

The background is a dark blue gradient. It features several white line-art gears of various sizes. In the center, there is a faint, semi-transparent image of a person's head in profile, looking downwards. The title 'Gears of the future' is written in a white, sans-serif font, with 'Gears' on the top line and 'of the future' on the bottom line, separated by a thin white horizontal line.

Gears of the future

Adriano Pereira da Silva
(Organizador)

 **Atena**
Editora
Ano 2022

The background is a dark grey with a complex pattern of gears and a faint silhouette of a person's head. The gears are of various sizes and some contain icons like a power line, a factory, and a group of people. The person's head is shown in profile, looking towards the right.

Gears of the future

Adriano Pereira da Silva
(Organizador)

 **Atena**
Editora
Ano 2022

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

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

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-Não-Derivativos 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: Daphynny Pamplona
Correção: Yaidy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Adriano Pereira da Silva

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

G292 Gears of the future / Organizador Adriano Pereira da Silva. –
Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-868-4

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.684220402>

1. Gears of the future. I. Silva, Adriano Pereira da
(Organizador). II. Título.

CDD 303.49

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 coleção “Organização Gears of the future” versa a pluralidade científica e acadêmica, permeando as singularidades das várias obras que compõem os seus capítulos. O volume apresentará trabalhos, pesquisas, relatos que promovem as diversas formas da aplicação da engenharia de produção, de modo interdisciplinar e contextualizada, em sua gama de conteúdo iterativo.

O principal objetivo é expor, de forma categórica e clara, as pesquisas realizadas nas diversas instituições de ensino e pesquisa nacionais e internacionais, cujos trabalhos contemplam diretrizes relacionadas à automação, cromatografia, estilos de aprendizagem, identificação de sistemas, impressão 3d, melhoramento de solo, métodos numéricos, reconhecimento de padrões e áreas correlatas.

Portanto, os tópicos discutidos em sociedade, empresariado e academia, são trazidos para um âmbito crítico e estruturado, estabelecendo uma base de conhecimento para acadêmicos, professores e todos aqueles que estão interessados na engenharia de produção e/ou industrial. Assim, salienta-se a importância das temáticas abordadas nesta coleção, visto pela evolução das diferentes ferramentas, métodos e processos que a indústria 4.0 desenvolveu ao longo do tempo e sendo capaz de solucionar problemas atuais e vindouros.

Deste modo, esta obra propõe uma teoria a partir dos resultados práticos obtidos por diversos professores e estudiosos que trabalharam intensamente no desenvolvimento de seus trabalhos, que será apresentada de forma concisa e pedagógica. Sabemos da importância da divulgação científica, por isso também destacamos a estrutura da Atena Editora para fornecer a esses entusiastas da pesquisa científica uma plataforma integrada e confiável para a exibição e divulgação de seus resultados.

Adriano Pereira da Silva

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

RETROSPECTIVA DE LA FORMACIÓN DEL INGENIERO FORESTAL ANTE LA CRISIS AMBIENTAL DEL PLANETA


Zazil Ha Mucui Kac García Trujillo

Alicia Avitia Deras

Jorge Antonio Torres Pérez

Martha Alicia Cazares Moran


Víctor Manuel Interian Ku

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204021>

CAPÍTULO 2..... 14

COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE PROJETO DE TÚNEIS EM MACIÇOS FRATURADOS

Frederico Veiga Ribeiro Gonçalves


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204022>

CAPÍTULO 3..... 30

CONTROLE ADAPTATIVO USADO EM DOIS ELOS DE UM ROBÔ ELETROMECÂNICO DE CINCO GRAUS DE LIBERDADE

José Antonio Riul

Paulo Henrique de Miranda Montenegro


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204023>

CAPÍTULO 4..... 42

DESENVOLVIMENTO DE UM KIT DIDÁTICO COM SENSOR DE TEMPERATURA E BARRA DE LEDS UTILIZANDO UM MICROCONTROLADOR COM NÚCLEO 8051

Eduardo Batista dos Santos

Salvador Pinillos Gimenez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204024>

CAPÍTULO 5..... 59

DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE LIGAÇÕES CRUZADAS EM BORRACHA NATURAL PARA DIFERENTES SISTEMAS DE VULCANIZAÇÃO

Arthur Pimentel de Carvalho

Harison França do Santos

Carlos Toshiyuki Hiranobe

Eduardo Roque Budemberg

Gabriel Deltrejo Ribeiro

Giovanni Barrera Torres

Jose Francisco Resende

Leonardo Lataro Paim

Leandra Oliveira Salmazo

Miguel Ángel Rodríguez Pérez

Renivaldo José dos Santos


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204025>

CAPÍTULO 6..... 73

BIOMATERIALS FOR THE STUDY OF CANCER

Nicolas Lara

Maria Inês Basso Bernardi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204026>

CAPÍTULO 7..... 90

INFLUENCIA DEL CLIMA EN EL CRECIMIENTO RADIAL EN UNA PLANTACIÓN DE *Pinus greggii* EN SANTIAGO DE ANAYA HIDALGO, MÉXICO

Pedro Antonio Domínguez-Calleros


Rodrigo Rodríguez-Laguna

José Rodolfo Goché Télles

Norberto Domínguez-Amaya

Héctor Manuel Loera-Gallegos

Jesús Alejandro Soto-Cervantes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204027>

CAPÍTULO 8..... 102


INVESTIGAÇÃO HIDROLÓGICA DA MICRO BACIA DO CÓRREGO DO AFLUENTE DO VEADO, NO MUNICÍPIO DE PRESIDENTE PRUDENTE – SP

Karen Caroline Rodrigues Ferreira

Alexandre Teixeira De Souza

Gabriel Itada Tamagno

Elson Mendonça Felici

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204028>


CAPÍTULO 9..... 112

MELHORAMENTO DE SOLO UTILIZANDO MARTELO VIBRATÓRIO: UM ESTUDO DE CASO

Fábio Lopes Soares

Guilherme Ogliari Oliveria

Rhuan Francisco Antunes de Vasconcelos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204029>

CAPÍTULO 10..... 124

RENDIMENTO E ÁCIDOS GRAXOS DOS FRUTOS DE *Calophyllum brasiliensis* CAMBESS NO SUL DO TOCANTINS

Maria Cristina Bueno Coelho

Bonfim Alves Souza

Max Vinícios Reis de Sousa

Wádilla Morais Rodrigues

Yandro Santa Brigida Ataide

Mathaus Messias Coimbra Limeira


Mauro Luiz Erpen

Maurilio Antonio Varavallo

Juliana Barilli

Marcos Giongo


Damiana Beatriz da Silva
André Ferreira dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040210>

