

Envelhecimento de correias transportadoras: avaliação das propriedades do composto de borracha da cobertura

Vaccioli, K.B.⁽¹⁾; Lins, P.G.⁽¹⁾; Falqueto, P.A.⁽²⁾; Penagos, J.J.⁽³⁾; Bastos Andrade, C.G.⁽¹⁾; Yee, M.⁽⁴⁾; Wiebeck, H.⁽¹⁾; Toffoli, S.M.⁽¹⁾; Valera, T.S.⁽¹⁾

(1) Escola Politécnica da USP; (2) Vale S.A.; (3) Instituto Tecnológico Vale; (4) UNIFESP
tvalera@usp.br

RESUMO

Em geral, uma correia transportadora possui estrutura interna altamente resistente, reforçada com cabos de aço ou tecidos poliméricos. A estrutura superior e inferior da correia, denominada de cobertura, é constituída por uma espessa camada de composto de borracha, que tem como principal função revestir a carcaça e proteger a correia contra os efeitos da abrasão, impacto, rasgo, calor, umidade, ataque químico ou outras condições adversas resultantes do transporte de material. Neste trabalho, a camada de cobertura de uma correia transportadora reforçada com tecido, e fabricada no Brasil, foi submetida ao ensaio de envelhecimento acelerado em câmara weatherometer, de modo a simular os efeitos das intempéries (exposição à luz solar e à umidade natural) no desempenho do composto de borracha. A norma utilizada para o ensaio foi a ASTM G155. Corpos de prova para os ensaios de resistência à tração, abrasão, dureza e DPC foram submetidos a 2000 horas de exposição. Observou-se que as propriedades nas quais o efeito da degradação foi mais pronunciado foram: a resistência à tração e o alongamento máximo e, principalmente, a resistência à abrasão, cujos valores reduziram em cerca de 47%, em relação ao composto não envelhecido. Portanto, estes resultados podem afetar, significativamente, o tempo de vida de uma correia.

Palavras-chave: Envelhecimento, borracha, correia transportadora.

1. INTRODUÇÃO

Na indústria de mineração, os sistemas transportadores de correias (TC) são amplamente utilizados (áreas de extração, beneficiamento, estocagem e transporte de minérios), pois são equipamentos versáteis e projetados para realizar sua função mesmo em condições adversas. A correia transportadora é o elemento principal de um sistema transportador de correias. Em geral, uma correia transportadora possui uma estrutura interna, designada carcaça, altamente resistente, reforçada com cabos de aço ou tecidos poliméricos (lona), conforme representado nas ilustrações da Figura 1. A estrutura superior e inferior da correia, designada cobertura é geralmente constituída por uma espessa camada de borracha e tem como principal função revestir a carcaça e protegê-la contra os efeitos da abrasão, impacto, rasgo, calor, e ataque químico e intempéries, decorrente do material transportado ou outras condições adversas.^[1,2]

Na ausência da luz solar e à temperatura ambiente, a maioria dos materiais poliméricos é estável por longos períodos de tempo. Mas, quando expostos à luz solar, a taxa de oxidação é acelerada e intensificada pela presença de poluentes atmosféricos, como o ozônio, óxidos de enxofre e de nitrogênio. Neste caso, a degradação do polímero pode ocorrer devido aos fenômenos de foto-oxidação, isto é, processo degradativo que envolve a absorção da radiação ultravioleta por substâncias cromóforas presentes na composição química do polímero, se exposto a uma atmosfera contendo oxigênio, e ou, por fotólise (decomposição química da cadeia principal, ocasionada pela absorção da luz visível ou da radiação UV).

