

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

DAIANE CRISTINA ROGESKI
MAIARA LUIZA DA COSTA SOUZA
THAÍS CRISTINA DE SOUZA

CORRELAÇÃO ENTRE ABRASÃO E ALONGAMENTO DE
BORRACHA COMPOSTA DE SBR UTILIZADO EM CORREIAS
TRANSPORTADORAS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2021

DAIANE CRISTINA ROGESKI
MAIARA LUIZA DA COSTA SOUZA
THAÍS CRISTINA DE SOUZA

**CORRELAÇÃO ENTRE ABRASÃO E ALONGAMENTO DE
BORRACHA COMPOSTA DE SBR UTILIZADO EM CORREIAS
TRANSPORTADORAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química, do Departamento Acadêmico de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof.^a. Dr.^a Juliana de Paula Martins

PONTA GROSSA

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos.

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



TERMO DE APROVAÇÃO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

**CORRELAÇÃO ENTRE ABRASÃO E ALONGAMENTO DE
BORRACHA COMPOSTA DE SBR UTILIZADO EM CORREIAS
TRANSPORTADORAS**

Por

DAIANE CRISTINA ROGESKI
MAIARA LUIZA DA COSTA SOUZA
THAÍS CRISTINA DE SOUZA

Monografia apresentada às 08 horas 30 min. do dia 03 de dezembro de 2021 como requisito parcial, para conclusão do Curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado APROVADO.

Banca examinadora:

Prof. Heliety Rodrigues Borges Barreto	Membro
Prof. Sandra Mara Kaminski Tramontin	Membro
Prof. Dr. Juliana de Paula Martins	Orientador
Prof. Dr. Juliana de Paula Martins	Professor(a) responsável TCCII

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho só foi possível pelo apoio recebido de diversas fontes, dentre as quais agradecemos abaixo:

Em primeiro lugar a Deus, pelas nossas vidas e pela presença em todos os momentos.

As nossas famílias, que mesmo distantes, não fizeram nada além de nos apoiar e incentivar incondicionalmente, comemorando junto conosco cada vitória conquistada.

A Prof^a. Dr^a. Juliana de Paula Martins pela orientação, paciência e dedicação na elaboração deste trabalho, desde o primeiro momento quando aceitou nos orientar até os ajustes finais do nosso projeto.

Aos nossos amigos e parceiros, por compreender nossas ausências e compartilhar momentos incríveis em qualquer situação.

Somos gratas pela dedicação, compreensão e paciência que todas nós tivemos com relação a todos os detalhes da nossa pesquisa. A amizade que foi construída e fortificada ao longo dos dias será lembrada sempre, pelas palavras de estímulo, pelos momentos terapêuticos e de descontração, que nos ajudaram a concluir essa etapa.

Por fim, somos gratas a todos que de certa forma contribuíram para que este trabalho fosse realizado, direta ou indiretamente.

RESUMO

ROGESKI, Daiane Cristina; SOUZA, Maiara Luiza da Costa; SOUZA, Thais Cristina. **CORRELAÇÃO ENTRE ABRASÃO E ALONGAMENTO DE BORRACHA COMPOSTA DE SBR UTILIZADO EM CORREIAS TRANSPORTADORAS**. 39 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2021.

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo estudar e analisar correlações entre os parâmetros físicos do composto de borracha W, muito utilizado na produção da cobertura superior e inferior de correias transportadoras. Deseja-se encontrar uma correlação entre abrasão e alongamento, devido ao fato de o desgaste abrasivo ser um desafio em campo enfrentado pelas correias. Além disso, estabelecer uma relação entre a abrasão e algum outro parâmetro facilitará a prevenção e diagnóstico de possíveis perdas que possam ocorrer. A pesquisa de natureza exploratória realizou testes mecânicos em amostras da borracha utilizada para a produção de correia e, a partir dos resultados, verificar uma correlação entre abrasão e alongamento. Os resultados dos testes permitiram concluir que o envelhecimento levou à perda de propriedades mecânicas das amostras de borracha, sendo possível concluir apenas que ambas as propriedades (abrasão e alongamento) sofrem influência com o tempo e temperatura. Para que se possa determinar uma correlação entre elas e mostrar que são inversamente proporcionais, seriam necessárias uma maior quantidade de amostras e um maior tempo no teste de envelhecimento.

Palavras-chave: Borracha. Ensaio Mecânico. Correia Transportadora. Abrasão. Elasticidade.

ABSTRACT

ROGESKI, Daiane Cristina; SOUZA, Maiara Luiza da Costa; SOUZA, Thais Cristina. **CORRELATION BETWEEN ABRASION AND ELONGATION OF SBR COMPOUND RUBER USED IN CONVEYOR BELTS.** 39f. Course Conclusion Work (Graduate) - Chemical Engineering. Federal Technological University of Paraná. Ponta Grossa, 2021.

This course conclusion work aims to study and analyze correlations between the physical parameters of the rubber compound W, widely used in the production of upper and lower coverage of conveyor belts. The aim is to find a correlation between abrasion and elongation, due to the fact that abrasive wear is a field challenge faced by belts. Furthermore, establishing a relationship between abrasion and some other parameter will facilitate the prevention and diagnosis of possible losses that may occur. The exploratory research carried out mechanical tests on rubber samples used for the production of belts and, from the results, verified a correlation between abrasion and elongation. The test results allowed us to conclude that the aging led to the loss of mechanical properties of the rubber samples, being possible to conclude only that both properties (abrasion and elongation) result with time and temperature. In order to determine a score between them and show that they are inversely proportional, you need a large amount of samples and a longer time in the aging test. The test results allowed us to conclude that the aging led to the loss of mechanical properties of the rubber samples, being possible to conclude only that both properties (abrasion and elongation) result with time and temperature. In order to determine a correlation between them and show that they are inversely proportional, it would be necessary a large amount of samples and a longer time in the aging test.

Key Words: Rubber. Mechanical Tests. Conveyor belt. Abrasion. Elongation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Correia transportadora na unidade de UBU em Anchieta, Espírito Santo	12
Figura 2: Esquema de uma correia transportadora	13
Figura 3: Esquema de uma correia transportadora de cabo de aço	14
Figura 4: Monômero de borracha natural	16
Figura 5: Equipamento utilizado para os testes de tração	24
Figura 6: Esquema de corpos de prova para os testes de tração	24
Figura 7: Estufa de secagem semelhante a utilizada para os testes de envelhecimento	26
Figura 8: Equipamento utilizado nos testes de abrasão (abrasímetro)	27

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação da borracha em polaridade e grau de saturação	18
Quadro 2: Elementos de formulação da borracha	20
Quadro 3: Propriedades dos elastômeros	21
Quadro 4: Resultado dos testes de tensão, alongamento e abrasão	31
Quadro 5: Média dos resultados dos testes de tensão de ruptura, alongamento e abrasão	32

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Média dos resultados dos testes de tensão de ruptura, alongamento e abrasão	33
--	----

LISTA DE SIGLAS

CEMA	Conveyor Equipment Manufacturers Association
DIN	Deutsches Institut für Normung
ISO	International Organization for Standardization
NR	Borracha Natural
SBR	Styrene Butadiene Rubber

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 OBJETIVO GERAL	10
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
1.3 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 CORREIA TRANSPORTADORA	12
2.2 BORRACHA	15
2.3 BORRACHA NATURAL E BORRACHA SINTÉTICA	19
2.4 COMPONENTES DA BORRACHA	19
2.5 VULCANIZAÇÃO	21
2.6 ENSAIOS MECÂNICOS	22
2.6.1 Ensaio de Tração	23
2.6.2 Ensaio de Envelhecimento	25
2.6.3 Ensaio de Abrasão	26
2.6.3.1 Desgaste abrasivo	27
3 METODOLOGIA	29
4 RESULTADOS	31
5 CONCLUSÃO	34
REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

Um fator de grande importância nos processos produtivos industriais é o transporte interno de produtos e matérias primas, entre os meios utilizados têm-se as correias transportadoras, que por sua versatilidade encontram-se em inúmeros setores, realizando o transporte de vários tipos de materiais, como minérios de ferro, carvão e outros produtos a granel.