CAPÍTULO 11..... 137

DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE OPERAÇÃO DA EXTRAÇÃO LÍQUIDO –
LÍQUIDO EM REGIME CONTÍNUO DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS SAMÁRIO E
EURÓPIO


Ysrael Marrero Vera
Gabriel Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040211>

CAPÍTULO 12..... 141

EVOLUTION METHODOLOGY OF BIOABSORBABLE POLYMERIC STRUCTURES IN
THE APPLICATION OF STENTING AORTIC COARCTATION IN NEONATES


Rosana Nunes Santos
Aron José Pazin Andrade
Tiago Senra Garcia Santos
Gustavo Caravita Andrade
Carlos Augusto Cardoso Pedra
Flávio José dos Santos
Bruno Agostinho Hernandez
Edson Antonio Capello Sousa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040212>

CAPÍTULO 13..... 155

LA WEBQUEST COMO PROPUESTA DE ESTRATEGIA DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE
PARA ALUMNOS DE INGENIERÍAS

Carlos David Zapata y Sánchez
Guadalupe López Molina

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040213>

CAPÍTULO 14..... 168

O USO DE GEOTÊXTIL PARA O CONTROLE DE DRENAGEM DE ÁGUA DE SUPERFÍCIE
- A SOLUÇÃO UTILIZADA PARA FECHAMENTO ADEQUADO DE UMA PILHA ESTÉRIL


Christ Jesus Barriga Paria
Hernani Mota de Lima

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040214>

CAPÍTULO 15..... 180

OTIMIZAÇÃO DO TRATAMENTO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA CURTIDORA DE
PELES EM PRESIDENTE PRUDENTE – SP


Karen Caroline Rodrigues Ferreira
Alexandre Teixeira De Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040215>

CAPÍTULO 16..... 189

TÓPICOS DE ENERGIA LIMPA E MAPAS COGNITIVOS FUZZY APLICADOS EM ANÁLISE DE SATISFAÇÃO NA INSTALAÇÃO DE SOLAR FOTOVOLTAICO


Márcio Mendonça
Marta Rúbia Pereira dos Santos
Célia Cristina Faria
Fábio Rodrigo Milanez
Francisco de Assis Scannavino Junior
Wagner Fontes Godoy
Rodrigo Henrique Cunha Palácios
Marco Antônio Ferreira Finocchio
Carlos Alberto Paschoalino
Gustavo Henrique Bazan
Ricardo Breganon
Uiliam Nelson Lenzion Tomaz Alves
Marcos Antônio de Matos Laia

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040216>

CAPÍTULO 17..... 203

RECONHECIMENTO DE PADRÕES EM SINAIS EMG COM REDE NEURAL PARA IMPLEMENTAÇÃO EM BRAÇO ROBÓTICO


Evelyne Lopes Ferreira
Maury Meirelles Gouvêa Jr.

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040217>

CAPÍTULO 18..... 212

SEPARAÇÃO DE TÉRPIO E DISPRÓSIO A PARTIR DA TÉCNICA DE EXTRAÇÃO POR SOLVENTES


Ysrael Marrero Vera
Izabel Nunes Ivancko
João Marcos Batista do Nascimento

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040218>

CAPÍTULO 19..... 221

VIVER A CIDADE: UMA ANÁLISE A PARTIR DA APROPRIAÇÃO DO ESPAÇO PÚBLICO URBANO


Anicoli Romanini



 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040219>

CAPÍTULO 20..... 233

SimP - BANCADA VIRTUAL PARA LABORATÓRIOS DE AUTOMAÇÃO PNEUMÁTICA, HIDRÁULICA, ACIONAMENTO DE MOTORES E CONTROLADORES DE PROCESSO – UM CASO EM EVOLUÇÃO

Sergio Adalberto Pavani
Cesar Tadeu Pozzer
Paulo Roberto Colusso

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040220>

CAPÍTULO 21	243
AVALIAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO UTILIZANDO UM SIMULADOR EM TEMPO REAL	
William Pinheiro Silva	
Damásio Fernandes Júnior	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040221	
CAPÍTULO 22	257
von MISES TAPERING: A NEW CIRCULAR WINDOWING	
Hélio Magalhães de Oliveira	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040222	
SOBRE O ORGANIZADOR	272
ÍNDICE REMISSIVO	273

CAPÍTULO 5

DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE LIGAÇÕES CRUZADAS EM BORRACHA NATURAL PARA DIFERENTES SISTEMAS DE VULCANIZAÇÃO

Data de aceite: 01/01/2022

Data de submissão: 08/11/2021

Arthur Pimentel de Carvalho

Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Engenharia de Energia, Campus de Rosana,
Rosana, SP, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1871599705324285>

Harison França do Santos

Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Engenharia de Energia, Campus de Rosana,
Rosana, SP, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4413434710945852>

Carlos Toshiyuki Hiranobe

Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Engenharia de Energia, Campus de Rosana,
Rosana, SP, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6394135976740037>

Eduardo Roque Budemberg

Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Engenharia de Energia, Campus de Rosana,
Rosana, SP, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5528617902631667>

Gabriel Deltrejo Ribeiro

Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciência e Tecnologia,
Departamento de Física, Campus de
Presidente Prudente, Presidente Prudente, SP,
Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3536726680653435>

Giovanni Barrera Torres

Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM),
Departamento de Ingeniería de Diseño
Industrial, Medellín, Colombia
<http://lattes.cnpq.br/9777703901172514>

Jose Francisco Resende

Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Engenharia de Energia, Campus de Rosana,
Rosana, SP, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3023885342426808>

Leonardo Lataro Paim

Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Engenharia de Energia, Campus de Rosana,
Rosana, SP, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4328309612941987>

Leandra Oliveira Salmazo

Universidade de Valladolid (Uva),
Departamento de Física da Matéria
Condensada, Campus de Valladolid, Valladolid,
Espanha
<http://lattes.cnpq.br/8344481361054517>

Miguel Ángel Rodríguez Pérez

Universidade de Valladolid (Uva),
Departamento de Física da Matéria
Condensada, Campus de Valladolid, Valladolid,
Espanha.
<https://orcid.org/0000-0002-3607-690X>

Renivaldo José dos Santos

Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Engenharia de Energia, Campus de Rosana,
Rosana, SP, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0254580245173848>

Resumo: Para o desenvolvimento de novos compostos de borracha com propriedades específicas é necessário compreender a relação entre as propriedades macroscópicas e a microestrutura. Este trabalho tem por objetivo avaliar a densidade de ligações cruzadas em composto de borracha natural vulcanizada em três sistemas de cura: convencional (CV), eficiente (EV) e semi-eficiente (SEV) utilizando três métodos: o método de inchamento em solvente orgânico com aplicação da Equação de Flory-Rehner, o método de resistência à tração com auxílio da Equação de Mooney-Rivlin e a análise dinâmico-mecânica (DMA).

