

CARACTERIZAÇÃO DE FILMES POLIMÉRICOS PET/ITO UTILIZADOS PARA PROTEÇÃO DE PAINÉIS SOLARES SUBMETIDOS A CONDIÇÕES DE DEGRADAÇÃO

Joyce Batista Azevedo, joyce.azevedo@fieb.org.br¹

Michele Damiana Mota Martins, michele.motamartins@gmail.com¹

João Pedro B. de A. e Souza, jpedrobas@gmail.com¹

Alex Álisson Bandeira Santos, alex.santos@fieb.org.br¹

Pollyana da Silva Melo Cardoso, pollyanam@fieb.org.br¹

¹Centro Universitário SENAI CIMATEC

Resumo: Óxido de índio dopado com estanho (ITO) depositado em filmes de politereftalato de etileno (PET) podem ser utilizados em células solares, eles podem atuar como camada antirefletora e aprimorar a coleta de correntes nestes dispositivos. No entanto, são poucos os estudos que avaliam as condições destes filmes quando expostos a intempéries. Sendo assim, este trabalho caracterizou filmes comerciais de PET/ITO em condições simuladas de degradação sob radiação UV. Antes da exposição as condições de degradação, as propriedades térmicas dos filmes foram avaliadas através de termogravimetria (TGA) e calorimetria exploratória diferencial (DSC). Amostras retiradas de filmes comerciais foram então submetidas a radiação UV em câmara de envelhecimento acelerado durante 11, 21 e 31 dias em câmara de envelhecimento acelerado e as propriedades mecânicas sob tração foram avaliadas. Através do TGA verificou-se nos filmes uma estabilidade térmica até 345°C. Após degradação verificou-se que os filmes tiveram melhoria nas propriedades mecânicas após 21 e 31 dias de exposição, o que pode indicar influência do ITO nas características do filme de PET nas condições analisadas.

Palavras-chave: Filmes PET/ITO, Degradação, Propriedades Mecânicas..

1. INTRODUÇÃO

O óxido de índio dopado com estanho (ITO) é um semicondutor degenerado de alta transparência no espectro visível e alta condutância elétrica. Este óxido reflete radiação eletromagnética na região do infravermelho e apresenta baixa resistividade elétrica, o que os torna bons condutores elétricos (Damiane, 2010).

Comercialmente, o ITO é disponibilizado na forma de filmes, ele é depositado, através de diversas técnicas, em lâminas de politereftalato de etileno (PET). Nesta forma, o PET revestido com ITO é um componente de eletrodo comum que pode ser utilizado para revestimento de painéis solares devido à sua excelente combinação de baixa resistividade elétrica ($\sim 7 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$) e alta transparência ótica a luz visível ($> 90\%$) (Sierros *et al*, 2009).

Em células solares o ITO pode atuar como uma camada antirrefletora devido ao seu índice de refração e assim, devido a sua alta condutividade, o ITO pode aprimorar a coleta de correntes nestes dispositivos (Damiane, 2010). Nesta aplicação, a exposição das lâminas PET/ITO a intempéries podem causar desgastes e comprometer a sua eficiência e integridade mecânica.

O PET, polímero utilizado na forma de filme ao qual o ITO é aplicado, pode sofrer degradação termo-oxidativa, este tipo de degradação ocorre na presença de calor e oxigênio e resulta na formação de grupos cromóforos os quais são responsáveis por variações de cor tornando-se um fenômeno indesejável principalmente quando boas propriedades óticas são exigidas (Romão *et al* 2009). Logo, a avaliação das propriedades destes materiais quando submetidos a condições sob radiação UV pode prever se as condições ambientes podem interferir nas propriedades dos filmes.

Cairns *et al* 2000, verificaram que a natureza frágil da camada fina de ITO torna o filme de PET suscetível a rachaduras quando submetido a deformação. Na tensão uniaxial, o aparecimento de rachaduras ocorre entre 2% e 2,5% de tensão sob tração e correlaciona-se com um aumento repentino da resistência elétrica do ITO. Em estudo sobre propriedades mecânicas destes filmes verificou-se que a tensão crítica de tração biaxial para o aparecimento de micro trincas para poliésteres revestidos com ITO foi de 1,4% (Sierros *et al* 2005).