Correias transportadoras podem ser utilizadas em diferentes condições ambientais, ampliando ainda mais sua aplicabilidade. Além disto, quando comparadas a outros tipos de transporte destacam-se por eficiência e durabilidade e baixo custo de manutenção. (MAZURKIEWICZ, 2008).

No Brasil, a indústria mineradora está muito presente na economia, visto que, por sua vastidão, o país possui abundantes reservas naturais de minérios, com aplicabilidade em diversos setores industriais.

As correias transportadoras podem ser confeccionadas de múltiplos materiais a depender de qual produto será transportado, entretanto, é comum que o revestimento delas seja feito principalmente de borracha.

Durante o uso em campo é comum ocorrer desgaste da borracha de cobertura superior, efeito acelerado pelo transporte de minérios de ferro, material que possui superfície abrasiva.

Para entender os efeitos que a superfície superior da correia pode sofrer em campo e os desgastes que podem ocorrer afetando sua performance e durabilidade é muito importante a realização de testes em laboratório simulando possíveis esforços que a correia pode sofrer.

O desgaste abrasivo é um grande desafio em campo, pois é um dos principais danos causados às correias e o ensaio que verifica esse desgaste é destrutivo, não sendo possível realizá-lo *in loco*.

A escassez de estudos e análises sobre desgaste abrasivo em borracha que relaciona os parâmetros de abrasão e alongamento para assim diagnosticar preventivamente os danos causados em correias transportadoras incentiva ao estudo desse trabalho, o qual foi realizado no Laboratório de uma indústria produtora de correias transportadoras, localizada no Paraná.

Neste sentido, aventa-se a seguinte problemática:

Existe uma correlação entre os parâmetros: abrasão e alongamento em relação ao desgaste abrasivo nas correias?

1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a correlação entre os parâmetros: abrasão e alongamento em relação ao desgaste abrasivo na borracha de revestimento superior das correias.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estabelecer uma metodologia de análises em laboratório da amostra de borracha mais utilizada em correias;
- Realizar testes de abrasão e alongamento das diferentes amostras;
- Estabelecer uma correlação entre os parâmetros mencionados: abrasão e alongamento;
- Comparar os resultados das diferentes amostras.

1.3 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO

Dentre as suas diversas aplicações na indústria, a borracha é utilizada na confecção de correias transportadoras, em meio as destinações delas está o transporte interno de minério de ferro em grandes mineradoras. Esse material por sua vez causa grande desgaste na superfície das correias, resultado da irregularidade e abrasividade do minério transportado.

No Brasil existem poucas pesquisas e estudos sobre o revestimento de borracha utilizada em correias transportadoras e suas aplicações. Devido a isso se faz necessário uma pesquisa que avalie uma possível relação entre parâmetros como

a abrasão e o alongamento obtidos a partir de testes realizados em amostras de borracha para assim detectar efeitos abrasivos sofridos por correias em campo.

Essa pesquisa está alinhada com os propósitos do curso de Engenharia Química e com a linha de pesquisa da professora orientadora, devido ao fato da borracha ser um material polimérico.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente tópico destina-se a esclarecer o tema proposto por este trabalho com auxílio de autores que trataram de assuntos similares, ou tangentes ao presente projeto.

2.1 CORREIA TRANSPORTADORA

O uso de correias transportadoras não é recente, originalmente, feitas de camadas ou dobras de lonas intercaladas de borracha natural, os primeiros relatos da utilização dessas esteiras datam de 1868 em celeiros no Reino Unido. Entretanto, a disposição do maquinário causava desgaste e reduzia a vida útil dela. Com o encarecimento da borracha passou-se a usar esteiras de tecido, normalmente, algodão. As principais desvantagens dessas correias eram a alta absorção de umidade, facilidade de incineração e rasgos. A primeira esteira de configuração mais parecida com a moderna foi relatada em 1891 em uma mina de ferro nos Estados Unidos (YARDLEY, STACE, 2008).

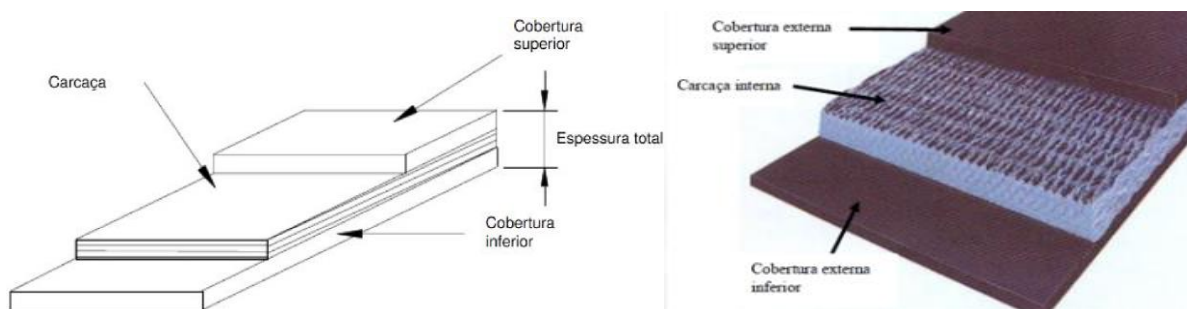
Figura 1: Correia transportadora na unidade de UBU em Anchieta, Espírito Santo.



Fonte: Reyle Correias, 2017.

A correia transportadora é composta basicamente por: cobertura superior, inferior e a sua estrutura como mostrado na figura 2. Segundo Ferreira (2015), o principal componente de uma correia é sua carcaça e cabe à cobertura superior e inferior proteger a carcaça de danos como abrasão, altas temperaturas, impacto, que podem acontecer devido ao transporte de materiais, sendo a borracha vulcanizada a matéria prima da cobertura superior e inferior.

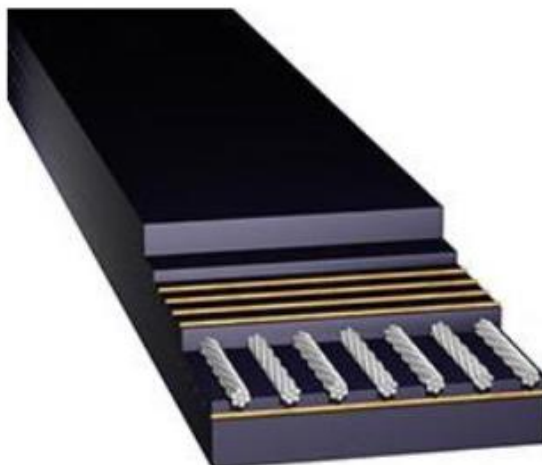
Figura 2: Esquema de uma correia transportadora.



Fonte: FERREIRA, 2015.

A carcaça interna da correia pode ser de dois tipos de material, aço ou lonas, dependendo dos requisitos de tensão do transportador, ela é responsável pela sustentação, além disso, deve ser reforçada o suficiente para suportar altas tensões causadas pela saída e movimento dos produtos, apresentar estabilidade para manter seu posicionamento durante todo percurso e para absorção do impacto causado pelo material que será transportado, sem que haja rompimento. (SWINDERMAN ET AL, 2009) A figura 3 esquematiza a composição básica de uma correia de cabos de aço.