PALAVRAS-CHAVE: Crosslinked, DMA, Mooney, Flory-Rehner, Sistemas de vulcanização.

DETERMINATION OF THE DENSITY OF CROSS-LINKS IN NATURAL RUBBER FOR DIFFERENT VULCANIZATION SYSTEMS

ABSTRACT: For the development of new rubber compounds with specific properties are necessary understand the relationship between macroscopic properties and microstructure. This work aims to evaluate the crosslink density of vulcanized natural rubber compound in three curing systems: conventional (CV), efficient (EV) and semi-efficient (SEV) using three methods: the solvent swelling method organics with the Flory-Rehner equation, the tensile strength method with the Mooney-Rivlin equation, dynamic-mechanical analysis (DMA).

KEYWORDS: Crosslink density, DMA, Mooney-Rivlin, Flory-Rehner.

1 | INTRODUÇÃO

Com a descoberta do processo de vulcanização em meados do século XIX por Goodyear, os elastômeros ganharam um espaço notável no mercado graças a grande melhoria nas propriedades mecânicas e a capacidade de manipulação das propriedades físicas ao final do processo (RAUE et al, 2014; Santos, 2014). Esse processo consistia na adição de enxofre previamente misturado a borracha natural e como consequência, ao final do processo, notou-se melhoria nas propriedades físicas do material, devido ao retículo tridimensional promovido pelo agente reticulante, ou seja, a mistura de borracha e enxofre sob condições ideais de tempo e temperatura promovia melhora nas propriedades físicas e químicas da borracha. Desta maneira, os elastômeros reticulados com enxofre são classificados em sistemas conforme a razão acelerador/enxofre, sendo o sistema convencional (CV) responsável pela superioridade nas propriedades mecânicas devido à alta capacidade de reestruturação das cadeias reticuladas quando submetidas a uma força externa e apresentando como predominância ligações do tipo (C - S_x - C), o sistema eficiente (EV) com ligações mais curtas e com maior estabilidade térmica (C - S - C) e, por fim, o sistema semi-eficiente (SEV) que possui um intermédio entre as propriedades físicas dos dois sistemas anteriores, bem como, um intermédio entre as ligações (C - S₂ - C) (ABHITHA; THOMAS, 2013; DE SOUZA OLIVEIRA; 2016).

Como a maioria das propriedades da borracha estão intimamente relacionadas com a estrutura de rede e, conseqüentemente, à densidade de ligações cruzadas, o estudo destes fatores permitem avançar no entendimento da relação entre as propriedades

macroscópicas e a microestrutura. Atualmente, existem diversos modelos que tentam explicar o comportamento estrutural do material com relação aos pontos reticulantes. Pode-se citar os modelos mais conhecidos como o modelo de Flory, Wall e Hermans em que se propõe que a deformação do material era linear a deformação microscópica de modo que os pontos de reticulação estavam dispostos de maneira fixa no espaço (SCHLÖGL et al, 2014; WALL; FLORY, 1951). Em contrapartida, James e Guth (JAMES; GUTH, 1947) propuseram um modelo conhecido como modelo fantasma o qual sugere que os cross-links estão sujeitos a flutuações em torno de uma posição. Por fim, posteriormente, Flory e Erman propuseram uma explicação para o real comportamento das redes, o qual passam a considerar que as restrições topológicas da cadeia como emaranhamentos dificultam a flutuação dos cross-links. Sendo assim, passaram a utilizar um fator K, o qual varia de 0 (representando o modelo afim) até que passa a representar o modelo fantasma (FLORY; ERMAN; 1982).

Atualmente, existem dois métodos para promover a cura do material: os métodos físicos e químicos. O primeiro grupo se baseia na cura por radiação o qual promove a ruptura das ligações mais frágeis de hidrogênio resultando em radicais livres, possibilitando assim, os links entre as cadeias lineares (ESPÓSITO, 2019). Desta maneira, a principal vantagem deste método é que resulta em baixa degradação do polímero já que o processo ocorre a temperatura ambiente, além de permitir um maior controle do processo e promover a formação de ligações do tipo C-C, as quais são mais fortes (MOUSTAFA et al, 2016; WANG et al, 2016). Em contrapartida, têm-se os métodos químicos que são os mais conhecidos (HOWSE et al, 2018). Estes métodos baseiam-se na mescla de um agente reticulante ao polímero para que tal agente promova a cura do material. Dentre este métodos, tem-se a cura por enxofre o qual é o mais implementado na indústria sendo que o mesmo consiste na mescla do enxofre elementar (S_8), a matriz que ao ser submetida a temperaturas elevadas tende a romper o anel de enxofre e, após as reações secundárias do processo, promove um “link” entre as cadeias independentes, resultando em uma rede de ligações cruzadas (JOSEPH et al, 2015). Continuamente, ainda existe a reticulação proporcionada por peróxidos que promovem a degradação térmica do polímero que resulta em radicais livres, os quais geram ligações do tipo C-C que vão atuar como pontos reticulantes e apresentam grande estabilidade térmica.

Com os avanços adequados, no presente momento existem inúmeros métodos para a quantificação da densidade de ligações cruzadas de um material. Pode ser citado como exemplo a dispersão por Raios-x, técnica ultrassônica (SALEESUNG et al, 2015). No entanto, os mais usuais são as técnicas de inchamento em solventes orgânicos o qual utiliza a Equação de Flory-Rehner para tal quantificação (SON; CHOI; SUNG, 2019), a de resistência a tração com o auxílio da Equação de Mooney-Rivlin (MOK; ENG, 2018) e a ressonância magnética nuclear (HOWSE et al, 2019). Portanto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a densidade de ligações cruzadas em composto de borracha natural

vulcanizada em três sistemas de cura: convencional (CV), eficiente (EV) e semi-eficiente (SEV) utilizando três métodos: o método de inchamento em solvente orgânico com o auxílio da Equação de Flory-Rehner, o método de tração com auxílio da Equação de Mooney-Rilvin e a análise dinâmico-mecânica (DMA).

