do que as Amostras 8_a e 8_b, embora ambas as amostras tenham sido reticuladas com 1,5% (m/m) de DCP, devido à inclusão do TAC e ZnO no meio reacional das Amostras 8_a e 8_b, que ajudaram nas reações de reticulação.

3.5 Ensaio de Autorreparação

A Figura 6 mostra as imagens obtidas durante o ensaio de autorreparação dos corpos de prova de ENR50 e a Tabela 3 apresenta a classificação das amostras com base

em seu nível de autorreparação.



Figura 6. Ensaio de Autorreparação das amostras de ENR50

Como pode ser visto na Figura 6 e nos resultados da Tabela 3, apenas a Amostra 3 apresentou a característica de um material autorreparável nos quatro testes, seguida pela amostra de ENR50 não curada que foi totalmente autorreparada quando aquecida e, por fim, as Amostras 4, 5_b e 7_a que desenvolveram a autorreparação quando aquecidas e mantidas em contato por 24 horas.

Além disso, é possível verificar que o nível de autorreparação das Amostras 2, 4,

5_b, 5_c, 6_a, 6_b, 7_a e ENR50 não curada aumentou com o tempo de contato e com o aquecimento (SANDER & FERREIRA, 2018). As amostras 1, 3, 5_a, 7_b e 8_a apresentaram o mesmo nível de autorreparação nos quatro testes realizados, demonstrando que para essas formulações, o tempo de contato e as temperaturas testadas não influenciaram o processo de reparo do polímero.

Identificação	T=25 °C		T=60 °C	
	$\Delta t=2$ h	$\Delta t=24$ h	$\Delta t=2$ h	$\Delta t=24$ h
Amostra 1	2	2	2	2
Amostra 2	0	0	0	1
Amostra 3	3	3	3	3
Amostra 4	2	2	2	3
Amostra 5_a	1	1	1	1
Amostra 5_b	1	1	2	3
Amostra 5_c	1	2	2	2
Amostra 6_a	0	0	0	1
Amostra 6_b	0	0	0	1
Amostra 7_a	1	1	2	3
Amostra 7_b	1	1	1	1
Amostra 8_a	1	1	1	1
Amostra 8_b	1	0	0	0
ENR50	1	1	3	3

Tabela 3. Nível de autorreparação das amostras de ENR50

A capacidade de autorreparo das amostras de ENR50 avaliadas neste trabalho pode ser atribuída à reversibilidade dos grupos funcionais presentes na estrutura química do elastômero: ligações éster do grupo epóxi e os grupos hidroxila identificados na análise de ATR-FTIR (Figura 2), que são capazes de formar ligações de hidrogênio entre as cadeias, sendo facilmente quebradas e reconstituídas quando em contato, com ou sem aquecimento (SANDER & FERREIRA, 2018).

A partir da comparação entre a Figura 5 e a Tabela 3, as amostras de ENR50 cujo processo de reticulação não foi bem-sucedido foram aquelas que apresentam o maior nível de autorreparação, com exceção da Amostra 5_b, comprovando que quando as cadeias poliméricas da ENR50 estão reticuladas, observa-se uma diminuição na característica e eficiência autorreparadora, devido à formação de um arranjo tridimensional e à redução da mobilidade da cadeia polimérica.

Por fim, pode-se inferir que, entre todos os testes realizados neste estudo, a

Amostra 5_b apresentou os melhores resultados em termos de níveis de reticulação e autorreparação.

4 | CONCLUSÃO

No presente estudo, uma amostra de ENR50 foi avaliada quanto às suas características químicas e seu potencial como um material autorreparável. Com base nos resultados apresentados acima, pode-se concluir que é possível realizar a reticulação da ENR50 com o uso do Peróxido de Dicumila como agente de cura, sendo que ao incluir coagentes (Triálilcianurato) e ativadores (Óxido de Zinco) à reação, o processo é aperfeiçoado e são obtidos corpos de prova com formato mais definido e mais resistentes à deformação. A amostra de ENR50 avaliada neste trabalho apresentou um comportamento autorreparável não autônomo, uma vez que só atingiu seu nível máximo de autorreparação quando aquecida. O mecanismo de autorreparação da ENR50 pode ser atribuída à reversibilidade de grupos epóxi altamente reativos presentes na estrutura química do elastômero, tornando-o um polímero intrinsecamente autorreparável.

REFERÊNCIAS

ALWAAN, I. M.; HASSAN, A. Pyrolysis, Kinetic and Kinetic Model Study of Epoxidized Natural Rubber. **Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology**, vol. 30, nº 3, p. 153-168, 2014.

ASTM – American Society for Testing Materials. **ASTM D6814-02 – Standard Test Method for Determination of Percent Devulcanization of Crumb Rubber Based on Crosslink Density**. In: Annual Book of ASTM Standards, 2018.