Figura 3: Esquema de uma correia transportadora de cabo de aço.



Fonte: BALIEIRO, 2019.

As carcaças de lonas são mais comuns e economicamente mais viáveis, já a carcaça de cabo de aço é mais utilizada em transportadores de longa distância e que exigem alta capacidade por serem mais resistentes às altas tensões. Usualmente, segundo Swinderman ET al. (2009), a lona de sustentação é composta de tecido com fibras de dois ou mais materiais, em geral, náilon poliéster ou aramida, dispostos em trama, perpendicularmente, entre si. Esse tecido também pode ser banhado em resina que reforçará a ligação entre as fibras. Por ser composta de mais de uma camada de tecido, a carcaça precisará também de um material de aderência entre as camadas. Para isso pode ser usada uma borracha com propriedades aderentes como emenda. (MCGUIRE, 2009.) Em relação a este processo Carnizello (2011) destaca que existem dois tipos: a mecânica, que é mais acessível economicamente, porém sua aplicação se restringe apenas às correias de lona e, por ser áspera, acaba causando danos aos roletes, e limpadores. O outro tipo é a vulcanizada que é mais resistente que a emenda mecânica proporcionando um maior ciclo de vida, entretanto possui um alto valor de investimento.

A cobertura superior e inferior das esteiras são de borracha e possuem diferentes espessuras, pois enquanto a cobertura superior sofrerá maior abrasão por estar em contato direto com o produto, a inferior deverá suportar desgaste mecânico e fricção. (Swinderman ET al. 2009). A utilização de borracha para a produção de correias transportadoras aumentou a vida útil da correia, melhorando sua capacidade operacional. Atualmente a cobertura superior e inferior das correias é produzida a

partir de compostos de borracha natural (NR), estireno-butadieno (SBR), polímero a base de etileno-propileno (EPDM), entre outros compostos que vêm sendo pesquisados aumentando assim a lista de aplicação. (CEMA, 2014). A utilização de cada tipo de borracha depende do tipo de material a ser transportado. Para selecionar o tipo de correia a ser usado deve-se levar em consideração fatores relacionados ao produto como a abrasividade, densidade, temperatura, granulometria e fatores que se relacionam a própria correia como, sua largura, tamanho do rolete, velocidade e a capacidade e tensão do transportador. (CARNIZELLO, 2011).

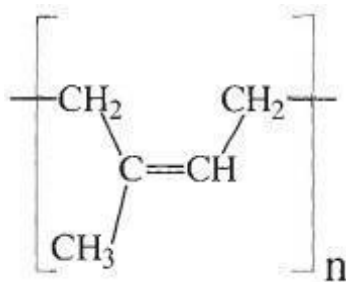
2.2 BORRACHA

A borracha é considerada um elastômero devido a sua capacidade de se deformar e voltar ao seu estado inicial após a retirada do esforço que está sendo aplicado (CANEVAROLO, 2002), podendo ser classificada como natural ou sintética.

Borrachas naturais são aquelas provindas da natureza, como é o caso do poli-cis-isopreno (NR), originado propriamente do látex da seringueira, e se apresenta, em um primeiro momento, como uma emulsão de borracha e água; em contrapartida, as sintéticas (SBR) são resultados de processos que utilizam como matéria-prima monômeros provindos das indústrias petroquímicas e álcoolquímicas, para a produção do látex (TAGLIARI, 2012).

Na figura 4, tem-se a estrutura da borracha natural (polímero de isopreno – C₅H₈):

Figura 4: Monômero de borracha natural.



Fonte: CANEVAROLO, 2002.

A borracha pura possui características que não são desejáveis para o produto. Haja vista que, é difícil de trabalhá-la no estado sólido e há certas dificuldades com a temperatura: quando submetida ao calor, o material derrete e fica pegajoso e em temperaturas mais baixas, torna-se rígido e duro, até certo ponto onde ficam inflexíveis (SHREVE, 2012; COSTA, 2003).

Dessa forma, a borracha passou a ser mais utilizada após a descoberta de um processo chamado vulcanização, onde ele confere elasticidade, durabilidade e deixa o material menos pegajoso (CANEVAROLO, 2002). Esse processo foi patenteado em 1844, por Charles Goodyear na França, porém no mesmo ano Thomas Hancock entrou com um pedido semelhante de patente na Inglaterra, existindo controvérsias até os dias atuais sobre quem foi o real inventor da vulcanização (NUNES, LOPES, 2014).

Atualmente, são produzidos os mais variados produtos, com diferentes categorias de borracha, em aplicações como: luvas descartáveis, pneus, solas de sapatos, entre outros. Além dos usos específicos, como na elaboração de pisos e revestimentos, materiais das áreas médicas e espaciais (TAGLIARI, 2012). Contudo, existem alguns produtos que devem utilizar apenas borracha natural em sua composição, visto que o uso de borrachas sintéticas diminui ou altera suas propriedades, como é o caso dos pneus de ônibus, caminhões e aviões (RIPPEL; BRAGANÇA, 2009).

Segundo a Norma (ISO 1382, 2008) – Rubber Vocabulary tem-se que:

- Polímero - Substância composta por moléculas caracterizadas pela repetição múltipla de uma ou de várias espécies de átomos ou de grupos de átomos ligados entre si, em quantidade suficiente para conferir um conjunto de

propriedades que não variam de uma forma marcada por adição ou remoção de uma ou de algumas unidades constitutivas;

- Elastômero - Material macromolecular que recupera rapidamente a sua forma e dimensões iniciais, após cessar a aplicação de uma tensão;
- Borracha - Elastômero que já está ou pode ser modificado para um estado no qual é essencialmente insolúvel, se bem que susceptível de aumentar de volume num solvente em ebulição, tal como benzeno, metiletilcetona e etanol-tolueno azeotrópico, e que, no seu estado modificado, não pode ser reprocessado para uma forma permanente por aplicação de calor e pressão moderada.

De acordo com a norma DIN 53501, onde a classificação é com base no produto e tipo de processamento, temos que:

- Elastômeros – os elastômeros são materiais poliméricos reticulados (vulcanizados) até sua temperatura de decomposição, são duros como vidro no caso de temperaturas abaixo de -50°C , e não somente apresentam fluxo viscoso no caso de altas temperaturas (de acordo com sua composição, entre 100 e 250°C), mas também se comportam elasticamente como borracha até sua temperatura de decomposição, especialmente temperaturas ambientes.
- Borracha – as borrachas são polímeros não reticulados, mas reticuláveis (vulcanizáveis) e que são elásticos a temperatura ambiente e, dentro de certos limites, em gamas adjacentes de temperatura. Em temperaturas elevadas e/ou sob a influência de forças de deformação, a borracha mostra, de modo crescente, um fluxo viscoso que a torna capaz, sob condições adequadas, de sofrer processos de modelação. A borracha é o material de partida para a manufatura de elastômeros. (GIMENEZ, 2010)

Com os conceitos de borracha e elastômero já definidos pode-se aprofundar um pouco mais sobre classificação e composição dos vários tipos de elastômeros que podem ser utilizados na confecção das correias.

A classificação dos mais diversos tipos de borracha pode ser realizada segundo a DIN/ISO 1629. No quadro 1 a seguir tem-se a classificação de alguns tipos de borrachas com informações de polaridade e grau de saturação.

Quadro 1: Classificação da borracha em polaridade e grau de saturação.