2 | METODOLOGIA

Os materiais foram confeccionados nos três sistemas de vulcanização, convencional (CV), eficiente (EV) e semi-eficiente (SEV). Na Tabela 1 são apresentadas as formulações.

Formulação dos compósitos				
Materiais	Sistemas de vulcanização (phr)			
	Convencional	Eficiente	Semi-eficiente	Densidade (g cm-3)
Borracha natural	100,00	100,00	100,00	0,93
Ácido esteárico	2,00	2,00	2,00	0,85
Óxido de zinco	4,00	4,00	4,00	5,57
Enxofre	3,00	1,00	2,50	2,07
MBTS*	0,50	1,50	1,00	1,53
TMTD**	0,50	1,00	1,00	1,42

* Dissulfeto de dibenzotiazol **Dissulfeto de Tetrametiluram.

Tabela 1: Formulação e sistemas de vulcanização.

2.1 Reometria

Os dados foram obtidos a uma temperatura de 150°C e arco de 1°, conforme a norma **ASTM D5289**. Por meio das curvas de reometria foram determinados os seguintes parâmetros: torque mínimo (M_L), torque máximo (M_H), tempo de pré-cura (t_{s1}) e tempo ótimo de vulcanização (t_{90}).

2.2 Dureza

A dureza das amostras foi determinada em um durômetro na escala Shore A, de acordo com a norma **ASTM D2240**

2.3 Densidade de Ligações Cruzadas por inchamento (Flory-Rehner)

A densidade de ligações cruzadas dos compósitos foi determinada pela técnica de inchamento, onde as amostras foram pesadas com massa de aproximadamente 0,25 0,05 g e imersas em tolueno por 5 dias. Em seguida, as amostras foram retiradas, secadas para eliminar o excesso do solvente e pesadas. Então as amostras seguiram para a estufa, sob temperatura de 60°C por 24 horas e pesadas novamente. Estes valores foram anotados e utilizados juntamente com os valores da massa da amostra seca, massa da amostra após

inchamento e massa do solvente preso na amostra, para o cálculo do valor de V_B , assim a densidade de ligação cruzada foi calculada, utilizando a Equação desenvolvida por Flory-Rehner:

$$\eta = \frac{-(\ln(1 - V_B) + V_B + x(V_B)^2)}{(\rho_B)(V_0)(V_B^{\frac{1}{3}} - \frac{V_B}{2})} \quad (1)$$

Onde, η : densidade de ligações cruzadas (mol/cm³), χ o parâmetro de interação polímero-solvente ou parâmetro de *Flory-Huggins* (0,39), ρ_B a densidade da borracha, V_0 o volume molar do solvente (106,4 cm³ mol⁻¹) e V_B é a fração de volume de borracha da forma inchada, determinada a partir do aumento de peso pelo inchamento.

2.4 Densidade de Ligações Cruzadas pelo Método de Mooney-Rivlin

Os ensaios de tração foram realizados segundo a norma **ASTM D412**, Método A, em um equipamento da marca EMIC modelo DL 200, a velocidade de 500mm/min com célula de carga de 500 N. A equação de Mooney-Rivlin foi usada para a determinação da densidade de ligações cruzadas baseado no ensaio de tensão-deformação. Para o presente material foram usadas as Equações 2 e 3, a seguir (CHEN; CHUANHUI; WANG, 2018; CHEN et al, 2016; NÖCHEL et al, 2015).

$$F = 2A_0(\lambda - \lambda^{-2})(C_1 + C_2\lambda^{-1}) \quad (2)$$

$$\frac{\sigma}{(\lambda - \lambda^{-2})} = 2C_1 + \frac{2C_2}{\lambda} \quad (3)$$

Onde F é a força requerida no material vulcanizado, A_0 é a área transversal não esticada do material V_r é a fração do volume do material inchado obtido na Equação de Flory-Rehner, é identificado como F/A_0 , λ é a relação de extensão ($1 + \varepsilon$) sendo ε a deformação e C_1 e C_2 são constantes que caracterizam o material (HOWSE et al, 2018; EISELE, 1990). Estas constantes, por sua vez, podem ser determinadas graficamente, ao plotar $\frac{\sigma}{(\lambda - \lambda^{-2})}$ por $1/\lambda$ é possível determinar as constantes C_1 e C_2 uma vez que C_1 é interpretado como o ponto da curva que corta o eixo ordenado, assim obtendo o seu valor. E C_2 é interpretado como a inclinação da curva (HAGEN; SALMÉN; STENBERG, 1996). De mesmo modo, C_1 é utilizado para determinar a densidade de ligações cruzadas manifestadas fisicamente (n_f) a partir da seguinte Equação 4 (SOMBATSOMPOP, 1998).

$$n_f = \frac{C_1}{RT} \quad (4)$$

Em que R é a constante universal dos gases e T é a temperatura absoluta.

2.5 Densidade de Ligações Cruzadas por DMA

Neste ensaio, a densidade de ligações cruzadas foi determinada utilizando o equipamento da marca Mettler e modelo DMA-861e, sendo que o range de temperatura adotado foi de -100 °C à 100 °C com uma taxa de aquecimento de 5 °C/min, em corpos de prova com dimensões de 1 x 2 x 10 aproximadamente. Os corpos de prova foram submetidos a três diferentes frequências para avaliar a sua resposta e seu tempo de relaxação, assim, as frequências adotadas foram de 1, 3 e 5 Hz. A determinação da densidade de ligações cruzadas por DMA foi realizada a partir da seguinte Equação 5:

$$n = \frac{E'}{6RT} \quad (5)$$

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Reometria

Os parâmetros reométricos foram obtidos a partir da curva obtida na reometria e estão contidos na Tabela 2.

Sistemas de Cura	T _L (dN.m)	t _{s1} (min)	t ₉₀ (min)	T _H (dN.m)	Densidade (g cm ⁻³)	Dureza Shore A
Convencional	3,40	4:39	7:29	19,20	0,99	47,67±0,47
Eficiente	2,60	5:20	9:07	18,75	0,97	43,33±0,61
Semi-Eficiente	2,15	3:90	6:43	21,51	1,00	50,67±0,82

Tabela 2: Parâmetros reométricos e propriedades físicas dos compostos.