CHEN, Yulin; KUSHNER, Aaron M.; WILLIAMS, Gregory A.; GUAN, Zhibin. Multiphase design of autonomic self-healing thermoplastic elastomers. **Nature Chemistry**, vol. 4, p. 467-472, 2012.

FAGUNDES, Enio César Machado. **Elastômero termoplástico vulcanizado a base de PA/NBR**. 2011. 136 f. Tese (Doutorado em Ciência dos Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

GAN, L.; NG, S. Kinetic studies of the performic acid epoxidation of natural rubber latex stabilized by cationic surfactant. **European Polymer Journal**, vol. 22(7), p. 573-576, 1986.

GELLING, I. R.; TINKER, A. J.; RAHMAN, H. B. A. Solubility parameters of Epoxidised Natural Rubber. **Journal of Natural Rubber Research**, vol. 6, nº 1, p. 20-29, 1991.

GNECCO, S.; POOLEY, A.; KRAUSE, M. Epoxidation of low-molecular-weight *Euphorbia lactiflua* natural rubber with “in situ” formed performic acid. **Polymer Bulletin**, vol 37, p. 609-615, 1996.

HAGER, Martin D.; GREIL, Peter; LEYENS, Christoph; VAN DER ZWAAG, Sybrand; SCHUBERT, Ulrich S. Self-Healing Materials. **Advanced Materials**, vol. 22, p. 5424- 5430, 2010.

HAMZAH, Rosniza; BAKAR, Mohamad Abu; DAHHAM, Omar Sabbar; ZULKEPLI, Nik Noriman; DAHHAM, Saad Sabbae. A structural study of epoxidized natural rubber (ENR-50) ring opening under mild acidic condition. **Journal of Applied Polymer Science**, p. 1-13, 2016.

HERBST, Florian; DÖHLER, Diana; MICHAEL, Philipp; BINDER, Wolfgang H. Self- Healing Polymers via Supramolecular Forces. **Macromolecular Rapid Communications**, nº 34, p. 203-220, 2013.

JORGE, Rosane M.; FERREIRA, Marcos T.; PICCIANI, Paulo H.; GOMES, Ailton S.; NUNES, Regina C. R. Caracterização Físico-Mecânica de Filmes de Borracha Natural Epoxidada Curáveis em Temperatura Ambiente. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 19, nº 4, p. 329-335, 2009.

KRUZELÁK, Ján; SÝKORA, Richard; HUDEC, Ivan. Peroxide vulcanization of natural rubber. Part I: effect of temperature and peroxide concentration. **Journal of Polymer Engineering**, vol. 34, nº 7, p. 617-624, 2014.

NETO, César Pedrini. **Epoxidação de Borrachas SBR: obtenção e avaliação de propriedades**. 1999. 127 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

PHADKE, Ameya; ZHANG, Chao; ARMAN, Bedri; HSU, Cheng-Chih; MASHELKAR, Raghunath A.; LELE, Ashish K.; TAUBER, Michael J.; ARYA, Gaurav; VARGHESE, Shyni. Rapid self-healing hydrogels. **PNAS**, vol. 109, n. 12, p. 4383-4388, 2012.

RAHMAN, Md Arifur; SARTORE, Luciana; BIGNOTTI, Fabio; DI LANDRO, Luca. Autonomic Self-Healing in Epoxidized Natural Rubber. **ACS – Applied Materials & Interfaces**, vol. 5, p. 1494-1502, 2013.

RIPPEL, Márcia M.; GALEMBECK, Fernando. Nanostructures and Adhesion in Natural Rubber: New Era for a Classic. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, vol. 20, nº 6, p. 1024-1030, 2009.

ROCHA, Tatiana Louise Ávila de Campos Rocha. **Influência da Modificação Química de Polidienos sobre suas Propriedades Finais**. 2003. 141 f. Tese (Doutorado em Ciência dos Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais (PGCIMAT), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2003.

SANDER, Marcela Mantese. **Desenvolvimento de um compósito semicondutor com matriz elastomérica de fonte renovável, propriedades de autorreparação e biocompatível**. 2018. 85 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2018

SANTIN, Cristiane Krause. **Obtenção e propriedades de borrachas de polibutadieno epoxidado**. 2001. 152 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Curso de Pós-Graduação, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2001.

SANTIN, Cristiane K.; PINTO, Gisele de C.; JACOBI, Marly Maldaner. Epoxidação “in situ” aplicada ao látex da borracha natural. **Polímeros**, vol. 22, nº 2, p. 139-199, 2012.

SILVA, André Luís dos Santos. **Influência do processo de incorporação de argila sobre as propriedades de vulcanizados de borracha natural e borracha natural epoxidada**. 2012. 131 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2012.