ABREVIACÃO	DEFINIÇÃO	POLARIDADE	GRAU DE SATURAÇÃO
BR	Borrachas de butadieno	Não polar	Insaturada
CR	Borrachas de Cloropreno	Polar	Insaturada
IIR	Borrachas de isobutileno isopreno	Não Polar	Fracamente saturada
IR	Borrachas de isopreno (sintéticas)	Não Polar	Insaturada
NBR	Borrachas de acrilonitrilo butadieno	Polar	Insaturada
NR	Borracha de isopreno (borracha natural)	Não Polar	Insaturada
SBR	Borrachas de butadieno estireno	Não Polar	Insaturada
ACM	Copolímero de acrilato de etila ou outros acrilatos com uma pequena quantidade de um monómero que facilita a vulcanização	Polar	Saturada
EPDM	Terpolímeros de etileno, propileno e um dieno com a porção insaturada residual do dieno na cadeia lateral	Não Polar	Saturada
EPM	Copolímeros de etileno e Propileno	Não Polar	Saturada
FPM	Borrachas com flúor, grupos de flúor alquilo ou fluoralcóxi na cadeia principal do polímero (também FKM)	Polar	Saturada
AU	Borrachas de poliéster Uretano	Polar	Saturada
EU	Borrachas de poli éter uretano	Polar	Saturada

Fonte: Autoria Própria, 2019.

Neste trabalho o composto selecionado para estudo é uma borracha sintética SBR, a seguir será abordado um pouco mais sobre o que é borracha natural e sintética e quais suas diferenças.

2.3 BORRACHA NATURAL E BORRACHA SINTÉTICA

A produção de borracha natural tem como matéria prima o látex que é obtido da seringueira (*Hevea brasiliensis*), que em termos de qualidade é a mais conhecida e maior fornecedora de borracha natural.

A borracha natural é um polímero elastomérico muito utilizado na produção de compostos e blendas de fonte natural, e assim aplicados nos mais diversos produtos para o mercado industrial. (MARTIN, 2008)

Já a borracha sintética é produzida a partir do petróleo, é muito utilizada em diversos setores da indústria por ser mais acessível e proporcionar um fornecimento mais seguro, destacando-se o copolímero de butadieno e estireno (SBR), a mais utilizada industrialmente.

2.4 COMPONENTES DA BORRACHA

Para a fabricação da cobertura superior e inferior das correias raramente usa-se borracha natural ou sintética em sua composição pura, mas utiliza-se uma combinação de ingredientes com o objetivo de obter características desejadas e assim desempenhar de forma satisfatória seu papel quando aplicadas nas correias.

Muitas das propriedades desejadas para a borracha só conseguem ser alcançadas a partir da mistura de um ou mais elastômeros e em seguida por alguns outros ingredientes, isso ocorre pelos seguintes motivos: diminuir os custos, melhorar e potencializar as propriedades do elastômero principal e melhorar seu processamento.

Ferreira (2015) ao analisar os principais ingredientes da borracha destaca o seguinte:

- Elastômeros: sintéticos e/ou naturais;
- Cargas: negras e brancas (negro de fumo, sílicas, caulim);
- Agentes de processamento (óleos);
- Ativadores de vulcanização (ex.: ZnO, MgO, Ca (OH)₂);
- Agentes de proteção (antioxidantes, antiozonante, agentes anti fadiga, agente antiluz, desativadores de metais);

- Agentes de vulcanização (enxofre, peróxido);
- Materiais específicos para determinado uso.

A partir desses componentes consegue-se obter a mistura necessária para produção da borracha, sendo que cada um desses elementos fornece características e propriedades específicas desejadas para atender as necessidades da correia.

De acordo com a FLEXLAB (2012) cada borracha traz em sua composição características diversas apresentadas no quadro 2.

Quadro 2: Elementos de formulação da borracha.

Componente	Classificação	Características
Elastômeros	Natural ou sintético	Base da formulação
Cargas	Cargas negras e brancas	Aperfeiçoa a resistência a abrasão, rasgamento e quebra por flexão. E aumentam dureza, rigidez, tensão e força necessária para determinar uma tensão.
Agentes de processamento	Óleos mineral e vegetal	Controlam a dureza, aumentam a fluidez do composto, ajudam na incorporação dos componentes sólidos e diminui o consumo de energia no processo.
Ativadores de vulcanização	Óxidos metálicos, ácidos orgânicos e álcalis	Ativam o processo de vulcanização
Agentes de proteção	Antioxidantes, antiozonantes, agentes de antifadiga, agentes de antiluz e desativadores de metais	Retardam o processo de envelhecimento da borracha, perdas de propriedades físicas e químicas e a perda de utilidade do material.
Agentes de vulcanização	Enxofre, aceleradores e ativadores.	Transformam o composto de borracha de consistência plástica em um composto elástico, aumentando suas propriedades físicas como: tensão de ruptura, elasticidade e resistência a abrasão, quando vulcanizado.
Materiais específicos	Miscelâneos (esponjantes, aromatizantes, pigmentos, secantes e factis)	A adição ou não desses materiais depende das características desejadas para a borracha.

Fonte: CURSO FLEXLAB, 2012.

No quadro 3 pode-se comparar algumas propriedades dos elastômeros NR (borracha natural), BR e SBR que são borrachas sintéticas.

Quadro 3: Propriedades dos elastômeros.

CARACTERÍSTICA	NR	BR	SBR
Densidade específica [g/cm ³]	0,93	0,91	0,94
Temperatura de transição vítrea, Tg [°C]	-70	-110	-50
Temperatura de trabalho [°C]	90	90	110
Temperatura de trabalho [°C]	B/E	BOM	BOM
Resistência ao rasgamento	EXCELENTE	BOM	BOM
Envelhecimento térmico a 100 °C	FRACO	FRACO	FRACO
Resistência à intempérie	FRACO	FRACO	FRACO
Resistência ao ozônio	FRACO	FRACO	FRACO

Fonte: Adaptado de ROCHA, 2003.

Uma grande dificuldade ao realizar a mistura de alguns tipos de elastômeros e outros componentes está no momento da vulcanização, quando se deseja uma vulcanização uniforme de todos os componentes poliméricos, isso se dá pela diferença de solubilidades dos vários outros componentes em relação a borracha. (PASSADOR; PESSAM, 2007)

2.5 VULCANIZAÇÃO

A borracha é um material com propriedades físicas difíceis de serem trabalhadas naturalmente, pois quando exposta a altas temperaturas, possui aspecto pegajoso e quando exposta a baixas temperaturas se torna extremamente dura, por isso o processo de vulcanização é essencial para que a borracha possa ser utilizada nos mais diversos produtos e setores da indústria, processo este criado em 1939 por Goodyear e Hancock.

Alicerçado em parâmetros industriais, visando favorecer um entendimento crítico sobre o processo de vulcanização, Passador e Pessam (2007) trazem a reflexão que pelo processo de vulcanização a borracha é convertida por um processo químico de formação de ligações cruzadas, onde ocorre a união das cadeias moleculares, que anteriormente eram independentes, por meio de ligações químicas

primárias, ocasionando na formação de reticulados, o que provoca o surgimento de uma rede tridimensional no material. Destacam também que toda essa organização em sua estrutura possibilita o aperfeiçoamento e melhorias de propriedades físicas da borracha, melhorando seu comportamento elástico e reduzindo o plástico. Todas essas mudanças em suas características físicas tornam o elastômero insolúvel e com maior resistência a temperaturas elevadas quando comparados a borracha não vulcanizada.

