

AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO POR *STRESS CRACKING* NO PET RECICLADO EXPOSTO A DIFERENTES FLUIDOS

Joaquim Souza de Oliveira ⁽¹⁾ (jso.emt18@uea.edu.br), Joabe Nascimento da Silva ⁽¹⁾ (jns.emt18@uea.edu.br), Edson Noriyuki Ito ⁽²⁾ (edson.ito@ufrn.br), Juciklécia da Silva Reinaldo ⁽¹⁾ (jreinaldo@uea.edu.br)

⁽¹⁾ Universidade do Estado do Amazonas (UEA); Escola Superior de Tecnologia

⁽²⁾ Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN); Departamento de Engenharia de Materiais

RESUMO: *O Environmental Stress Cracking (ESC) é o processo de degradação que ocorre em materiais poliméricos quando submetidos simultaneamente aos efeitos de tensão mecânica e contato com um fluido. Neste trabalho foi avaliado a resistência a degradação por stress cracking do poli(tereftalato de etileno) (PET) reciclado exposto aos fluidos como álcool etílico, óleo vegetal de soja e detergente comercial. Os ensaios de resistência ao ESC foram realizados em uma máquina de tração universal. Os fluidos foram aplicados na área útil dos corpos de prova com o auxílio de um chumaço de algodão umedecido, que foram mantidos em contato os corpos de prova durante toda a etapa do ensaio de tração. Após essa etapa foi realizado as análises das superfícies de fratura dos corpos de prova com câmera digital e com um estereoscópio. Nos resultados do ensaio de tração e nas análises da superfície de fratura foi observado que o PET reciclado em contato com o álcool etílico apresentou fissuras, opacidade e redução no alongamento na ruptura devido a degradação por ESC. Entretanto, o PET reciclado em contato com o de óleo vegetal de soja e detergente comercial contendo apresentou um efeito menos agressivo ao ESC em relação ao PET reciclado.*

PALAVRAS-CHAVE: PET RECICLADO, ENVIRONMENTAL STRESS CRACKING, PROPRIEDADES MECÂNICAS

EVALUATION OF STRESS CRACKING DEGRADATION IN RECYCLED PET EXPOSED TO DIFFERENT FLUIDS

ABSTRACT: *Environmental Stress Cracking (ESC) is the degradation process that occurs in polymeric materials when simultaneously subjected to the effects of mechanical stress and contact with a fluid. This study evaluated the resistance to degradation by stress cracking of recycled polyethylene terephthalate (PET) exposed to fluids such as ethyl alcohol, soybean vegetable oil and commercial detergent. The ESC resistance tests were performed in a universal tensile machine. The fluids were applied to the useful area of the specimens with the aid of a moistened cotton swab, which was kept in contact with the specimens throughout the tensile test stage. After this stage, the fracture surfaces of the specimens were analyzed with a digital camera and a stereoscope. The results of the tensile test and the fracture surface analysis showed that the recycled PET in contact with ethyl alcohol presented cracks, opacity and reduced elongation at break due to degradation by ESC. However, recycled PET in contact with soybean vegetable oil and commercial detergent containing it presented a less aggressive effect on ESC in relation to recycled PET.*

KEYWORDS: RECYCLED PET, ENVIRONMENTAL STRESS CRACKING, MECHANICAL PROPERTIES

1. INTRODUÇÃO

O poli (tereftalato de etileno) é um polímero termoplástico com ampla gama de aplicações, que pode ser encontrado na forma de filmes, embalagens, revestimentos, lâminas e garrafas, sendo a última, a finalidade de maior uso atualmente (MANO, 1999). Dessa forma o PET é um polímero que tem grande importância para indústria, devido apresentar uma excelente combinação de propriedades finais (WIEBECK, H; HARADA J., 2005).

O comportamento de um material polimérico com fluidos ativos é, na verdade, muitas vezes um fator decisivo para selecionar o polímero. A interação física e/ou química iniciada pelo contato químico geralmente tende a prejudicar o uso e até mesmo causar a falha prematura dos componentes e das camadas protetoras. Tal interação afeta as propriedades mecânicas e superficiais, que muitas vezes promove a formação de fissuras (GRELLMANN; SEIDLER, 2013).