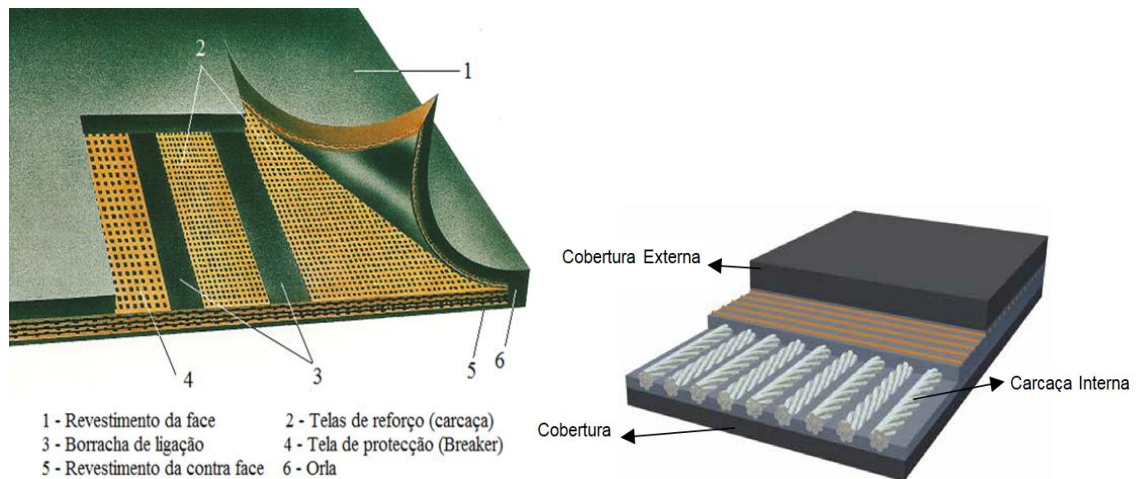


Figura 1: Representação esquemática de uma correia transportadora: (a) reforço em lona; (b) reforço de cabos de aço. Fonte: [3].

Neste caso, a degradação do polímero pode ocorrer devido aos fenômenos de foto-oxidação, isto é, processo degradativo que envolve a absorção da radiação ultravioleta por substâncias cromóforas presentes na composição química do polímero, se exposto a uma atmosfera contendo oxigênio e, ou, por fotólise (decomposição química da cadeia principal, ocasionada pela absorção da luz visível ou da radiação UV). Em tais condições, na presença de umidade ou elevada temperatura, podem ocorrer também, processos de foto-hidrólise e a termo-oxidação do polímero. Esses processos resultam na perda irreversível das propriedades dos materiais poliméricos, que podem ser evidenciadas por meio da deterioração progressiva das propriedades (físicas e químicas), incluindo o aspecto visual, descoloração, fissuramento, perda de brilho e perda da resistência mecânica. Tais alterações podem ser mais acentuadas na superfície do que no interior do polímero, no entanto, dependendo da severidade das condições e do tempo de exposição, os efeitos da fotodegradação interferem no desempenho global destes materiais, reduzindo drasticamente sua vida útil. [4,5,6]

Uma maneira de simular o envelhecimento natural que os materiais poliméricos sofrem quando expostos à luz do Sol e intempéries, é por meio de câmaras de envelhecimento acelerado. Os processos ocorridos no interior da câmara podem proporcionar resultados semelhantes aos encontrados no envelhecimento natural, num tempo muito menor do que levaria num processo natural. Nos ensaios de envelhecimento acelerado, as condições de exposição do material podem ser simuladas (radiação ultravioleta para simular a luz do sol, vaporização de água para se simular chuva e umidade, etc.), com intensidades elevadas, o que proporciona uma aceleração no processo de degradação. Os resultados obtidos são reprodutíveis, por meio do controle de alguns parâmetros importantes, tais como, a intensidade e o tipo de radiação aplicada, a umidade e o aquecimento dentro das câmaras. [7]

A Figura 2 mostra uma representação gráfica do espectro de energia (W/m^2) das radiações emitidas pela luz solar, em comparação com as emitidas nas câmaras de envelhecimento artificial. O espectro da luz solar é representado pela curva cor laranja. O espectro em verde representa a radiação emitida pela lâmpada de xenônio, geralmente utilizada em câmaras weatherometer, para simulação da luz solar. Já o espectro representado pela curva em violeta, representa o espectro emitido por lâmpada do tipo ultravioleta, utilizada em câmara de envelhecimento QUV. A maioria dos materiais poliméricos sofre modificações químicas quando submetidos à radiação UV, pois os polímeros, suas impurezas ou seus aditivos possuem grupos cromóforos que absorvem a luz. No caso dos polímeros, os grupos cromóforos mais comuns são as ligações duplas ($C=C$) conjugadas, os anéis aromáticos (C_6H_5) e a ligação carbonila ($C=O$).⁽⁹⁾

