



## AVALIAÇÃO DO TENSOFISSURAMENTO EM FRASCOS SOPRADOS DE PEAD COM FLUÍDOS DOMISSANITÁRIOS

Lucas M. Hallmann<sup>1,2\*</sup>, Edson L. Francisquetti<sup>2</sup> e Ruth M. C. Santana<sup>1</sup>

1 - Departamento de Materiais, Laboratório de Materiais Poliméricos (LAPOL), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS.

2 - Departamento de Materiais, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), Farroupilha, RS.

Avenida São Vicente, 785, Bairro Cinquentenário, Farroupilha, CEP 95174-274, RS.  
lucas.hallmann@farroupilha.ifrs.edu.br

### RESUMO

Atividades domésticas como limpeza e desinfecção de superfícies, são viabilizadas por domissanitários, ou seja, produtos químicos de uso doméstico. Porém, a armazenagem, transporte e manuseio inadequado pode ocasionar casos graves de intoxicação de animais e pessoas. Por isso, as embalagens além de acondicionarem os produtos, servem também como uma barreira para proteger o usuário do produto. Um dos materiais mais utilizado para criação dessas embalagens é o polietileno de alta densidade (PEAD), contudo este polímero pode apresentar tensofissuramento (stress cracking), podendo causar rachaduras nas embalagens. Tendo isso, o presente trabalho busca avaliar o stress cracking em embalagens sopradas de PEAD, indicadas para acondicionamento de produtos domissanitários utilizando como tensoativos o detergente, hipoclorito de sódio (água sanitária, HS) e peróxido de hidrogênio (PH), os quais são produtos químicos utilizados domesticamente. Os testes foram realizados utilizando frascos de 5 litros soprados empregando o método de tiras dobradas (ASTM D1693). Os resultados observados, tomando o critério de quantidade de danos nos corpos de prova, demonstram que o fluido detergente tem resultados mais danosos enquanto a HS e o PH tiveram um desempenho inferior. Porém, considerando o total das regiões afetadas, o fluido que se sobressai é o HS que afetou todas as regiões analisadas. Ainda, mesmo que o resultado do HS e PH sejam similares, se considerarmos a natureza do dano, o PH é mais agressivo devido a quantidade de geração de fraturas nas amostras.

**Palavras-chave:** Stress Cracking, Polietileno, embalagens, domissanitários

### INTRODUÇÃO

A popularização do acesso aos produtos químicos domésticos trouxe inúmeros benefícios, principalmente na saúde coletiva. Hábitos corriqueiros, como a higienização das mãos, tem impacto significativo contra as infecções e propagações de doenças causadas por microrganismos. Uma evidencia disso aparece nas campanhas de reforço a esse comportamento durante a pandemia de COVID-19 <sup>(1, 2)</sup>. Os produtos definidos como químicos domésticos são chamados de domissanitários, os quais são utilizados para desinfecção, sanitização, limpeza e

desinfestação de ambientes e superfícies <sup>(3)</sup>. São produtos utilizados por consumidores comuns, disponíveis no comércio. Suas embalagens, inclusive, auxiliam o autoatendimento no momento da compra, agindo como um vendedor silencioso <sup>(4)</sup>.

Todavia, a utilização inadequada desses produtos pode trazer inúmeros malefícios, como causar impactos ambientais, problemas a saúde humana <sup>(5)</sup> e animal <sup>(5, 6-7)</sup>. No caso de animais domésticos, agentes domissanitários estão listados em seguida aos agrotóxicos como fontes de intoxicação <sup>(7)</sup>. Em humanos, especialmente crianças e adolescentes, podem ocorrer quadros de intoxicações exógenas agudas <sup>(8)</sup>, muitas vezes ocasionada pela facilidade de acesso aos produtos em razão da grande oferta de produtos disponíveis e no apelo publicitário vinculado aos meios de comunicação <sup>(9)</sup>. Essa estratégia de aliar embalagem ao marketing do produto é culpada pelo excesso de material utilizado <sup>(4)</sup>, muitas vezes beneficiando a atratividade em detrimento da correta orientação de uso do conteúdo químico. Se aliarmos isso a armazenagens inapropriadas e problemas de durabilidade das embalagens, o risco de intoxicação acidental aumenta <sup>(8)</sup>.

Considerando esses fatores, o estudo do *Environmental Stress Cracking* (ESC) em embalagens de domissanitários tem sua importância, não apenas pensando na função da embalagem enquanto invólucro para proteger e transportar o seu conteúdo, mas também como uma barreira de proteção para seu usuário <sup>(4)</sup>. A ocorrência do ESC, ou tensofissuramento, se dá através de uma ruptura na superfície de um polímero, devido a trações mecânicas poli axiais momentâneas <sup>(10, 11)</sup>. Sendo um incidente físico decorrente do contato entre um agente surfactante e aplicação de tensão, está ligado a ambiente quimicamente agressivo e, a soma desses fatores, causa uma fadiga que resulta um desentrelaçamento das cadeias moleculares. Isso culmina em uma ruptura <sup>(10, 11-15)</sup>.