O valor do maior torque mínimo foi observado para o sistema convencional. Sua grandeza está relacionada com a viscosidade do material já que o mesmo é obtido no tempo de pré-cura, o qual não possui ainda a presença de ligações cruzadas, assim o esforço medido é relacionado com a viscosidade da amostra (ABD, 2016). Continuamente, o valor do maior torque máximo foi verificado para o sistema semi-eficiente (SEV). Esse sistema apresenta a maior quantidade de ligações cruzadas e a sua presença está intimamente relacionada com a maior rigidez do material ocasionando a elevação do torque máximo (THULASIMANI et al, 2015) e, conseqüentemente, tal medida não depende do tipo de ligações sulfídicas formadas, apenas de sua quantidade.

Ao se avaliar o tempo de pré-cura (t_{s1}), pode-se observar que para o sistema eficiente (EV) foi notado o maior tempo de pré-cura, fato que pode ser explicado ao se verificar a formulação deste sistema. Por sua vez, este sistema é caracterizado pela baixa

quantidade de enxofre (fator que interfere na velocidade de vulcanização) e também na quantidade de acelerador MBTS utilizado o qual é caracterizado como um acelerador lento e tende a deslocar a curva reométrica, assim aumentando o tempo de cura do material. Em contrapartida, o sistema semi-eficiente apresentou o menor tempo de pré-cura, ao contrário do sistema eficiente, é possível notar em sua formulação uma quantidade considerável de enxofre que resulta em menores tempos de pré-cura.

O tempo ótimo de cura mostrou o menor valor para o sistema semi-eficiente (SEV). Esse fato se deve pela quantidade considerável de acelerador que reagiu e foi misturado ao material de maneira adequada tornando possível a vulcanização do material em um tempo curto. Em contraste, o sistema eficiente (EV) apresentou o maior tempo ótimo de cura, uma vez que tal sistema apresenta a maior quantidade de aceleradores e a menor quantidade de enxofre, logo, esperava-se o menor tempo ótimo de cura. Uma possível explicação para tal acontecimento é a quantidade ínfima de enxofre presente que pode ter retardado a reação (GHOSH et al, 2018), além de que nesta composição foi utilizada em maior quantidade o acelerador MBTS que possui um caráter lento, resultando no retardamento do processo. Por fim, o sistema convencional (CV) apresentou um valor coerente já que o mesmo não possui grandes quantidades de aceleradores em sua composição que resulta em um processo de cura mais longo (YAHYA; AZURA; AHMAD, 2011).

3.2 Dureza

A Figura 1 ilustra os dados obtidos para a dureza de cada material. Desta maneira, nota-se que para a maior dureza obtida foi verificada para o sistema semi-eficiente (SEV) já que o mesmo apresenta a maior densidade de ligações cruzadas e a tal caracterização mecânica é diretamente proporcional a quantidade de *cross-links*. Em contrapartida, pode-se observar que a menor dureza foi obtida para o sistema eficiente (EV) o qual possui a menor densidade de reticulação (LEE et al, 2018) e ainda assim, nota-se que a dureza diminui com o aumento do tempo de cura (BORNSTEIN; PAZUR, 2020).

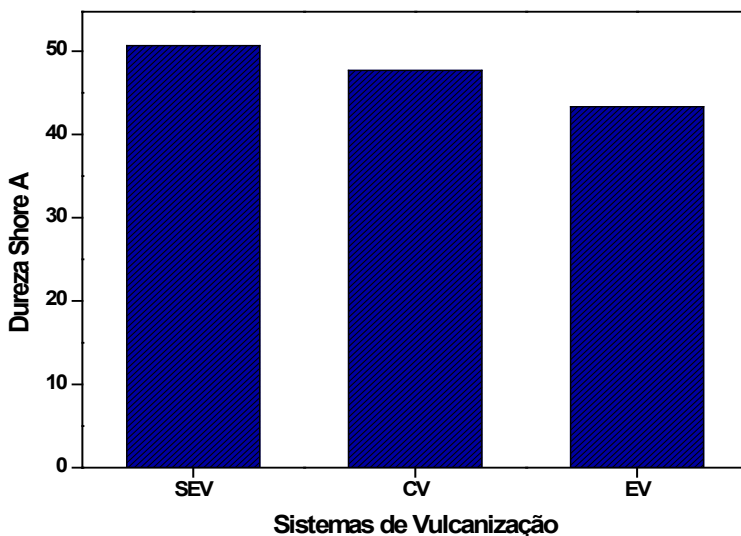


Figura 1: Ensaio de dureza para os três sistemas de vulcanização.

3.3 Densidade de ligações cruzadas

A densidade de ligações cruzadas foi calculada por diversas técnicas e tais resultados estão apresentados na Tabela 3.

3.3.1 Densidade de ligações cruzadas por inchamento

A partir do método de inchamento em solvente orgânico e com o auxílio da Equação de Flory-Rehner, foi possível calcular a densidade de reticulação do material.

Densidade de Ligações Cruzadas (mol cm^{-3}) $\cdot 10^{-4}$							
Sistemas de Vulcanização	Inchamento	Tração			DMA		
		η	C_1	C_2	1 Hz	3 Hz	5 Hz
Convencional	2,28	2,43	0,60204	0,21541	1,88	2,02	1,80
Eficiente	2,02	1,89	0,46826	0,31166	1,89	1,90	1,89
Semi-Eficiente	2,72	2,88	0,69534	0,27325	2,21	2,20	2,02

Tabela 3: Densidade de reticulação por distintas técnicas.

Como esperado, o sistema convencional (CV) apresentou maior quantidade de

ligações cruzadas ao comparado com o eficiente (EV). Isso se deve a característica do sistema, uma vez que o sistema convencional apresenta essencialmente maior proporção de enxofre em sua composição, no qual é um fator que está intimamente relacionado com a densidade de *cross-links* formados (TRAVAS-SEJDIC et al, 1996). Não obstante, a maior densidade de reticulação foi obtida para o sistema semi-eficiente (SEV), uma vez que o mesmo apresenta aceleradores (TMTD) que são doadores de enxofre.

3.3.2 Densidade de ligações cruzadas pelo método de Mooney - Rivlin

O ensaio de resistência à tração forneceu a curva de tensão-deformação do material que permitiu a aplicação da metodologia sugerida para quantificar a densidade de ligações cruzadas com o auxílio da Equação de Mooney-Rivlin (3) conforme ilustra a Figura 2.