O termo ESC é em geral utilizado para descrever o fenômeno de fissuramento do produto decorrente do contato com determinados tipos de fluidos (MOSKALA E.J., 1998). É um fenômeno ainda não completamente entendido, mas que acontece quando se tem a ação simultânea de um agente químico agressivo (líquido ou vapor) e tensão mecânica (externa ou interna), acarretando fissuramento no material. O ESC tem sido uma das causas mais comuns de falha prematura em produtos plásticos, sendo responsável por aproximadamente 25% dos casos (JANSEN J. A., 2004). O problema é tão significativo, que a grande preocupação é que muitas vezes ocorre de forma inesperada em consequência do contato com fluidos, como tintas, adesivos, agentes de limpeza, aerossóis, lubrificantes, óleos vegetais e até mesmo alimentos como manteiga e sorvete. (HANSEN, C. M, 2002; RABELLO, 2013; De PAOLI, 2009).

Teófilo *et.al* (2009) realizou um estudo de ESC no PET com fluidos como álcool e soluções de hidróxido de sódio, nas propriedades mecânicas e aparência superficial do PET virgem. Os resultados evidenciam que todas as soluções de hidróxidos de sódio testadas foram agentes agressivos de ESC por diminuírem as propriedades mecânicas do polímero, ocasionando falha catastrófica. Já os demais fluidos, apesar de não terem efeito significativo nas propriedades do PET, afetam drasticamente sua aparência superficial do PET.

O PET é facilmente reciclável, com isso, o estudo de suas aplicações em embalagens após o seu reprocessamento torna-se indispensável, principalmente para entender o seu comportamento quando exposto a diversos tipos de fluídos e tensões mecânicas, que pode ocasionar fissuramentos no material durante suas aplicações (WIEBECK, H; HARADA J., 2005; De Paoli, 2009). Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar resistência a degradação por *environmental stress cracking* e o *aspecto visual* do poli(tereftalato de etileno) (PET) reciclado exposto aos fluídos como álcool etílico, óleo vegetal de soja e detergente comercial submetidos a ensaios de tração.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Neste trabalho foi utilizado o poli (tereftalato de etileno) (PET) reciclado da empresa Global PET com índice de fluidez de 63,5 g/10 min. Como agentes químicos foram utilizados o etanol (álcool etílico 95% PA), da Anidrol, óleo de soja e detergente comercial.

2.2 Métodos

2.2.1 Moldagem por injeção

A moldagem dos corpos de prova foi realizada em uma injetora da marca Arburg, modelo 270V, com perfil de temperatura de 250/250/260/260/260°C, temperatura de molde de 10°C e tempo de resfriamento igual a 45s, com corpo de prova do tipo I segundo as dimensões especificadas pela norma ASTM D638.

2.2.2 Ensaio de resistência ao ESC

Os ensaios de resistência ao ESC foram realizados uma máquina de tração *Instron* de acordo utilizando uma velocidade de 5mm.min⁻¹ até a ruptura. As amostras foram mantidas na sala de teste por no mínimo 24h antes de cada ensaio para equilíbrio da temperatura. Os ensaios foram realizados com e sem os agentes químicos. Os fluidos foram aplicados na área útil dos corpos de prova com o auxílio de um chumaço de algodão umedecido, instantes antes de se dar início ao ensaio de tração.

2.2.3 Aspecto visual das amostras

O aspecto visual da superfície frontal das amostras fraturadas foi feito após testes de tração com câmera digital. As imagens das superfícies de fratura foram feitas com o estereoscópio da *Insize* modelo DL301 com 75 µm.