O material regularmente utilizado pela indústria de domissanitários, devido as características dos produtos envasados <sup>(4, 11)</sup>, fatores ambientais externos, consumo de energia e demanda de matérias primas trata-se do polietileno de alta densidade (PEAD). Esse polímero tem propriedades mecânicas moderadas, mas com grande resistência química, possibilidade de soldagem a quente e resistente obstrução a água <sup>(4, 11, 16)</sup>.

Assim, o presente trabalho tem como finalidade avaliar comparativamente o tensofissuramento em frascos soprados de PEAD, utilizando como agentes tensoativos o detergente, hipoclorito de sódio (água sanitária, HS) e peróxido de hidrogênio (água oxigenada, PH), utilizando o método de tiras dobradas da ASTM D1693 <sup>(10, 11, 15)</sup>.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O método de tiras dobradas (*bent strip test*) foi utilizado segundo os padrões da ASTM D1693, pois ele é uma forma de representar as tensões e esforços mecânicos encontrados no uso do material no cotidiano <sup>(10, 11)</sup>. As dimensões, espessura e entalhe dos corpos de prova são, respectivamente, 38x13 mm, 1,84≈1,97 mm, 0,3≈0,4 mm, conforme as orientações do teste B (Figura 1). A imersão do banho nos fluidos ficou a uma temperatura constante de 50 °C <sup>(10, 13)</sup>.

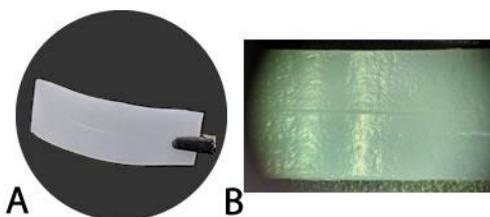


Figura 1: Exemplo de corpo de prova (A). Detalhamento (B).

Os corpos de prova foram extraídos de frascos soprados de PEAD de 5 litros (Figura 2), sem exposição prévia alguma a qualquer fluídos. Foram retirados de diversas áreas e classificados segundo as seguintes características: curva superior (A), lisa ou plana (B), curva inferior (C), linha de fechamento do molde (D), linha de fechamento do molde marcado (E) e linha de fechamento do molde de base (F).

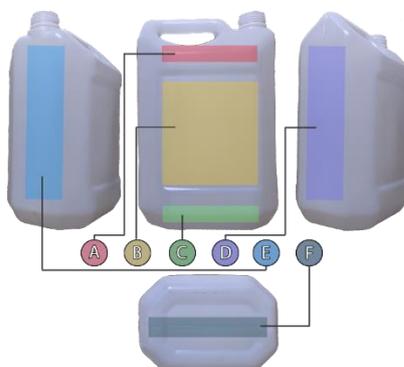


Figura 2: Áreas de retirada dos corpos de prova. Da esquerda para direita: A, B, C, D, E e F.

Os fluídos tensoativos utilizados para comparação no experimento foram o detergente comercial neutro, hipoclorito de sódio e o peróxido de hidrogênio, em soluções utilizadas comercialmente, visando maior verossimilhança do experimento com a realidade do consumidor.

A classificação do dano segue as seguintes diretrizes: devem ser perceptíveis a olho nu <sup>(10)</sup>, danos  $\leq 0,05\text{mm}$  são classificados como microfissuras, danos  $> 0,05$  e  $\leq 0,5\text{mm}$  são classificados como fissuras e  $> 0,5$  e  $\leq 1,0\text{mm}$  são consideradas trincas <sup>(17)</sup>. O sentido da ramificação do dano foi classificado como transversal ou longitudinal em relação ao entalhe. No caso da não ocorrência de dano, foi considerado como íntegro. Situações que contemplem mais de uma caracterização foram denominadas como cruz.

O tempo de duração do experimento progrediu até a estabilização dos resultados. O critério para concepção de “estabilização” foi considerar a duração sem alterações perceptíveis igual ao mesmo período do início do surgimento dos primeiros resultados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os primeiros resultados apresentados são as consequências gerais de danos nas amostras em cada um dos fluídos. No detergente, o comportamento de dano ocorre em 61% das amostras contra 50% do hipoclorito de sódio e o peróxido de hidrogênio. O detergente apresenta danos nas categorias de microfissura, fissura e trinca. O hipoclorito de sódio e o peróxido de hidrogênio apresentam danos de microfissuras e fissuras.

Quanto a área de predominância de danos, no caso do detergente elas ocorrem em D, E e F. Microfissuras ocorrem 100% em D e 33% em E. Fissuras ocorreram 100% das vezes em F. Trincas ocorreram 66% das vezes em E. Todas ocorreram de maneira transversal. No hipoclorito de sódio, os maiores danos aparecem em D e F, com 66% e 100% respectivamente. Microfissuras são as maiores ocorrências, com exceção de F onde só ocorrem fissuras (Figura 3). Todas ocorreram de maneira transversal. Por último, no peróxido de hidrogênio, os danos aparecem em D, E e F. Em D, ocorreram microfissuras em 100% das amostras, já em E, foram em 66%. Na última região afetada, F, ocorreram fissuras em 100% dos corpos de prova. Todas ocorreram de maneira transversal como nos outros fluídos experimentados. Para um melhor

entendimento do comportamento geral dos danos, a Figura 4 mostra o somatório de ocorrências por região do frasco.