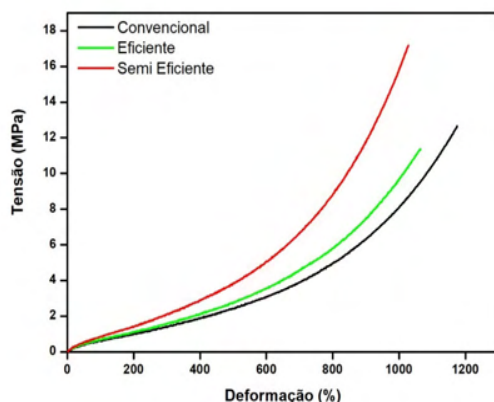


Figura 2: Curvas de Tensão e Deformação para as amostras reticuladas em diferentes sistemas de vulcanização.

Esta Equação se aplica ao estudo do material na região de baixa deformação já que para deformações acima de 2,5 MPa o material apresenta uma resposta distinta devido a presença do fenômeno de cristalização induzida por deformação que resulta em valores elevados de resistência à tração e alongamento na ruptura, fato que está relacionado com a microestrutura do polímero (sua configuração *cis*) (BOKOBZA, 2019). Os dados referentes ao ensaio de resistência à tração estão contidos na Tabela 3. Esta análise baseia-se na utilização dos coeficientes angulares e lineares obtidos após o tratamento da curva de tensão-deformação que estão relacionados com a manifestação física dos pontos de reticulação (C_1) presentes no material e na manifestação dos emaranhamentos de cadeias (C_2) respectivamente (SALEESUNG et al, 2015) conforme ilustrado na Figura 3.

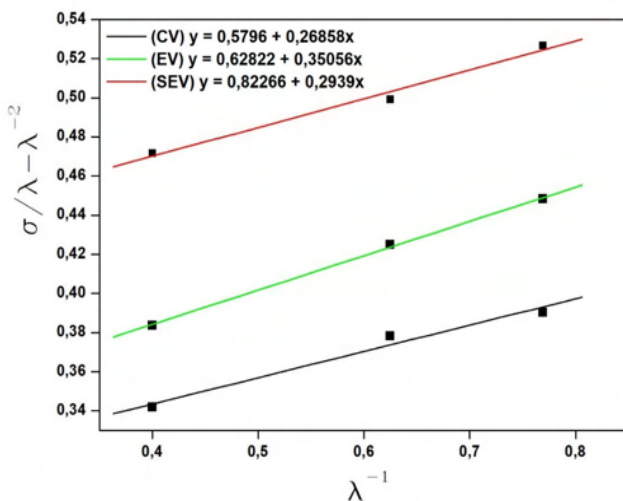


Figura 3: Regressão Linear para curva de tensão-deformação dos três sistemas de vulcanização.

Ao avaliar o sistema convencional (CV), nota-se que tal sistema apresenta a menor manifestação de emaranhamentos (menor valor de C_2 obtido). Tal fato, se deve a quantidade de enxofre presente na composição da amostra, uma vez que com o decaimento na quantidade de enxofre nas demais composições resulta em uma maior quantidade de efeitos das restrições topológicas na cadeia do material. Além disso, para o sistema convencional (CV), tem-se a presença majoritária das ligações polissulfídicas que possuem um tamanho maior, maior flexibilidade, capacidade de reorganização quando submetidas a estresse e a menor força molecular. Do mesmo modo, para os demais sistemas, verificou-se que houve maiores valores de C_2 , já que ambos tendem a formar em maior quantidade ligações di e monossulfídicas, as quais apresentam menor flexibilidade e maior força intermolecular (KINASIH; FATHURROHMAN, 2015). Seguidamente, foi observado o maior valor de C_1 para o sistema semi-eficiente (SEV) e, conseqüentemente, a maior densidade de reticulação e menor densidade de ligações cruzadas para o sistema eficiente (EV) (SCHLÖGL et al, 2014).

3.3.3 Densidade de ligações cruzadas por DMA

A densidade de reticulação obtida por meio da análise dinâmico-mecânica (DMA) foi baseada na teoria da elasticidade da borracha (SOMBATSOMPOP, 1998) da Equação 5. O resultado está contido na Tabela 3 e todos os resultados estão contidos na Figura 4.

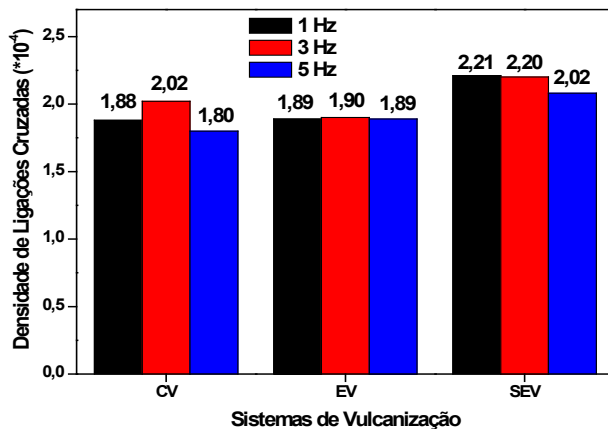


Figura 4: Densidade de reticulação para três frequências.

Os resultados obtidos a partir da Teoria da Elasticidade da Borracha permitiram avaliar a densidade de reticulação dos demais sistemas de vulcanização para frequências distintas. Ao comparar as três frequências foi possível verificar que a melhor resposta foi obtida para 3 Hz, pois em 5 Hz, notou-se que o material já não apresentava uma resposta adequada por não estar em fase, fato que pode estar relacionado com a mobilidade, temperatura e estrutura molecular das amostras (CASSU et al, 2005). Contudo, nota-se que para tais variações de frequência, não houve mudanças significativas já que todas apresentam resultados muito próximos, apenas ligeiramente inferiores. Seguidamente, para cada sistema, foi notado um comportamento distinto. Ao analisar o sistema convencional (CV), notou-se os maiores valores de oscilações frente as variações de frequências. Acredita-se que isso pode estar relacionado com o caráter do sistema, o qual tem predominância de ligações polissulfídicas que não são termicamente estáveis e o processo não é isotérmico. Assim para as oscilações de frequência acredita-se que o material já não estava mais em fase com a sollicitação mecânica o que resultou em maiores variações nos resultados. Do mesmo modo, o sistema semi-eficiente (SEV) apresentou uma oscilação menor frente a mudança de frequência, seguindo o mesmo raciocínio, tal sistema apresenta um intermédio de ligações (presença considerável de ligações do tipo poli, di e monossulfídicas) que resulta em uma maior estabilidade térmica quando comparado ao sistema convencional. Continuamente, o sistema eficiente (EV) apresentou a menor oscilação dentre os três sistemas, já que este por sua vez, tem em sua predominância, ligações do tipo monossulfídicas, que são caracterizadas por uma maior força intermolecular e, assim, uma maior estabilidade térmica. Por fim, ao comparar os três sistemas, nota-se que os maiores valores para a densidade de ligações cruzadas foram

obtidos para o sistema semi-eficiente (SEV), seguidos pelo convencional (CV) e eficiente (EV), mostrando o mesmo comportamento que as demais técnicas citadas anteriormente, apenas com valores ligeiramente inferiores (GEORGE et al, 2000).