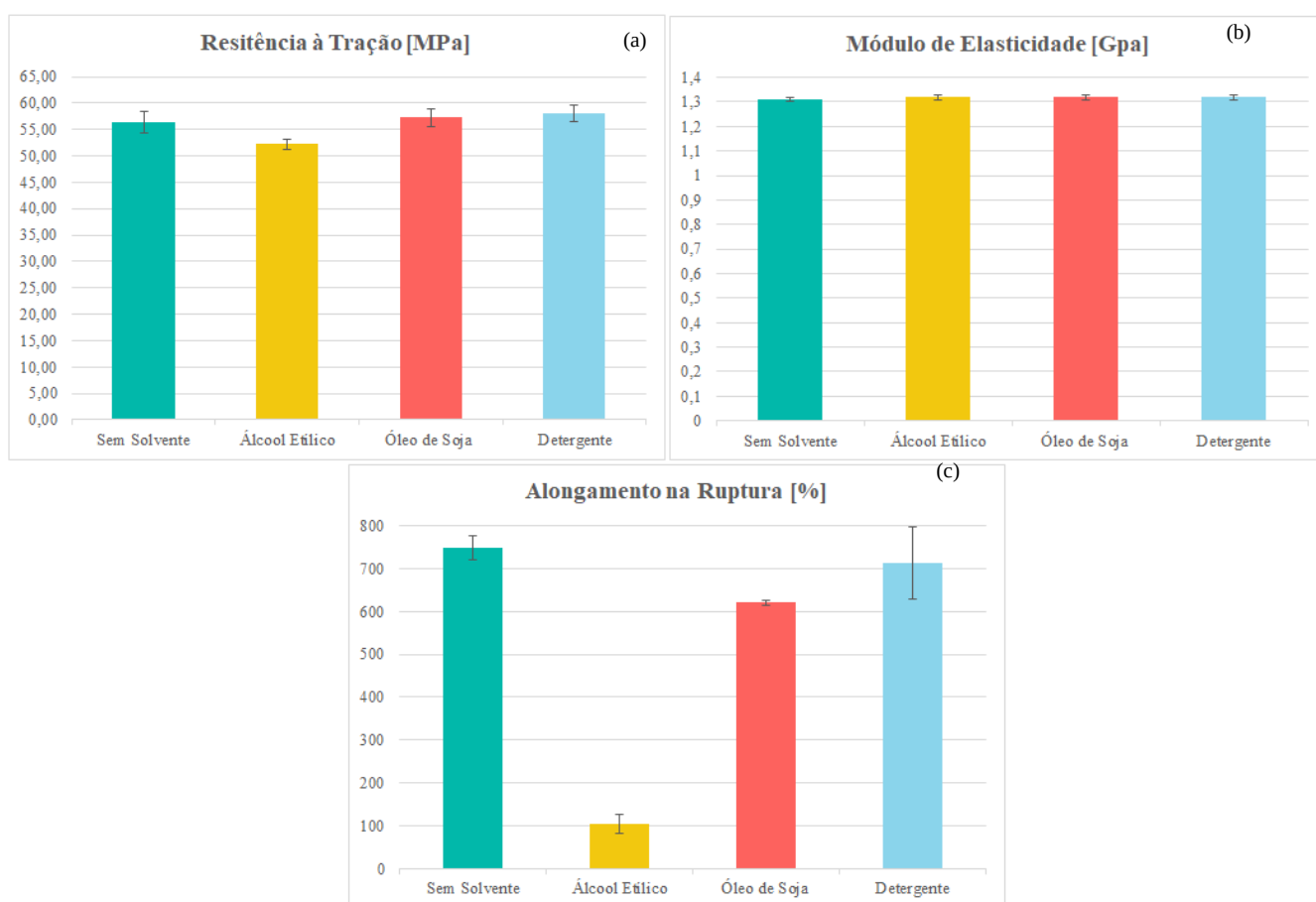
3. RESULTADOS

3.1 Ensaio de resistência ao ESC

Na Figura 1 são apresentados os resultados de ESC obtidos do ensaio de tração do PET reciclado e das amostras que foram expostas as substâncias com a ação do *environmental stress cracking*. Os resultados de resistência à tração do PET reciclado (Figura 1 (a)) não foram afetados quando exposta a condição dos fluidos óleo de soja e detergente, isso se deve ao fato dos agentes não serem substâncias agressivas para esse tipo de polímero. Entretanto, devido à baixa massa molar que o álcool etílico apresenta ocasionou uma pequena redução de 7,48% na resistência à tração.