SILVERSTEIN, Robert M.; WEBSTER, Francis X.; KIEMLE, David J. **Identificação Espectrométrica de Compostos Orgânicos**. 7ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

TAKESHITA E. V. **Inchamento de borrachas vulcanizadas sob a ação de solventes orgânicos** (Doctoral Dissertation). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2010.

URDL, Katharina; KANDELBAUER, Andreas; KERN, Wolfgang; MULLER, Uwe; THEBAULT, Marion; ZIKULNIG-RUSCH, Edith. Self-healing of densely crosslinked thermoset polymers – a critical review. **Progress in Organic Coatings**, vol. 104, p. 232-249, 2017.

VAN BEILEN, Jan B.; POIRIER, Yves. Establishment of new crops for the production of natural rubber. **TRENDS in Biotechnology**, vol. 25, n° 11, p. 522-529, 2007.

YAHYA, Y. S. Rohana; AZURA, A. R.; AHMAD, Z. Effect of Curing Systems on Thermal Degradation Behavior of Natural Rubber (SMR CV 60). **Journal of Physical Science**, vol. 22, n. 2, p. 1-25, 2011.

ZHANG, Qiang; LIU, Libin; PAN, Chenguang; LI, Dong. Review of recent achievements in self-healing conductive materials and their applications. **Journal of Materials Science**, vol. 53, p. 27-46, 2017.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aço MA957 4, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28

Aços inoxidáveis 4, 30, 31, 36

Adsorción 159, 160, 162, 163, 165, 167, 168, 170, 171, 172, 174, 175, 176, 177, 178

Alumínio 4, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 95, 141

Argamassa 6, 112, 149, 150, 156, 157, 158

Austenita 30, 31, 36

Autorreparação 132, 133, 134, 136, 138, 143, 144, 145, 146, 147

B

Biomateriais 180, 181, 182

Biopolímeros 172, 181, 187

Borracha 5, 90, 106, 108, 115, 116, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 125, 127, 129, 130, 132, 133, 134, 135, 137, 140, 147

C

Cascara 6, 170, 171, 173, 174, 175, 176, 177, 178

Cianuro 6, 170, 171, 174, 175, 176, 177, 178

Combustível nuclear 30

Compressão 30, 31, 33, 36, 40, 41, 96, 106, 108, 112, 113, 119, 121, 124, 125, 128, 129, 149, 150, 151, 154, 155, 158

Concreto 5, 100, 106, 107, 108, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 119, 120, 121, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 150, 157, 158

Conforto Humano 149

D

Deformação a Frio 38, 40, 41, 42

Desorción 160

E

Eficiência de corrente 46

Eletrocromismo 84

Eletrodeposição reversível 84, 85, 86, 87

Eletrogalvanização 45, 46

ENR50 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146

Ensaio visual 56, 57, 58

Estudo Bibliométrico 4, 1, 2

F

Fármaco 6, 180, 181, 183, 185, 186, 187, 188, 189, 190

Ferritoscopia 30, 31, 35, 36

G

Galena 6, 159, 160, 161, 162, 164, 165, 166, 167, 168, 169

Geotêxteis 194, 201, 202

I

Incêndios florestais 194, 195, 199, 200

L

Lajota Piso Tátil 149

Laminação 30, 31, 32, 34, 35, 36, 39, 69

M

Martensita 30, 31, 36

Meta-Aramidas 7, 194, 195, 196, 197, 199, 200, 203

Morfologia do revestimento 46

P

Parâmetros operacionais 46

Poliestireno 6, 14, 15, 133, 149, 150, 156, 157, 158, 185

Polímeros 3, 5, 1, 2, 3, 6, 7, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 82, 84, 86, 90, 147, 158, 182, 192, 195, 196, 203

R

Resíduos 5, 78, 79, 80, 82, 83, 94, 99, 103, 106, 107, 108, 110, 116, 119, 123, 125, 127, 129, 130, 131, 157

Reticulação com peróxido 132

Revestimento metálico 46

S

Síntese 18, 21, 158

Soldagem 41, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 209

Superfície ocular 6, 180, 181, 182, 190, 191, 193

Sustentabilidade 103, 104, 106, 108, 127, 149

Sustentável 80, 81, 94, 98, 99, 106, 107, 108, 116, 127, 130, 150

T

Tamarindo 6, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179

Textura 30, 36, 37, 150

Tratamentos Térmicos 38, 39, 41

Tubos de papelão 5, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 103, 104, 105

W

WC nanoestruturado 4, 18, 20, 21, 26, 28

COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE MATERIAIS E METALÚRGICA 2

- 
-  www.atenaeditora.com.br
 -  contato@atenaeditora.com.br
 -  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 -  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE MATERIAIS E METALÚRGICA 2

- 
- 🌐 www.atenaeditora.com.br
- ✉ contato@atenaeditora.com.br
- 📷 @atenaeditora
- 📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br