CONCLUSÃO

Neste artigo foram apresentados os resultados obtidos a partir de cada análise da amostra de borracha natural vulcanizada para os três sistemas de vulcanização. A partir dos dados reométricos foi possível verificar a cura das amostras; e como esperado, as suas melhoras em relação as propriedades mecânicas. Porém, em contraste com os demais resultados, para o t_{90} do sistema eficiente, houve uma devolutiva inesperada no resultado. Tal fato pode ter ocorrido devido à baixa presença de enxofre na composição do material que possa ter limitado a reação no processamento.

O ensaio de dureza permitiu correlacionar e validar a influência das ligações cruzadas a partir dos resultados, assim corroborando com os resultados obtidos.

O ensaio de inchamento em solvente orgânico permitiu verificar a quantidade de ligações cruzadas de cada corpo de prova, verificando-se a maior densidade de reticulação para o sistema semi-eficiente (SEV), convencional (CV) e eficiente (EV), respectivamente.

A partir dos dados obtidos pelo teste de tração e aplicação da Equação de Mooney-Rivlin, foi possível verificar a quantidade de ligações cruzadas para cada amostra assim como a presença das restrições topológicas de cada sistema de vulcanização.

A análise dinâmico-mecânica permitiu quantificar a quantidade de ligações cruzadas no material para três frequências distintas e, assim, foi possível verificar que para a pequena variação de frequência não houve alterações significativas nos resultados obtidos. Também, apresentou valores menores para as ligações cruzadas, porém o mesmo comportamento que as demais análises realizadas, mesmo o DMA sendo uma técnica que apresenta imprecisão devido ao fato de não levar em consideração efeitos de restrições topológicas no material.

REFERÊNCIAS

ABD, Abeer Adnan. **Study the Effect of Mica as Filler in Natural Rubber properties.** Journal of University of Babylon, v. 24, n. 3, p. 773-781, 2016.

ABHITHA, K.; THOMAS, K. **Safe vulcanization system for heat resistant natural rubber products for engineering applications.** American Journal of Engineering Research, v. 3, p. 13, 2013.

BOKOBZA, Liliane. **Natural rubber nanocomposites: A review.** Nanomaterials, v. 9, n. 1, p. 12, 2019.

BORNSTEIN, D.; PAZUR, R. J. **The sulfur reversion process in natural rubber in terms of crosslink density and crosslink density distribution.** Polymer Testing, p. 106524, 2020.

CASSU, Silvana Navarro et al. **Comportamento dinâmico-mecânico e relaxações em polímeros e blendas poliméricas.** Química nova, 2005.

CHEN, Yukun et al. **Fabrication of high-performance magnetic rubber from NBR and Fe₃O₄ via in situ compatibilization with zinc dimethacrylate.** Industrial & Engineering Chemistry Research, v. 56, n. 1, p. 183-190, 2016.

CHEN, Yukun; XU, Chuanhui; WANG, Yanpeng. **A study on stress-softening of nitrile butadiene rubber reinforced by in situ zinc dimethacrylate.** Journal of Reinforced Plastics and Composites, v. 31, n. 10, p. 705-716, 2012.

DE SOUZA OLIVEIRA, Maria Aparecida et al. **The influence of vulcanization method on mechanical properties and crosslink density of natural rubber.** 2016.

Erman, Burak, and Paul J. Flory. **Relationships between stress, strain, and molecular constitution of polymer networks. Comparison of theory with experiments.** *Macromolecules*, 15, no. 3 (1982): 806-811.

ESPÓSITO, Leandro H.; MARZOCCA, Angel J. **Effect of electron-beam irradiation on the thermal vulcanization of a natural rubber compound.** Journal of Applied Polymer Science, v. 136, n. 13, p. 47216, 2019.

Flory, Paul J., and Burak Erman. **Theory of elasticity of polymer networks. 3.** *Macromolecules* 15, no. 3 (1982): 800-806.

GHORAI, Soumyajit et al. **Tuning of accelerator and curing system in devulcanized green natural rubber compounds.** Polymer Testing, v. 69, p. 133-145, 2018.

GHOSH, Joyeeta et al. **Manifestation of accelerator type and vulcanization system on the properties of silica-reinforced SBR/devulcanize SBR blend vulcanizates.** Advances in Polymer Technology, 2018.

HAGEN, Roger; SALMÉN, Lennart; STENBERG, Bengt. **Effects of the type of crosslink on viscoelastic properties of natural rubber.** Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics, v. 34, n. 12, p. 1997-2006, 1996.

HOWSE, Samantha et al. **Experimental determination of the quantity and distribution of chemical crosslinks in unaged and aged natural rubber, part 1: Peroxide vulcanization.** Polymer Testing, v. 70, p. 263-274, 2018.

HOWSE, Samantha et al. **Experimental determination of the quantity and distribution of chemical crosslinks in unaged and aged natural rubber, part ii: a sulfur donor system.** Rubber Chemistry and Technology, 2019.

James, H. M., & Guth, E. (1947). **Theory of the increase in rigidity of rubber during cure.** The Journal of Chemical Physics, 15(9), 669-683.

JOSEPH, Anu Mary et al. **Current status of sulphur vulcanization and devulcanization chemistry: Process of vulcanization.** Rubber Science, v. 28, n. 1, p. 82-119, 2015.

KINASIH, Norma Arisanti; FATHURROHMAN, Mohamad Irfan. **Effect of curing systems on mechanical properties and n-pentane resistance of carbon black filled natural rubber vulcanizates.** Manuscript submitted for publication, 2015.

LEE, Yong Hwan et al. **Effect of ZnO particle sizes on thermal aging behavior of natural rubber vulcanizates.** Polymer Degradation and Stability, v. 148, p. 50-55, 2018.