Através do processo de vulcanização muitas características da borracha são melhoradas conforme o tipo de produto a ser produzido. Suas propriedades elásticas, de resistência a abrasão, tensão de ruptura, dureza, alongamento, são aperfeiçoadas até se obter a melhoria de ideal desejada. (CACHADA, 2017)

Para Cunha ET AL. (2011) os aceleradores orgânicos mais usados durante o processo de vulcanização contém enxofre ou nitrogênio. Além disso ele cita que alguns fatores durante o processo de vulcanização são importantes como o tempo e a taxa de cura, comportamento scorch e o grau de cura, propriedades essas que podem ser modificadas de modo positivo ou negativo pela adição de reagentes e componentes que influenciam a taxa de vulcanização.

Para o processo de vulcanização são utilizados alguns tipos de aceleradores como enxofre e nitrogênio, para esta pesquisa foi utilizado o enxofre.

2.6 ENSAIOS MECÂNICOS

As propriedades mecânicas constituem a forma como os materiais respondem às influências mecânicas externas, as propriedades são reveladas pela capacidade de esses materiais desenvolverem deformações reversíveis e irreversíveis, e resistirem à fratura. (MANO, 2000)

Quando uma força é empregada sobre um corpo, ocorre a modificação da forma dele. As modificações, chamadas de deformação, podem ser visíveis a olho nu ou praticamente imperceptíveis. Por exemplo, um corpo de borracha sofrerá uma grande deformação quando for empregada uma determinada força. Todavia, elementos utilizados na construção de prédios são projetados para que haja uma pequena deformação. Quando uma determinada temperatura age sobre o corpo é

possível também que ocorra deformação. Um exemplo clássico é a contração ou expansão térmica ocorrida em trilhos de trem. (HIBBELER, 2010)

Os ensaios mecânicos são de suma importância, pois obtêm-se dados reais que são utilizados para determinar as características dos materiais e com isso analisar se é possível a aplicação no projeto. Para a realização do ensaio mecânico o corpo de prova sofre um dos esforços (tração, compressão, flexão, torção, cisalhamento e pressão interna) determinando a resistência do material a cada tipo de um desses esforços (SOUZA, 1982).

Segundo Caetano, quando a borracha é submetida, na sua temperatura ambiente, a esforços de tração, as suas deformações podem passar da ordem de 1000% até que aconteça a sua ruptura. Entretanto, uma proporcionalidade ou correlação entre tensões e deformações pode ser observada apenas em ordens menores a 20%.

Os principais ensaios em polímeros são de densidade, dureza, resistência à chama, contração pós-moldagem, absorção de umidade, resistência a abrasão, impacto, tração, flexão, rasgamento, compressão.

2.6.1 Ensaio de Tração

Durante o ensaio de tração é aplicado no corpo de prova uma força de tração uniaxial crescente até a sua ruptura (CALLISTER, 2000). Esse ensaio é realizado, comumente, na indústria utilizando-se um corpo de prova com seção circular ou retangular, variando o material utilizado. Ele apresenta alta confiabilidade dos dados coletados, logo é muito empregado em estudos para analisar a uniformidade da manufatura. Outra vantagem deste ensaio é a coleta de dados que irão fornecer as características fundamentais do material, o que possibilita a análise das propriedades mecânicas. (DA ROSA, 2002).

Logo abaixo tem-se a figura 5 do equipamento semelhante ao utilizado nos testes de tração das amostras.

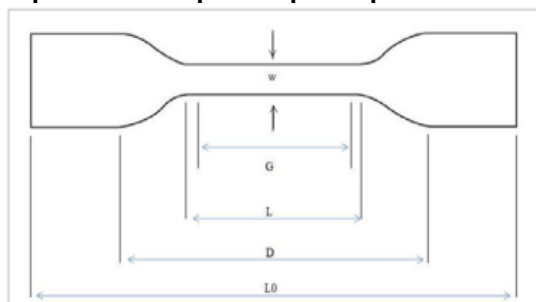
Figura 5: Equipamento utilizado para os testes de tração.



Fonte: DIRECT INDUSTRY, 2021

E na figura 6 tem-se o esquema dos corpos de prova utilizado para realização deste teste.

Figura 6: Esquema de corpos de prova para os testes de tração.



Fonte: USP, 2021.

Para realização deste teste coloca-se as extremidades dos corpos de prova das amostras nas garras do equipamento e, por meio da aplicação de uma força, a amostra alonga-se até o momento em que ocorre o rompimento total.

Quando ocorre a aplicação da força no corpo de prova o material alonga – se, na direção da força, com isso ocorre uma redução da seção transversal do material, abordada pelo efeito de Poisson. Com isso é possível medir a deformação apresentada através da redução da seção transversal. Esta análise é muito empregada quando o material apresenta diâmetro variável ou quando o comprimento do corpo de prova não possibilita o alojamento de um extensômetro convencional. (DA ROSA, 2002)

A norma técnica que regulamenta esse teste é a ASTM D412-16, que descreve os procedimentos usados para fazer a avaliação das propriedades de tração (tensão) de borrachas termofixas vulcanizadas e elastômeros termoplásticos. (ASTM, 2021)

2.6.2 Ensaio de Envelhecimento

A borracha sofre processo de envelhecimento natural com o passar do tempo, e existem situações que aceleram o seu envelhecimento aumentando sua degradação e diminuindo a resistência mecânica do material.

Segundo Souza (2015) o envelhecimento de um material ocorre devido a sua interação com o ambiente ao seu redor, o que pode alterar sua forma estrutural a nível microscópico e macroscópico, como a estrutura molecular e sua composição, ocasionando alterações físicas no material como: mecânicas, térmicas, químicas.

Os testes de envelhecimento são feitos para determinar a estabilidade dos compostos de borracha expostos a diversas situações, e alguns dos testes realizados estão listados a seguir:

- Envelhecimento por ação de oxigênio;
- Envelhecimento por ação do ar;
- Envelhecimento por ação do ozônio;
- Envelhecimento por ação do calor;
- Envelhecimento pela intempérie e luz solar.

O envelhecimento de elastômeros é um processo químico complexo, e está relacionado com a cisão molecular, fenômeno este que resulta em uma estrutura em rede fortemente ligada. Os dois principais processos utilizados são o de oxidação e o de ozonólise. No primeiro, a reação entre radicais livres e o oxigênio molecular é acelerada pela temperatura, levando à cisão de cadeia. Isso faz com que a viscosidade do material analisado decresça, tornando-o mais rígido e fazendo com que microfissuras se formem.

As propriedades físicas e mecânicas do material são alteradas por esse processo, causando mudanças na estrutura ou morfologia. Se faz necessário salientar que o grau de envelhecimento está diretamente relacionado com alguns fatores, como

condições ambientais, geometria do corpo de prova, tipo de polímero utilizado, formulação, dentre outros. (ESCÓCIO et al., 2004).

Esse ensaio tem como base a norma ASTM D573, que determina a influência de temperatura elevada nas propriedades físicas de uma amostra de borracha vulcanizada. O teste realiza-se da seguinte forma: a amostra é exposta a influência deteriorante do ar em temperatura e tempo controlado, e os resultados são observados. Compara-se, então, os valores obtidos no teste com as amostras originais. (ASTM, 2019)

Figura 7: Estufa de secagem semelhante a utilizada para os testes de envelhecimento.



Fonte: RHOMOS, 2021.