Na Figura 1 (b) observa-se que os valores do módulo de elasticidade não apresentaram diferenças significativas nessa propriedade quando comparados os valores dessa propriedade do PET reciclado e as amostras quando exposto aos fluidos de álcool etílico, óleo de soja e detergente. Entretanto, apresenta os valores do alongamento na ruptura do PET reciclado quando exposto ao álcool etílico foi o que ocasionou maior redução de 86% no alongamento, já o óleo de soja promoveu uma redução de 16, 81% e o agente detergente ocasionou uma pequena redução de 5,31%.

Figura 1. Propriedades mecânicas sob tração. (a) Resultados de Resistência à Tração (b) Resultados Módulo de Elasticidade (c) Resultado Alongamento na ruptura



Fonte: Autor

As propriedades resistência à tração e o módulo de elasticidades não sofreram influências significativas quando exposta substâncias com ação de ESC, entretanto a propriedade de alongamento na ruptura foi a mais afetadas principalmente quando o PET reciclado foi exposto a com o agente álcool etílico como observados nas imagens da Figura 2 com a redução no comprimento do corpo de prova.

Figura 2. Aspecto visual dos corpos de prova do PET reciclado antes e após o ensaio de tração com e sem os fluidos. (a) PET reciclado antes do ensaio de tração; (b) PET reciclado após ensaio de tração exposto ao óleo de soja; (c) PET reciclado após ensaio de tração exposto ao detergente; (d) PET reciclado após ensaio de tração exposto ao álcool etílico, (e) PET reciclado após ensaio de tração sem fluidos.

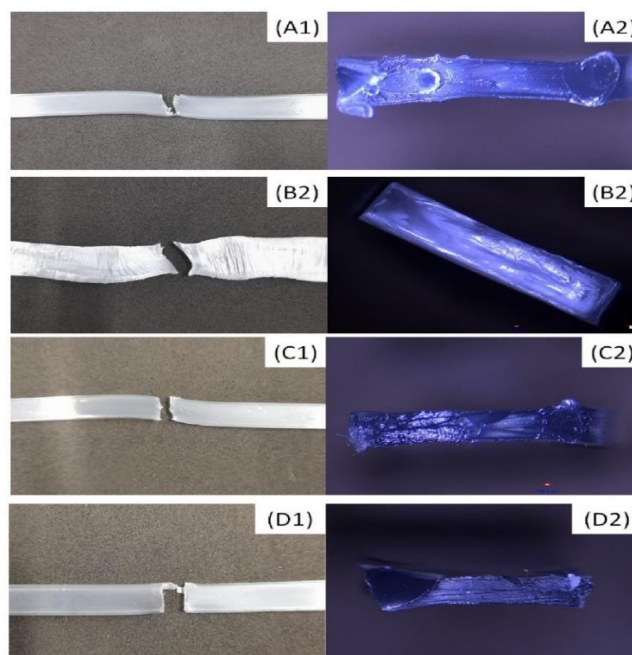


Nas imagens dos corpos de prova da Figuras 2, nota-se também que o PET reciclado teve uma variação significativa no seu comprimento, pois é transparente e amorfo, devido ao alto valor de alongamento na ruptura quando comparados ao corpo de prova antes do ensaio de tração. Os corpos de provas que foram submetidos a condição do álcool etílico apresentaram opacidade e nucleação de fissuramento característica de ESC, essas características não foram observadas nas demais condições avaliadas.