- MOK, K. L.; ENG, A. H. **Characterisation of Crosslinks in Vulcanised Rubbers: From Simple to Advanced Techniques**. MALAYSIAN JOURNAL OF CHEMISTRY (MJChem), v. 20, n. 1, p. 118-127, 2018
- MOUSTAFA, A. B. et al. **Effect of gamma irradiation on the properties of natural rubber/styrene butadiene rubber blends**. Arabian Journal of Chemistry, v. 9, p. S124-S129, 2016.
- NÖCHEL, Ulrich et al. **Nanostructural changes in crystallizable controlling units determine the temperature-memory of polymers**. Journal of Materials Chemistry A, v. 3, n. 16, p. 8284-8293, 2015.
- NORMA, ASTM D 2240. **Test Method for Rubber Property – Durometer Hardness**. ASTM American Society for Testing and Materials, 2010.
- NORMA, ASTM D 412 - **Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers – Tension**. ASTM American Society for Testing and Materials; 2013.
- RAUE, Markus et al. **Investigation of historical hard rubber ornaments of Charles Goodyear**. Macromolecular Chemistry and Physics, v. 215, n. 3, p. 245-254, 2014.
- SALEESUNG, Thanisararat et al. **Correlation of crosslink densities using solid state NMR and conventional techniques in peroxide-crosslinked EPDM rubber**. Polymer, v. 56, p. 309-317, 2015.
- SALEESUNG, Thanisararat et al. **Correlation of crosslink densities using solid state NMR and conventional techniques in peroxide-crosslinked EPDM rubber**. Polymer, v. 56, p. 309-317, 2015.
- SANTOS, Renivaldo José dos et al. **Sugarcane bagasse ash: new filler to natural rubber composite**. Polímeros, v. 24, n. 6, p. 646-653, 2014.
- SCHLÖGL, Sandra et al. **Entanglement effects in elastomers: macroscopic vs microscopic properties**. Macromolecules, v. 47, n. 9, p. 2759-2773, 2014.
- SOMBATSOMPOP, N. **Practical Use of the Mooney–Rivlin Equation for Determination of Degree of Crosslinking of Swollen NR Vulcanisates**. J. Sci. Soc. Thailand, v. 24, n. 3, p. 199-204, 1998.
- SON, Chae Eun; CHOI, Sung-Seen. **Analytical Techniques for Measurement of Crosslink Densities of Rubber Vulcanizates**. Elastomers and composites, v. 54, n. 3, p. 209-219, 2019.
- THULASIMANI, Chellon et al. **Fabrication and characterization of natural rubber/Imperata cylindrica cellulose fiber biocomposites**. Asia-Pacific Journal of Cemical Engineering, v. 10, n. 5, p. 716-723, 2015.
- TRAVAS-SEJDIC, J. et al. **Characterization of the natural rubber vulcanizates obtained by different accelerators**. European polymer journal, v. 32, n. 12, p. 1395-1401, 1996.
- U. Eisele (Ed.), **An introduction to polymer physics**, Springer-Verlag, Berlim (1990)
- Wall, F. T., & Flory, P. J. (1951). **Statistical thermodynamics of rubber elasticity**. The Journal of Chemical Physics, 19(12), 1435-1439.
- WANG, Qingguo et al. **Irradiation vulcanized styrene-butadiene rubber/nanoscale silica composites**. Journal of Polymer Research, v. 23, n. 1, p. 11, 2016.
- YAHYA, YS Rohana; AZURA, A. R.; AHMAD, Z. **Effect of curing systems on thermal degradation behaviour of natural rubber (SMR CV 60)**. Journal of Physical Science, v. 22, n. 2, p. 1-14, 2011.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Automação 2, 6, 43, 233, 241, 242

B

Barra de leds 3, 42, 43, 44, 51, 52, 55, 58

Borracha natural vulcanizada 60, 61, 70

Braço robótico 6, 203, 204, 207, 209, 210, 211

C

Capacidade de suporte 112, 113, 118

Cerrado 125, 128, 136

Circuito integrado 42, 45

Classificação geomecânica 14, 19, 27, 28

Coagulantes 180, 181, 186, 187

Coarctação da aorta 141, 142, 143, 144, 145, 148, 153

Compostos de borracha 60

Construccionismo 155, 157

Controle adaptativo 3, 30, 31

Crecimiento en pinos, biomasa 90

Cromatografia 2, 125, 130, 131

Curtume 180, 181, 183

D

Degradação 18, 61, 179, 180, 184

Densidade de ligações 3, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69

Drenagem 5, 102, 104, 105, 107, 110, 168, 172, 173, 174, 176, 178, 179

E

Educación en ingeniería 155

Elementos terras 5, 137, 140, 212, 213

Escavações subterrâneas 14, 15

Estabilidade 15, 18, 60, 61, 69, 134, 168

Estilos de aprendizaje 2, 155, 156, 157, 158, 160, 162, 166, 167

Extração líquido 5, 137, 138, 140, 213

G

Geotêxtil 5, 168, 177, 178, 179

Guanandi 125, 135, 136

H

Hidráulica 6, 16, 102, 103, 112, 130, 233, 235, 240, 241

Hidrología 179

I

Identificação de sistemas 2, 30

Impressão 3D 2, 141, 142

Incremento corriente anual 90, 92, 97

Incremento medio anual 90, 92, 97

Investigações de campo 15

L

Laboratório 14, 15, 22, 130, 187, 233, 234, 235, 236

Laboratório virtual 233

Landi 125

M

Maciço fraturado 14

Manejo forestal 1, 8, 10, 11, 100

Martelo vibratório 4, 112, 116

Melhoramento de solo 2, 4, 112

Métodos numéricos 2, 14, 24, 155, 156, 161, 163, 165, 166

México 4, 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 90, 91, 98, 99, 100, 101, 155

Microcontrolador 3, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 51, 53, 57, 58, 204, 206, 207

Microestrutura 60, 61, 67

Modelagem computacional 14

Mooney-rilvin 60, 62

P

Pilhas de estéril 168

Plantaciones forestales 3, 90, 91, 100

Pneumática 6, 233, 235, 236, 240, 241

Propriedades macroscópicas 60

R

Reconhecimento de padrões 2, 6, 203, 204

Recursos forestais 1, 2, 4, 5, 6, 7, 10, 12

Rede neural artificial 203, 204, 206, 207

Robótica 30, 210

S

Sinal eletromiográfico 203, 204, 206

Standard penetration test 112, 113

Stents bioabsorvíveis 142, 147, 151, 154

T

Tomografia computadorizada 141, 142, 148, 153

Transdutor de temperatura 42, 43, 46

Túnel rodoviário 14

W


Webquest 5, 155, 163, 167



Gears of the future

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 


[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Gears of the future

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 