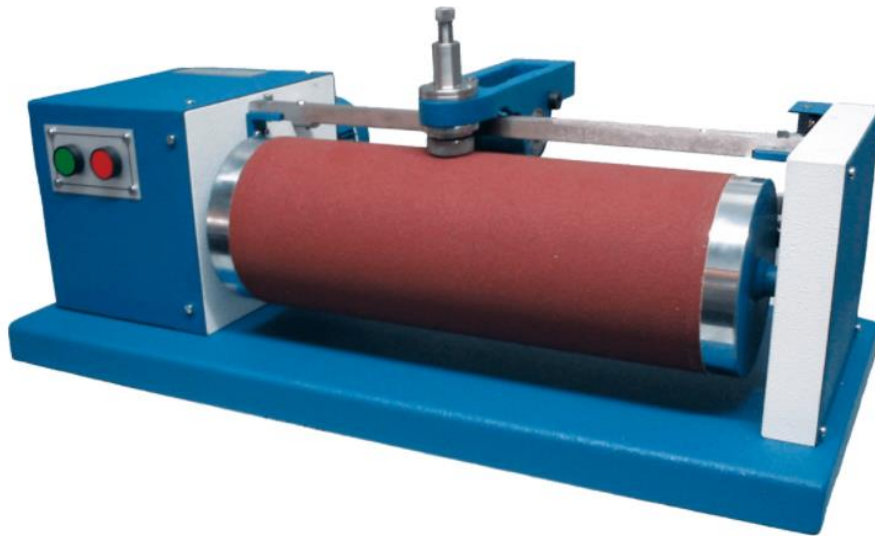
2.6.3 Ensaio de Abrasão

A eficácia de um material em resistir o desgaste por fricção é denominada resistência à abrasão. Frequentemente é medida através de comparação entre os materiais em análise e corpos de prova de elementos que possuem a mesma finalidade.

A ISO 4649 é a normativa utilizada para determinação da resistência à abrasão usando um dispositivo de tambor cilíndrico. Ela determina a perda de volume, devido à ação abrasiva, de um corpo de prova sobre uma folha de lixa que possui granulação específica. (ABNT, 2014)

Na figura 8 tem-se o modelo de abrasímetro semelhante ao utilizado nos testes, coloca-se a amostra no eixo que vai passando por cima da lixa que envolve o cilindro rotativo.

Figura 8: Equipamento utilizado nos testes de abrasão (abrasímetro).



Fonte: MAQTEST, 2021.

Pesa-se a amostra antes e após a realização do teste, e por meio de uma equação chega-se ao valor do desgaste da amostra.

2.6.3.1 Desgaste abrasivo

Segundo Carvalho (2018) o desgaste ocasionado pela abrasão é caracterizado pela remoção de uma superfície. As partículas dos materiais quando entram em contato com a superfície da correia, em razão de suas asperidades, levam à deformação e riscamento dela. Os mecanismos de desgaste são:

- Micro-corte - a perda de material da superfície é ocasionada pois há formação de micro cavacos na frente da partícula. No micro-corte puro a quantidade de material desviado do elemento é igual à quantidade do risco gerado pela partícula abrasiva.
- Micro-sulcamento - ocorre o deslizamento das partículas abrasivas ocasionando a deformação plástica. Este desgaste não obriga a remoção de

material. O material que sofreu a deformação plástica se concentra na frente da partícula e deriva lateralmente.

- Micro-trincamento - acontece a produção e alastramento de trincas na lateral do risco. Grandes porções de material são deslocadas já que o espalhamento das trincas ocasiona a interação entre elas possibilitando a perda de material. O micro-trincamento somente ocorre em situações em que há abrasão frágil.

3 METODOLOGIA

A pesquisa realizou-se em caráter quantitativo no laboratório de uma empresa produtora de correias transportadoras, localizada no Paraná. A metodologia foi fundamentada nos procedimentos de vulcanização e nos testes mecânicos que seguiram as seguintes normas:

- Tensão – ASTM D412-16;
- Abrasão – ISO 4649;
- Teste de envelhecimento – ASTM D573.

E com o material de CEMA (2014), FERREIRA (2015), FLEXLAB (2012) que fornecem conceitos importantes para o estudo.

3.1 PROCEDIMENTOS

Para a realização do estudo e análise do trabalho utilizaram-se amostras de borracha, que são utilizadas na fabricação de cobertura superior e inferior de correias transportadoras. A borracha utilizada é uma mistura composta de SBR, que passou pelo processo de vulcanização, com temperatura e pressão tabelados, em uma prensa elétrica seguindo todo procedimento da máquina e especificações do composto. A partir daí as amostras encontram-se em aptas para serem realizados os testes. Dessa amostra foram obtidos os corpos de prova pelos quais realizaram-se os testes mecânicos.

A partir de uma amostra obtiveram-se 3 corpos de prova sendo que estes foram, em seguida, submetidos aos testes de tração e de abrasão. Essa mesma amostra foi analisada primeiramente na sua forma original, ou seja, o primeiro teste foi realizado sem a amostra passar pelo processo de envelhecimento a uma temperatura de 70°C. Os equipamentos utilizados nos testes foram descritos anteriormente nesse mesmo trabalho.

Os testes foram realizados da seguinte forma:

- 1° Teste (dia 0): a amostra original não passou pelo ensaio de envelhecimento, apenas pelo teste de tração e abrasão.

- 2° Teste (dia 4): a amostra foi para a estufa ficando por 4 dias, onde ocorreu o ensaio de envelhecimento, no 4° dia foi retirada e passou pelos testes de tração e abrasão.
- 3° Teste (dia 7): a amostra foi deixada por 7 dias na estufa, em ensaio de envelhecimento, no 7° dia foi retirada e passou pelos testes de tração e abrasão.

Para a determinação dos valores de perda de volume da abrasão foram utilizados os seguintes dados: massa inicial e final, área e densidade. A partir disso foram os calculados os valores finais de perda de volume em mm³.

Com os resultados de cada um desses testes foram plotados gráficos com o objetivo de analisar e correlacionar algum desses parâmetros.

4 RESULTADOS

Como mencionado anteriormente, o tipo de amostra de borracha utilizada foi SBR, e foram obtidos resultados tanto para a amostra original quanto com envelhecimento térmico, de 4 e 7 dias. Esse tempo de envelhecimento utilizado para a realização dos testes deve-se ao procedimento utilizado pela empresa, onde esse intervalo de tempo seria interessante para realização das análises. No quadro 4 a seguir, encontram-se os valores obtidos nos testes:

Quadro 4: Resultado dos testes de Tensão de Ruptura, Alongamento e Abrasão.

	Original	4 Dias			7 Dias		
		Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Tensão de ruptura (MPa)	20,2	18,2	20,6	21,4	18,6	19,3	19,6
Alongamento (%)	522,46	514,57	520,39	536,62	412,33	463,88	466,42
Abrasão (mm³)	50	67	68	68	67	69	70

Fonte: Autoria própria, 2021.

No quadro 4 pode ser observado, excetuando-se o corpo de prova 1, a diferença de comportamento da tensão quando aplicada ao material exposto ao envelhecimento de 4 e ao envelhecimento de 7 dias. O resultado está de acordo com a literatura e consoante ao resultado do alongamento, além disso pode-se perceber da mesma forma valores menores para a amostra testada no sétimo dia de envelhecimento.

Podemos analisar também os valores obtidos dos três corpos de prova para a abrasão, após o teste de envelhecimento de 4 e 7 dias. Nota-se uma maior perda de volume da amostra à medida que aumentam os dias de análise do teste de envelhecimento, indicando uma diminuição da resistência a abrasão.

No quadro 5 é possível analisar as médias obtidas a partir dos resultados dos testes de tensão de ruptura, alongamento e abrasão após os testes de envelhecimento de 4 e 7 dias das amostras comparando-as com o corpo de prova original. Os valores de delta nos dizem a diferença encontrada entre a amostra original e a amostra com 7 dias de envelhecimento.

Quadro 5: Valores dos resultados originais e das médias de tensão de ruptura, alongamento e abrasão para 4 e 7 dias de envelhecimento.