Mesmo diante da possibilidade de alteração das propriedades dos filmes, quando submetidos a condições ambientais adversas, são poucos os estudos que relatam as características de desgaste do filme com ITO. Segundo Sierros *et al*, 2009, o desgaste do ITO pode ser um parâmetro crítico de confiabilidade em dispositivos onde existem interações usuário-dispositivo frequentes.

Sendo assim, neste trabalho foram avaliadas as propriedades mecânicas de filmes PET/ITO submetidos a condições artificiais de degradação. Para esta simulação utilizou-se radiação UV já que é uma fonte de degradação fotoquímica para os polímeros e pode causar mudanças na estrutura química destes materiais afetando as suas propriedades físicas e mecânicas.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Foram caracterizadas e submetidas a condições de degradação folhas de politereftalato de etileno (PET) revestidas, em um dos lados, com óxido de índio estanho (ITO). Segundo fabricantes, as folhas possuem alta flexibilidade, resistência a temperatura até 120°C, resistência de 350 a 500 Ω e alta transmissão na faixa espectral de 400nm a 2210nm. Comercialmente, as folhas são disponibilidades nas dimensões: 250mm X 200mm. Destas folhas foram retiradas amostras de 150mm de comprimento e 10mm de largura (Figura 1).

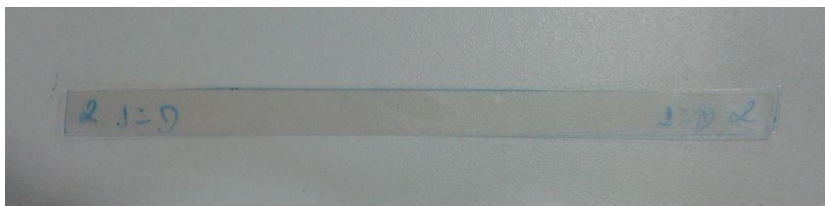


Figura 1. Amostras de filmes PET/ITO submetidas a degradação e ensaios mecânicos.

Antes de submetidos ao processo de degradação, os filmes foram caracterizados quanto a sua estabilidade térmica através de termogravimetria (TGA) e determinadas as temperaturas de transições através de calorimetria exploratória diferencial (DSC). O ensaio de TGA foi realizado entre 20 – 700°C, com taxa de aquecimento de 20°C/min e atmosfera de nitrogênio. A curva calorimétrica também foi obtida em atmosfera de nitrogênio com taxa de aquecimento de 10°C/min. Os equipamentos utilizados nestas caracterizações são da TA Instruments.

Como trata-se de um estudo inicial, optou-se por expor os filmes sob fonte de radiação UV por 11, 21 e 31 dias. Para este ensaio foi utilizada uma câmara de intemperismo acelerado.

As propriedades mecânicas sob tração dos filmes, antes e após períodos de degradação, foram determinadas em máquina universal de ensaio da marca EMIC. Foram avaliados o efeito da radiação UV no módulo elástico e resistência a tração dos filmes.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 2 e 3 apresenta os resultados obtidos na caracterização térmica do filme com ITO antes de submetido a exposição de radiação UV. O resultado obtido através da TGA (Fig.1) mostra uma única etapa de perda de massa que ocorre entre 345 e 561,7°C, nesta faixa de temperatura verifica-se uma perda de massa de 86,02%. Esta etapa de decomposição corresponde ao filme de PET. Outros estudos mostram que o PET apresenta uma perda de massa entre 350 e 510°C (Ferreira *et al*, 2011; Bannach *et al* 2011). O ensaio de TGA foi realizado até 700°C gerando um resíduo de 11,99%. Não foi possível, nas condições de ensaio realizada, verificar picos correspondentes a perda de massa do ITO. Ayeshamariam *et al*, 2013 mostraram uma faixa de decomposição térmica para ITO dopado com 10 e 20% de Estanho entre 88,9 – 900°C.

A curva obtida no DSC (Fig. 2) mostra uma temperatura de fusão (T_m) de 251,2°C e uma temperatura de cristalização (T_c) de 181,1°C. Segundo a literatura, estas são temperaturas características do PET (Ferreira *et al*, 2011; Bannach *et al* 2011 ; Wellen, 2014). Não foi possível identificar a interferência do ITO nas propriedades térmicas dos filmes, os eventos térmicos encontrados para este material são significativos entre 460 e 600°C. A literatura mostra que em ~460°C ocorre a decomposição do nitrato de índio e níquel, entre 600 e 690°C ocorre uma mudança de fase de amorfa para estrutura cristalina cúbica (Ayeshamariam *et al*, 2013).