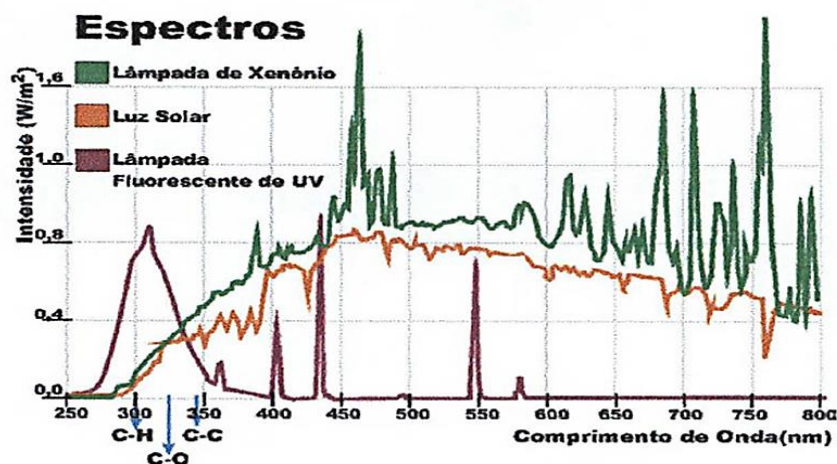


Figura 2: Espectros comparativos das diferentes radiações emitidas naturalmente e artificialmente. Fonte: [8].

Deste modo, a perda irreversível nas propriedades dos materiais poliméricos resultante do processo degradativo pode ser evidenciada por meio da deterioração progressiva de suas propriedades físicas e químicas, mas também incluindo o aspecto visual, descoloração, fissuramento, perda de brilho e perda da resistência mecânica. ⁽¹⁰⁾

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da exposição em câmara de envelhecimento acelerado (weatherometer), nas propriedades da borracha de cobertura de uma correia transportadora de minérios, comercial, com reforço de lona.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir, descrevem-se os materiais utilizados, as técnicas de obtenção dos corpos de prova e de caracterização das propriedades mecânicas.

2.1. Materiais

Para realização deste trabalho foi selecionada um modelo de correia transportadora de minérios comercial, fabricada no Brasil, reforçada com cinco camadas de lona.

2.2. Obtenção dos corpos de prova

Os corpos de prova para realização do ensaio de envelhecimento acelerado foram obtidos em três etapas: primeiro, realizou-se a extração da borracha de cobertura superior da correia por meio de uma máquina de corte vertical (serra de fita) da marca Starret, modelo S-2510, com velocidade constante de 2000 RPM. Em seguida, as borrachas foram fatiadas em camadas com espessuras de aproximadamente 6,0 e 2,0 mm, em uma máquina de dividir automática Klein modelo DA 470. Por fim, a partir das placas laminadas, foram obtidos os corpos de prova utilizados na caracterização das propriedades mecânicas antes e depois de envelhecidos.

2.3. Análise morfológica

Com o objetivo de analisar possíveis alterações na superfície da borracha de cobertura, em função do ensaio envelhecimento acelerado (weatherometer), foram analisadas amostras da superfície da borracha antes e depois do processo de envelhecimento. Para a realização das análises de microscopia, foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura (MEV) modelo FEI INSPECT-50, com detectores de elétrons secundários e retro-espalhados, instalado no Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da USP.

2.4. Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas da borracha de cobertura, antes e depois de submetida ao ensaio de envelhecimento acelerado, foram medidas por:

- Ensaio de resistência à tração, com base na norma ASTM D412, em máquina universal de testes Kratos modelo KE-3000 MP, à temperatura ambiente e com velocidade de deslocamento de garras de 500 mm/min;
- A dureza (Shore A) foi determinada em um durômetro analógico da marca Bareiss, com base na norma ASTM D2240;
- A resistência à abrasão foi determinada em um equipamento abrasímetro da marca Maqtest, O ensaio foi baseado no método A (não-rotativo) da norma ASTM D5963;
- Ensaio de deformação permanente à compressão (*Compression set*), realizado com base na norma ASTM D39514 método A. O ensaio foi realizado com taxa de compressão de 60%, em estufa a 70°C, por 72 horas.

Para o ensaio de resistência à tração foram utilizados ao menos cinco corpos de prova, os demais ensaios mecânicos foram realizados em triplicata. Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Borrachas do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da USP.

2.5. Ensaio de envelhecimento acelerado

Os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de envelhecimento acelerado em câmara weatherometer, com lâmpadas de xenônio, em condições de radiação UV, calor e umidade. A norma utilizada para o ensaio foi a ASTM G155:2013 *Practice for Operating Xenon Arc Light Apparatus for Exposure of Non-Metallic Materials*. Essa norma abrange a utilização de lâmpadas de xenônio e um dispositivo de spray de água, de modo a simular os efeitos das intempéries advindos da exposição à luz solar, de forma direta ou através de janela de vidro (através de filtros) e à umidade natural (chuva ou orvalho). O ensaio baseou-se no “Ciclo 1” desta norma, com os seguintes parâmetros: (i) filtro “Daylight”, (ii) irradiância de 0,35 W/(m². nm), (iii) comprimento de onda de 340 nm, (iv) ciclo de exposição de 102 min à luz, à 63°C (temperatura do painel preto), e 18 min com spray de água (sem controle de temperatura do ar).