	Original	4 dias	7 dias	Δ
Tensão de Ruptura (MPa)	20,2	20,07 +/- 1,67	19,17 +/- 0,51	-5,37%
Alongamento (%)	522,46	523,9 +/- 11,43	447,5 +/- 30,52	-14,30%
Abrasão (mm³)	50	68 +/- 0,58	69 +/- 1,53	37,30%

Fonte: Autoria Própria, 2021.

É possível observar que a média da tensão das amostras de 4 dias de envelhecimento foi 0,64% menor do que a amostra original, enquanto a de 7 dias apresentou uma redução de 5,47%. No quadro também há a informação do desvio padrão das amostras que passaram pelo teste de envelhecimento de 4 e 7 dias. Pode-se perceber que o parâmetro do alongamento apresentou maior variabilidade, por exemplo, o valor obtido após envelhecimento de 4 e 7 dias foram respectivamente, 11,43 e 30,52. Já os parâmetros de tensão de ruptura e abrasão apresentaram desvios padrão bem menores, ou seja, resultados mais uniformes. Para as médias da amostra original não foram adicionados valores para o desvio padrão, pois os resultados de maior relevância para análise na empresa eram das amostras que passaram pelo teste de envelhecimento, e, portanto, não tivemos acesso a esses valores.

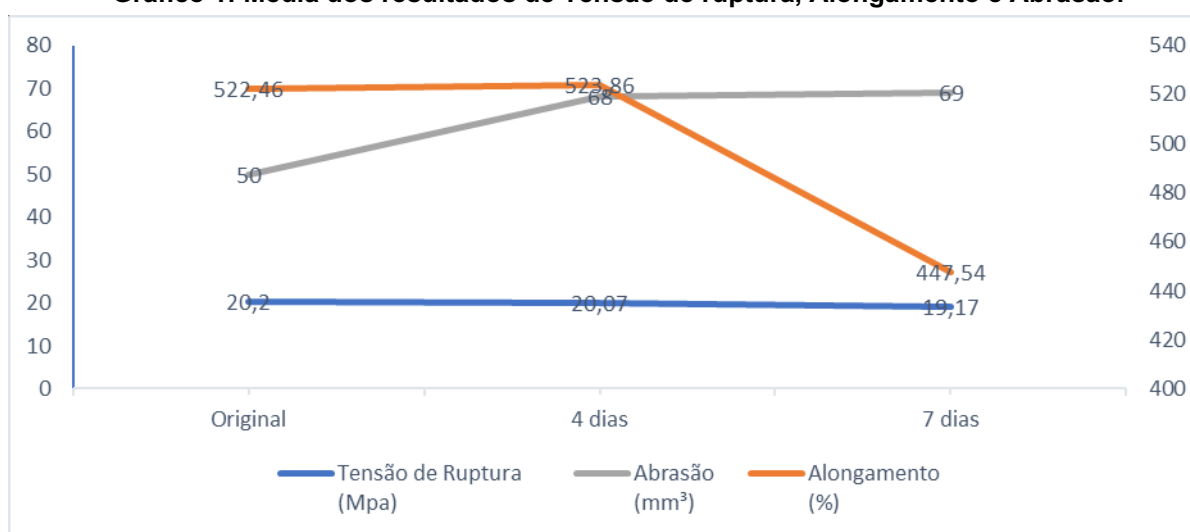
Percebe-se que tensão e alongamento possuem comportamentos semelhantes, salvo a média de ensaios de alongamento no 4º dia que apresentou leve aumento, ambos os testes apresentaram tendência de diminuição com o teste de envelhecimento à medida que a temperatura e o tempo de exposição aumentam. Isso porque com a realização do teste de envelhecimento ocorrem alterações na estrutura, morfologia e na durabilidade dos componentes elastoméricos.

Os ensaios de tração e alongamento se relacionam com a perda de propriedades mecânicas da borracha, refletindo o dano do material após o envelhecimento. A redução dessas propriedades mecânicas pode ser explicada pela ruptura das cadeias químicas. Segundo Torres (2007), todas as ligações químicas constitutivas de um polímero apresentam uma certa energia. Assim sendo, com o processo de envelhecimento, se a energia térmica for maior que a energia da ligação, esta será rompida, ocorrendo a degradação térmica. Isso fará com que o peso

molecular diminua, realizando um processo parecido com a despolimerização, fazendo com que a borracha fique cada vez mais quebradiça (diminuição do alongamento). Caso fosse efetuado também um teste de dureza, seria possível perceber que ela aumentaria.

Como mostra a quadro 5 percebe-se ainda que o alongamento e abrasão são as propriedades mecânicas mais afetadas, já que os deltas encontrados foram de -14,30% e 37,30% respectivamente. E a tensão obteve um delta de -5,37% sofrendo um menor impacto, se comparado com as duas propriedades anteriores

Gráfico 1: Média dos resultados de Tensão de ruptura, Alongamento e Abrasão.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Comparando-se as médias das três propriedades no gráfico 1 pode-se inferir uma pequena variação de tensão de ruptura e o comportamento inverso da abrasão e do alongamento. Enquanto a amostra de 4 dias tem o maior aumento de abrasão em relação a original, o alongamento tem sua maior diminuição nas amostras de 7 dias. O comportamento do alongamento pode ser explicado pela cisão da cadeia elastomérica, que faz com que a viscosidade do material diminua, e por consequência, aumente a sua rigidez. Já o comportamento da abrasão pode ter múltiplas explicações e exigiria mais tempo de envelhecimento e mais amostras para indicar uma possível relação com o alongamento, provavelmente, de proporcionalidade inversa.

5 CONCLUSÃO

Após a realização dos testes e análises dos resultados pode-se perceber que com a exposição da borracha composta de SBR ao teste de envelhecimento sua resistência mecânica diminuiu. Fato este já esperado, desde que as propriedades mecânicas de elastômeros são alteradas pelo processo de envelhecimento, que causa mudanças na estrutura destes materiais, diminuindo sua tensão de ruptura. Essas propriedades também são influenciadas pela duração em que o teste de envelhecimento é aplicado.

A determinação do desgaste abrasivo, tensão e alongamento com teste de envelhecimento simula o impacto do que ocorreria em tempo real, enquanto a correia ainda está sendo utilizada. Esse processo agilizaria as tomadas de decisões em campo, desde que os testes de abrasão e tração são realizados somente em laboratórios por serem destrutivos, fazendo com que houvesse a possibilidade da troca da correia antes do dano completo, o que garante maior confiabilidade na manutenção e evita perdas no volume de produção.

É muito importante ressaltar que as propriedades dos polímeros podem mudar de acordo com os aditivos e o tipo de processo que sofrem, então o comportamento mecânico também é variável de acordo com essas propriedades, não devendo ser válido para todo material de certa classe.

Através do estudo realizado pode-se concluir que existe uma tendência das propriedades de alongamento e abrasão serem inversamente proporcionais. Porém, para que esta hipótese seja comprovada, são necessários testes com um mapeamento maior, ou seja, maior número de amostras.

É possível, também, concluir que ambas as propriedades sofrem impacto com a influência de tempo e temperatura, porém a propriedade mecânica mais afetada pela temperatura foi o alongamento. Este sofreu uma maior influência com o teste de envelhecimento, resultado este previsto pela característica dos elastômeros de se degradarem com a elevação da temperatura. Pode-se observar esses resultados quando o alongamento sofre uma queda brusca, tornando a borracha mais rígida, fazendo com que ela rompa ou esfarele.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Estudo visando correlacionar as propriedades de abrasão e dureza, visto que em campo a verificação da dureza de correias transportadoras é um teste que é possível ser realizado por não ser destrutivo. Além disso a dureza é uma propriedade de resistência onde ocorre a penetração de uma superfície o que ajudaria muito a entender o processo de abrasão, já que o desgaste abrasivo ocorre por meio de microcorte, microsulcamento, microtrincamento.