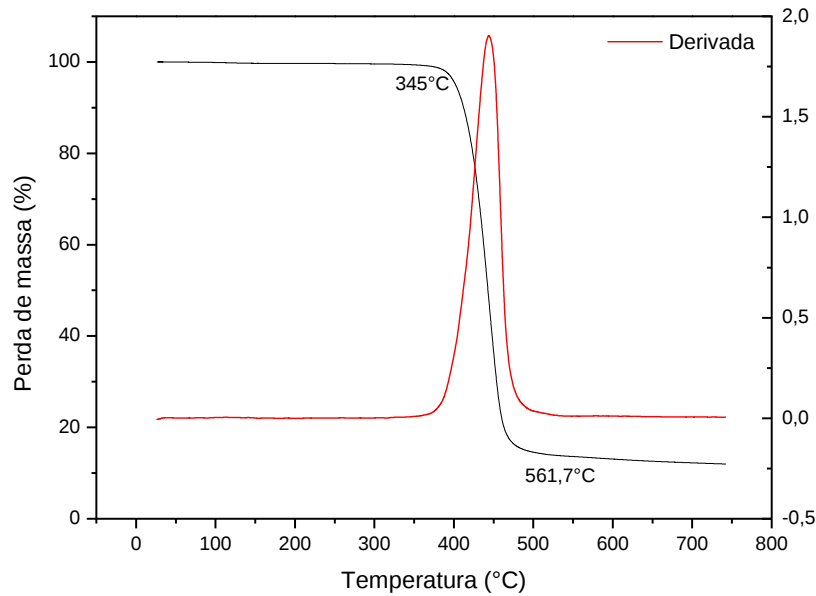


Figura 2. Termogravimetria (TGA) de filmes PET/ITO

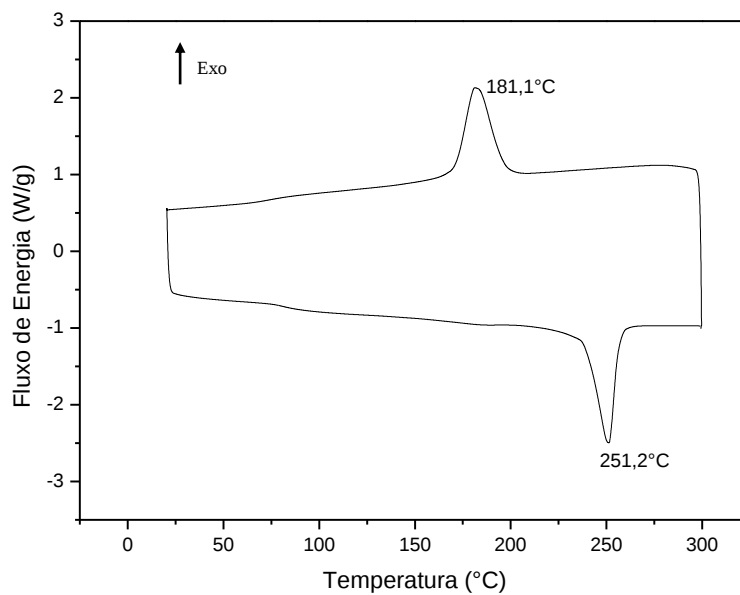


Figura 3. Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) de filmes PET/ITO

Os ensaios mecânicos foram realizados sob tração nas amostras de filmes PET/ITO antes de submetidas as condições de degradação e após 11, 21 e 31 dias sob envelhecimento acelerado em UV. Observou-se que as amostras com 11 dias de exposição, quando comparada as demais amostras, apresentaram os menores resultados referente ao módulo elástico e resistência a tração. As amostras com 21 e 31 dias de exposição apresentaram resultados similares, o módulo elástico destes filmes é aproximadamente 70% maior que das amostras não submetidas a exposição (Fig.4).