O tempo de permanência das amostras na câmara foi de 2000 horas. Após este período, as amostras foram submetidas aos respectivos ensaios de caracterização mecânica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, são apresentados e discutidos os resultados de microscopia e da caracterização das propriedades mecânicas da borracha de cobertura antes e depois de submetida ao ensaio de envelhecimento acelerado.

3.1. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Mostram-se na Figura 3, imagens obtidas por MEV com aumentos de 1.000 vezes, das superfícies de amostras de borracha de cobertura não expostas (3a), e após 2000 horas de exposição (3b), em câmara weatherometer. Observando-se a superfície dos corpos de prova antes e depois do tempo de exposição, fica evidente a degradação da superfície das amostras, tendo-se formado uma morfologia superficial craqueada e com a presença de uma estrutura de trincas ao longo de toda sua superfície. Este efeito pode ser associado à fotodegradação da estrutura polimérica por meio da radiação UV associado às condições de temperatura e umidade da câmara durante o ensaio de envelhecimento acelerado.

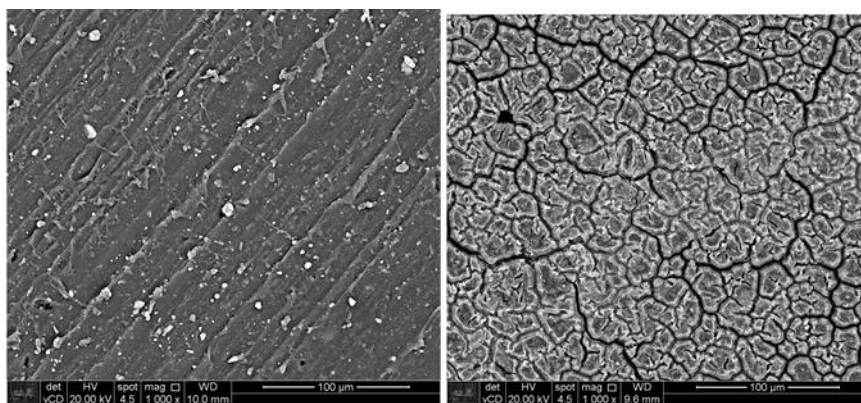


Figura 3: Imagens da borracha cobertura de uma correia transportadora de minérios, obtidas por MEV: (a) superfície não ensaiada; (b) superfície após 2000 h de exposição em câmara weatherometer. Fonte: [o autor].

3.2. Propriedades mecânicas

A seguir, apresentam-se, na Tabela 1, os resultados de caracterização das propriedades mecânicas da borracha de cobertura, antes e depois de submetidas aos ensaios de envelhecimento acelerado em câmara weatherometer.

Tabela 1: Valores obtidos nos ensaios de resistência à tração, dureza, DPC e desgaste por abrasão.

Amostra	Resistência à tração na ruptura (MPa)	Alongamento na ruptura (%)	Dureza (Shore A)	DPC* (%)	Perda relativa por abrasão (mm ³)	ARI** (%)
Não envelhecida	18,8 ± 1,2	416 ± 30	68 ± 1	22 ± 2	44,2 ± 2,2	357 ± 19
Após 2000 horas	11,9 ± 1,4	334 ± 37	73 ± 1	32 ± 5	79,4 ± 2,1	188 ± 5

*Deformação permanente por compressão;

**Índice de resistência à abrasão.

Comparando-se as propriedades da amostra não envelhecida com as da amostra exposta por 2000 horas, observa-se uma redução de cerca de 36% na resistência à tração devido ao tempo de exposição. O alongamento na ruptura segue a mesma tendência, com redução de em média 20% no alongamento máximo. Este comportamento mecânico está relacionado às reações de degradação provocadas pela exposição do material ao ataque da luz e da atmosfera, resultando no ataque das cadeias elastoméricas, e também das impurezas e aditivos presentes no composto, podendo resultar em quebras de ligações primárias da cadeia polimérica e das ligações cruzadas. Segundo a literatura, um dos efeitos da degradação é a redução das propriedades mecânicas, principalmente a flexibilidade, do material polimérico.^[8,9] Tal comportamento foi encontrado nas borrachas ensaiadas, quando se avaliam os resultados obtidos no ensaio de deformação permanente à compressão (DPC): nota-se que após 2000 horas de exposição, há um expressivo aumento da DPC da borracha, de cerca de 45%, quando comparado ao valor obtido para a borracha não envelhecida, o que indica uma notável redução nas propriedades elásticas da borracha. Ademais, nota-se que o processo de envelhecimento acelerado resultou em um ligeiro aumento da dureza (cerca de 7%). Isto pode estar relacionado à perda de elasticidade da camada superficial da borracha, uma vez que o poder de penetração da radiação UV atinge alguns milímetros de profundidade^[6].