- Possibilidade de adicionar ao teste de envelhecimento um maior número de temperaturas para análise de degradação, pois isso aumentaria o número de dados para poder realizar comparações e correlações entre amostras. E como foi analisado após a realização do teste de envelhecimento ocorreu diminuição das propriedades mecânicas, seria interessante ter mais uma faixa de temperatura.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D412-16**: Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension. West Conshohocken, United States: Astm International, 2021. 14 p. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/487238408/ASTM-D412-16-Standart-Test-Methods-for-Vulcanized-Rubber-and-Thermoplastic-Elastomers-Tension-pdf>. Acesso em: 24 nov. 2021.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D573-04**: Standard Test Method for Rubber—Deterioration in an Air Oven. West Conshohocken, United States: Astm International, 2019. 6 p. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/433443695/ASTM-D573-Air-oven-pdf>. Acesso em: 24 nov. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ISO 4649**: Borracha, vulcanizada ou termoplástica - Determinação da resistência à abrasão usando um dispositivo de tambor cilíndrico rotativo. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. 27 p. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizador-slim/Viewer.asp?nbr=43563&data=20141121&token=9430a566-561a-495f-984f-aac809155e40&sid=cbqcomtfps0qz44z22sc2ujr&email=daianerogeski@alunos.utfpr.edu.br&offset=1>. Acesso em: 25 nov. 2021.

CAETANO, Mário. **A borracha como material de engenharia**. 2021. Disponível em: <https://www.ctborracha.com/artefactos/a-borracha-como-material-de-engenharia/>. Acesso em: 21 nov. 2021.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. John Wiley & Sons, Inc., 2002

CANEVAROLO JR., Sebastião V.. **Ciência Dos Polímeros: UM TEXTO BÁSICO PARA TECNÓLOGOS E ENGENHEIROS**. 2. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2002. 280 p.

CARVALHO, Arthur Monteiro Barbosa. **Análise da Reutilização de Abrasivo no Ensaio de Desgaste Roda de Borracha**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia. Engenharia Mecânica, 2018.p.68.

CARNIZELLO, D. C. **Transportador de Correia: Componentes e cálculos básicos para seu dimensionamento**. 2011. 64 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA). **Belt Conveyors for Bulk Materials**. 2014.

COSTA, Helson M. da; Visconte, Leila L. Y.; Nunes, Regina C. R.; Furtado, Cristina R. G. **Aspectos históricos da vulcanização Polímeros**: Ciência e Tecnologia, vol. 13, núm. 2, abril-junho, 2003, pp. 125-129 Associação Brasileira de Polímeros São Paulo, Brasil

Curso Flexlab de Tecnologia da Borracha. Material disponível no curso. 2012.

DA ROSA, E., “**Análise de Resistência Mecânica – Mecânica da Fratura e Fadiga**”, Grupo de Análise e Projeto Mecânico, In: Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, Brasil, 2002.

DARIUZ, MAZUKIEWICZ. **Computer-aided maintenance and reliability management systems for conveyor belts. Maintenance and Reliability** Vol.16, No. 3, 2014

DESSAUNE, M. B. **Noções básicas transportadores de correia**. Martin Engineering, 1999

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 53501**: Conceitos gerais de borrachas e elastômeros. 1980.

DIRECT INDUSTRY. Máquina de ensaio universal. Disponível em: <<https://www.directindustry.com/pt/prod/instron/product-18463-1662493.html>> Acesso em: 02 12. 2021.

ESCÓCIO, Viviane A. *et al.* **Efeito do envelhecimento nas propriedades mecânicas e dinâmico-mecânicas de composições de borracha natural com mica**. Polímeros, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 13-16, mar. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-14282004000100008>. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-14282004000100008>. Acesso em: 25 nov. 2021.

FERREIRA, Renata Prata. **Estudo do efeito da força, do módulo de elasticidade e do envelhecimento termomecânico no desgaste abrasivo da borracha de polibutadieno baixo cis** / R. P. Ferreira – versão corr. – São Paulo, 2015. 159 p.

HIBBELER, Russell Charles. **Resistência dos materiais**. 7. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. 637 p.

HOFMANN, W. **Rubber technology handbook**. United States of America. Hanser. 1996.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 1382**: Rubber Vocabulary. 5a edição. 2008.

MAQTEST. Automação e Controle Industrial Ltda. Abrasímetro de elastômeros e polímeros Disponível em: <http://www.maqtest.com.br/abras_borracha.html> Acesso em: 02 12. 2021.

MCGUIRE, Patrick M. **Conveyors: application, selection, and integration**. CRC Press, 2009. Cap 4

MULHEARN, T. O. SAMUELS, L. E. **The abrasion of metals: a model of the process**, Wear 5, 1962, p.478-498.

NUNES, E. D., LOPES, F. S. **Polímeros - conceitos, estrutura molecular, classificação e propriedades**. Érica, 06/2014.

REYLE CORREIAS. **UNIDADE DE UBU EM ANCHIETA ESPÍRITO SANTO DA SAMARCO MINERAÇÃO S.A.** 2017. FOTO: PATRICK GROSNER 05/2007. Disponível em: <https://www.reyle.com.br/wordpress/585/>. Acesso em: 11 dez. 2021.

RHOMOS. **ESTUFA DE SECAGEM - DIGITAL**. 2021. Disponível em: <https://rhomos.com.br/produtos/estufas/laboratorio/estufa-de-secagem-digital-sx1-0ds-21-litros/>. Acesso em: 02 dez. 2021.

RIPPEL, Márcia Maria; BRAGANÇA, Fábio do Carmo. **Borracha natural e nanocompósitos com argila**. *Química Nova*, São Paulo, v. 32, n. 3, p.818-826, 02 abr. 2009.

USP. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. SÃO CARLOS. **Prática no 3 – Ensaio de Tração em Polímeros: Curva tensão-deformação**. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5342546/mod_resource/content/1/Pr%C3%A1tica_03-Characteriza%C3%A7%C3%A3o%20de%20Pol%C3%ADmeros%20por%20Ensaio%20Mec%C3%A2nicos.pdf. Acesso em: 11 dez. 2021.

SOUZA, Lucio Rosa. **Efeitos do envelhecimento em água e óleo lubrificante sobre o comportamento à fluência de material compósito de matriz polimérica reforçada por fibra de vidro, 2015**.

SOUZA, Sérgio. **Ensaio Mecânicos de Materiais Metálicos**. 5ª edição. 1982

SWINDERMAN, R. Todd et al. **Foundations: The Practical Resource for Cleaner, Safer, More Productive Dust & Material Control**. Martin Engineering Company, 2009. Pág. 28-35

TAGLIARI, Cássio. **Estudo da aplicação de microondas no processo de secagem industrial de borracha sintética**. 2012. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sistemas e Processos Industriais, Programa de Pós-graduação em Sistemas e Processos Industriais, Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2012. Cap. 3.

TORRES, Amelia Angélica Ulloa. **Envelhecimento físico químico de tubulações de polietileno de alta densidade empregadas em redes de distribuição de derivados de petróleo**. 2007. 180 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência dos Materiais e

Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - Puc, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/11035/11035_6.PDF. Acesso em: 11 dez. 2021.

YARDLEY, E. D.; STACE, L. R.. **Belt conveying of minerals**. Elsevier, 2008.