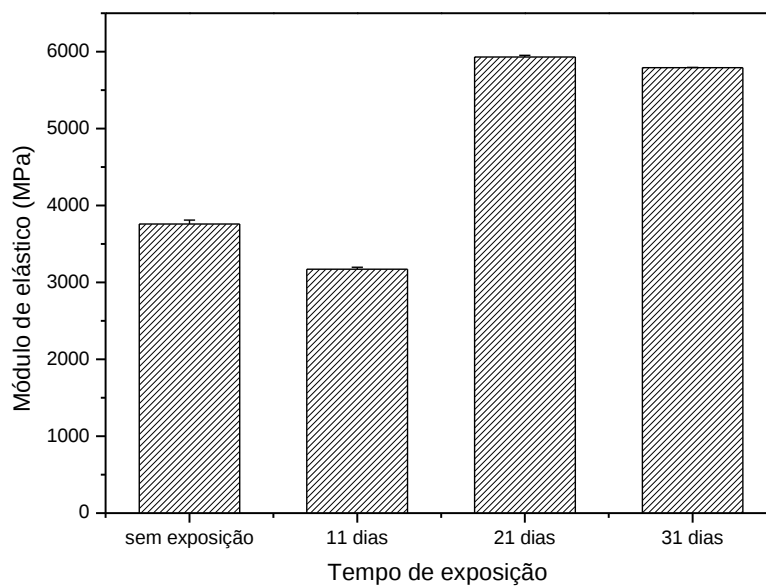


Figura 4. Módulo elástico dos filmes PET/ITO

Observa-se na Fig. 5 que, assim como o módulo elástico, a resistência a tração dos filmes também foi maior para os filmes submetidos a exposição durante 21 e 31 dias. Para materiais poliméricos, estes resultados não são condizentes com a literatura, esperava-se que um maior tempo de exposição proporcionasse a perda das propriedades mecânicas dos filmes. O PET é um polímero que durante a sua degradação sofre reações de cisão de cadeia. Sendo assim, esperava-se uma fragilização causada pelo fotodegradação devido a ruptura das cadeias atadoras presentes nos polímeros semicristalinos (Fechine *et al* 2004).

Acredita-se que a presença do ITO possa ter contribuído para os resultados mecânicos obtidos. No entanto, outras caracterizações precisam ser realizadas para justificar os resultados.

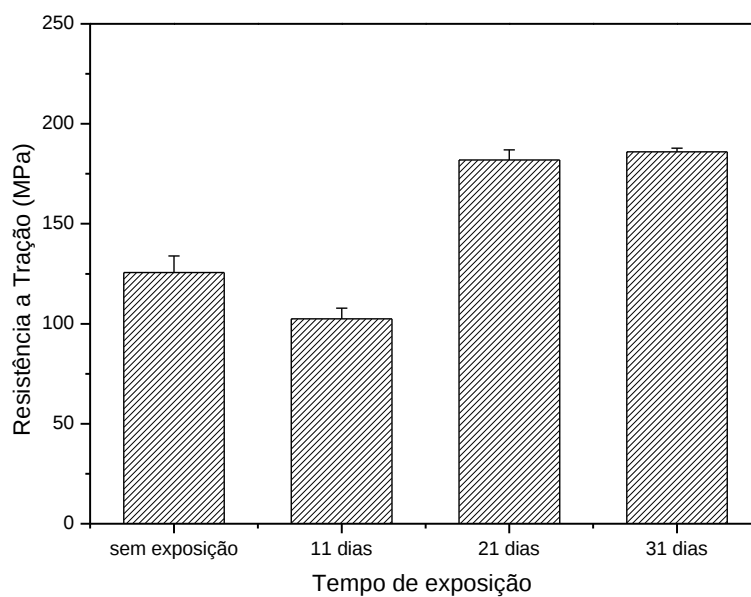


Figura 5. Resistência a tração dos filmes PET/ITO

4. CONCLUSÕES

Filmes comerciais PET/ITO apresentam estabilidade térmica até 345°C. A exposição artificial a radiação UV alterou as propriedades mecânicas, sendo possível um aumento no módulo elástico e resistência a tração das amostras após 21 e 31 dias de exposição. Estes resultados não corroboram com a literatura já que o PET não possui resistência a efeitos fotoquímicos. Sendo assim, serão necessárias a realização de outras caracterização para entendimento dos resultados.