Com relação aos resultados obtidos no ensaio de abrasão, observa-se que a amostra submetida ao envelhecimento acelerado apresentou maior perda relativa (volume), por abrasão do que a amostra não envelhecida e, conseqüentemente, menor valor de índice de

resistência à abrasão (ARI). Os resultados indicam uma significativa redução nos valores de resistência à abrasão em função do tempo de exposição na câmara de envelhecimento (na ordem de 47%), quando comparados à borracha não envelhecida.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho, avaliou-se preliminarmente as propriedades mecânicas da borracha de cobertura extraída de uma amostra de correia transportadora de minérios, após 2000 horas de exposição em câmara de envelhecimento acelerado. Os resultados mostraram que o tempo e as condições de exposição afetaram significativamente as propriedades mecânicas da borracha. As propriedades nas quais os efeitos da degradação são mais pronunciados foram: a resistência à tração e o alongamento máximo, além da deformação permanente à compressão e a resistência à abrasão. Ensaio de ataque corrosivo em outros tempos e condições de exposição encontram-se em andamento e serão reportados oportunamente.

5. REFERÊNCIAS

1. PANG, Y. Intelligent Belt Conveyor Monitoring and Control. Em Y. PANG, Intelligent Belt Conveyor Monitoring and Control (p. 196). Netherlands: Trail Thesis Series. 2010;
2. SWINDERMAN, R., MARTI, A., GOLDBECK, L., MARSHAL, D., & STREBEL, M. Foundations- The practical resource for cleaner, safer, more productive dust and material control. Em R. SWINDERMAN, & e. al., Foundations- The practical resource for cleaner, safer, more productive dust and material control. (p. 574). Martin Engineering Company. 2009;
3. METSO Conveyor Solutions. Fonte: METSO Expect Results: <https://www.metso.com/globalassets/saleshub/documents---episerver/brochure-cs-handbook-3423-012017-en.pdf> 2019;
4. DELOBELLE, P., GUILLOT, . L., DUBOIS, C. & MONNEY, . L., Polymer Degradation and Stability. s.l.:s.n.2002;
5. SUAREZ, J., MONTEIRO, E. & MANO, E., Polymer Degradation and Stability,, 75(p. 143 - 151).2002;
6. ALLEN, N. S., Sunlight induced degradation of polymers. Engineering Plastics, v.8, n.1, p. 247-288, 1995.
7. SILVA, R. et al., Fracture toughness of natural fibres/castor oil polyurethane composites. Composite Science and Technology, 66(p. 1328-1335).2006;
8. KLEMCHUK, P., Degradable plastics: a critical review. Polymer Degradation and Stability, 27 (2)(p.183-202).1990;
9. MOURA, J., OLIVERIA CAMPOS, A. & GRIFFITHS, J., The effect of additives on the photostability of dyed polymers. Dyes Pigm., 33(p. 173-196).1997;
10. PAOLI, M. A. D., Degradação e Estabilização de Polímeros. Editora Artliber, São Paulo, 2008. São Paulo: Editora Artliber,1998.

Ageing of conveyor belts: properties of the cover rubber compound

In general, a conveyor belt has a highly resistant internal structure, reinforced with steel cables or polymer fabrics. The upper and lower structure of the belt, denominated cover, consists of a thick layer of rubber compound, whose main function is to coat the carcass and protect the belt against the effects of abrasion, impact, tear, heat, humidity, attack, chemical or other adverse conditions resulting from material transport. In this work, the covering layer of a textile reinforced conveyor belt, manufactured in Brazil, was subjected to an accelerated aging test in a weatherometer chamber, in order to simulate the effects of the weather (exposure to sunlight and natural humidity) on the rubber compound performance. The standard used for the test was ASTM G155. Specimens for tensile strength, abrasion, hardness and DPC tests were subjected to 2000 hours of exposure. It was observed that the properties in which the degradation effect was more pronounced were: tensile strength and maximum elongation and, mainly, abrasion resistance, whose values were reduced by about 47% in relation to the non-aged compound. Therefore, these results can significantly affect the life of a belt.

Keywords: Ageing, rubber, conveyor belt.