3.2 Aspecto visual das amostras

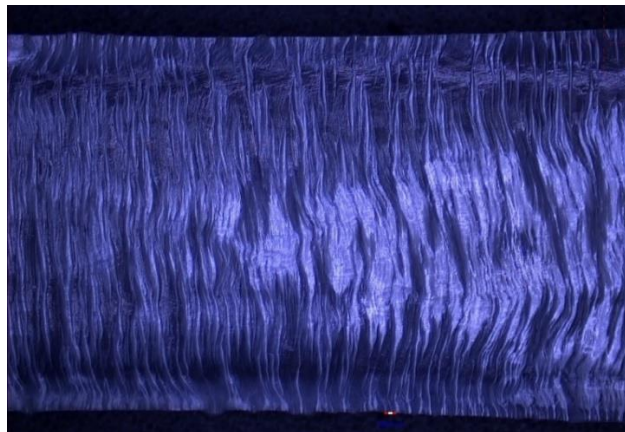
Os resultados dos aspectos visuais das Figura 3, observa-se nas fratura que aconteceram nas condições de sem solvente, óleo de soja e detergente tiveram característica dúctil frágil, isso se deve ao fato dos líquidos só terem acesso a superfície do corpo de prova, diferente do álcool etílico que apresentou fratura quase 100% frágil, exceto no centro do corpo de prova que apresentou rugosidade, isso se deve ao fato do pouco tempo que o líquido ficou em contato com as amostras, mesmo dessa forma, o líquido teve boa penetração no PET reciclado, devido sua baixa massa molar ocasionando plastificação nas laterais do corpo de prova causando grande redução no alongamento na ruptura do material.

Figura 3. *Aspecto visual das superfícies dos corpos de prova do PET reciclado.* (A1) Fratura frontal sem solvente (A2) Macrografia sem solvente (B1) Fratura frontal com álcool etílico (B2) Macrografia com álcool etílico (C1) Fratura frontal com óleo de soja (C2) Macrografia com óleo de soja (D1) Fratura frontal com detergente (D2) Macrografia com detergente



A imagem da Figura 4 foi possível observar que o PET reciclado exposto ao álcool etílico apresentou um alto número no aparecimento de *crazes*, o que ocasionou a queda da propriedade alongamento na ruptura, devido esse fenômeno ter criado diversos pontos de tensão na área útil do corpo de prova impedindo a movimentação das cadeias poliméricas esses resultados estão de acordo com os resultados observado no PET por Teófilo *et.al* (2009) e corroboram com os resultados observados nas propriedades mecânicas dessas amostras apresentados na Figura 1.

Figura 4. Imagem dos *crazes* surgidos nos corpos de prova de PET reciclado exposto a condição álcool etílico



4. CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados, foi observado que o PET reciclado não apresentou características de ESC, em suas propriedades mecânicas e macrografia avaliadas quando exposto aos agentes óleo de soja e detergente, porém nos corpos de prova submetidos na condição do álcool etílico, não houve influência nas propriedades mecânicas de resistência a tração e módulo de elasticidade, entretanto na no alongamento a tração houve grande redução de 86% o que se deve ao fato da afinidade química que existiu entre polímero e fluído estudados, isso ocorreu devido o PET reciclado ser um polímero amorfo o que faz ele ter um alto nível de cadeias poliméricas livres, o que ajudou na difusão do álcool etílico na sua região intermoleculares, ocasionando aparecimentos de *crazes* e na diminuição do alongamento no ensaio de tração.

REFERÊNCIAS

- De POLI. M.A. Degradação e Estabilização de Polímeros. São Paulo: Artliber Editora, 2009.
- GREELMANN, W.; SEIDLER, S. Deformation and Fracture Behavior of Polymers. Engineering Materials, 2013.
- HANSEN, C. M. - Polym. Degrad. Stab., 77, p.43, 2002.
- JANSEN, J. A.. Adv. Mater. Process June 2004, 50.
- MANO B. E; MENDES, L. C. Introdução a Polímeros. 2. ed., Blucher, 1999.
- MOSKALA E.J.; M. Jones Medical Plastics and Biomaterials Magazine 1998.
- RABELLO, M, DE PAOLI, M. A. Aditivação de Termoplásticos. São Paulo: Artliber Editora, 2013.

TEÓFILO, E. T. et al. - Stress Cracking e ataque químico do PET em diferentes agentes químicos. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 19, nº 3, p. 202-211, 2009.

WIEBECK, H.; HARADA, J. - “Plásticos de engenharia: tecnologia e aplicações”. Artiliber, São Paulo, 2005.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este trabalho.