5. AGRADECIMENTOS

Ao SENAI CIMATEC pela disponibilidade dos equipamentos para realização da pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- Ayeshamariam, A.; Vidhya, V.S.; Sivakumar, T.; Mahendran, R.; Perumalsamy, R.; Sethupathy, N.; Jayachandran, M. Nanoparticles of In₂O₃/SnO₂ (90/10) and (80/20) at two different proportions and its properties. *Open Journal of Metal*, v.3, p. 1-7, 2013.
- Bannach, G.; Perpétui, G.L.; Cavalheiro, E. T. G.; Cavalheiro, C, C, S.; Rocha, R.R. Efeitos da história térmica nas propriedades do polímero PET: um experimento para ensino de análise térmica. *Química Nova*, Vol. 34, No. 10, 1825-1829, 2011.
- Cairns, D.R.; Witte II R.P.; Sparacin, D.K.; Sachsman, S.M.; Paine, D.C.; Newton, R.R.; Crawford, G.P. Strain-dependent electrical resistance of tin-doped indium oxide on polymer substrates, *Applied Physics Letters*, v.76, pp.1425, 2000.
- Damiane, L. R. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- Fechine, G. J. M.; Rabello, M. S.; Souto-Maior, R. M. Propriedades mecânicas e fratura do PET fotodegradado. *Anais do 7º Congresso Brasileiro de Polímeros*, Belo Horizonte- MG, 2004.
- Ferreira, C. T.; Fonseca, J. B.; Saron, C.; Reciclagem de Rejeitos de Poli (tereftalato de etileno) (PET) e de Poliamida (PA) por meio de Extrusão Reativa para a Preparação de Blendas. *Polímeros*, v. 21, nº 2, p. 118-122, 2011.
- Romão, W.; Spinacé, M. A. S.; De Paoli, M-A. PET: Uma Revisão Sobre os Processos de Síntese, Mecanismos de Degradação e sua Reciclagem. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 19, nº 2, p. 121-132, 2009.
- Sierros, K. A.; Morris, N.J.; Kukureba, S.N.; Cairns, D.R. Dry and wet sliding wear of ITO-coated PET components used in flexible optoelectronic applications. *Wear*, v. 267, p. 625–631, 2009.
- Sierros, K.A.; Abell, J.S.; Kukureka, S.N. Biaxial testing of thin functional structures used in flexible display and touch screen applications, *Eurodisplay, Society of Information Display*, p. 229–232, 2005.
- Wellen, R. M. R. Effect of polystyrene on poly(ethylene terephthalate) crystallization. *Materials Research*, v. 17 no.6, 2014.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

CHARACTERIZATION OF POLYMERIC PET / ITO FILMS USED FOR PROTECTION OF SOLAR PANELS SUBMITTED TO DEGRADING CONDITIONS

Joyce Batista Azevedo, joyce.azevedo@fieb.org.br¹

Michele Damiana Mota Martins, michele.motamartins@gmail.com¹

João Pedro B. de A. e Souza, jpedrobas@gmail.com¹

Alex Álisson Bandeira Santos, alex.santos@fieb.org.br¹

Pollyana da Silva Melo Cardoso, pollyanam@fieb.org.br¹

¹Universty Center SENAI CIMATEC

Abstract. Tin-doped indium tin oxide (ITO) deposited on polyethylene terephthalate (PET) films can be used in solar cells, they can act as an anti-reflective layer and improve the collection of currents in these devices. However, few studies evaluate the conditions of these films when exposed to inclement weather. Therefore, this work characterized commercial PET / ITO films under simulated degradation conditions under UV radiation. Before exposure to the degradation conditions, the thermal properties of the films were evaluated by thermogravimetry (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC). Samples taken from commercial films were then subjected to UV radiation in an accelerated aging chamber for 11, 21 and 31 days in an accelerated aging chamber and the mechanical properties under tension were evaluated. Through the TGA a thermal stability up to 345 °C was observed in the films. After degradation, it was verified that the films had an improvement in the mechanical properties after 21 and 31 days of exposure, which may indicate the influence of ITO on the PET film characteristics under the analyzed conditions.

Keywords: PET / ITO Films, Degradation, Mechanical Properties.