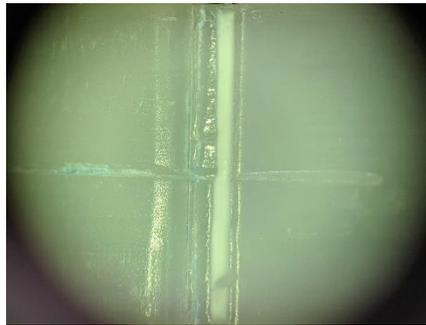


Figura 3: Detalhe da classificação de fissura com sentido transversal.

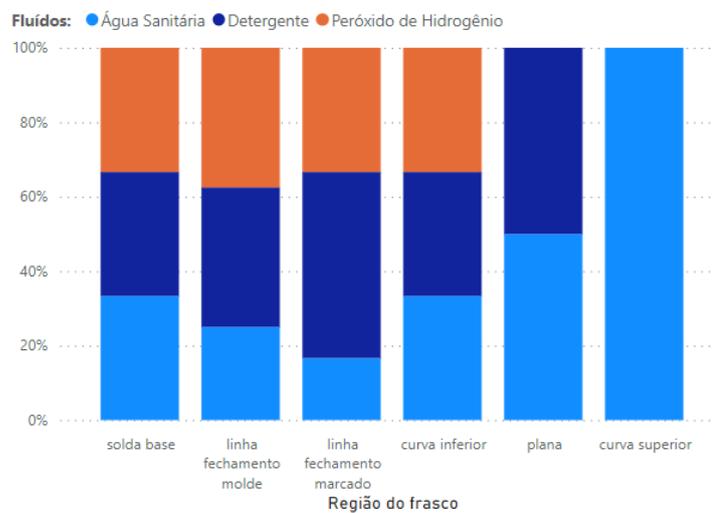


Figura 4: Comportamento geral de danos, somatório independente de classificação de fratura.

O tempo total de duração do experimento foi de 11 dias até a estabilização dos resultados. O experimento foi acompanhado diariamente sem interrupções. Um resumo das informações pode ser encontrado abaixo na Tabela 1.

Tabela 1: Resumo dos resultados do experimento

Fluído	Amostras mais afetadas	Dano predominante	Sentido	Tempo médio aparecimento danos (dias)
Detergente	D-E-F	Microfissuras	Transversal	4
Hipoclorito de sódio	D-F	Microfissuras	Transversal	3
Peróxido de hidrogênio	D-E-F	Microfissuras/Fissuras	Transversal	2,3

## CONCLUSÕES

Podemos deduzir dos resultados experimentais que tanto a velocidade, quanto a intensidade do dano ocorrem de maneiras distintas em todos os fluídos. Embora a predominância de danos seja nas regiões de linha de fechamento do molde, esse critério

considerou somatória de danos localizados nesses pontos e não a gravidade. De mesma forma, não temos uma unanimidade no tipo de dano em todos os fluídos.

O peróxido de hidrogênio agiu mais rapidamente e causou fraturas de natureza diversa, porém o detergente causou uma fratura catastrófica na região lisa/plana do frasco (em aproximadamente 96 horas), mesmo ficando fora do levantamento da somatória de danos por região. Esse é um ponto que vale destaque. Agressividade da ação do fluido se refere a velocidade da propagação da fissura e quantidade de regiões afetadas, sendo que a intensidade alude a gravidade do dano (pontual) da fratura.

Considerando a evolução da fratura iniciando com a dano de menor intensidade (microfissura) até o de maior intensidade (trinca), devemos entender que, na estrutura do frasco, essa evolução não caracteriza, necessariamente, a gravidade do dano. Ainda assim, podemos mapear as fragilidades na estrutura desses frascos, detectando pontos que precisam de melhorias.

As regiões frágeis que se destacam são especialmente problemáticas, pois mesmo que o frasco seja acomodado da maneira convencional (verticalmente) ou então empilhado (horizontalmente), as faturas resultantes do tensofissuramento causariam vazamentos. Isso, somado a descasos ou desatenção dos usuários dos domissanitários pode contribuir para aumentar as estatísticas das situações anteriormente apresentadas.

## REFERÊNCIAS

1. GONÇALVES, Rozemy Magda Vieira; GORREIS, Terezinha de Fátima; SORDI, Rosane Maria; SOUZA, Elisangela; RODRIGUES, Nicole Hertzog. Higiene das mãos em tempos de pandemia. Revista Eletrônica Acervo Enfermagem, [S.L.], v. 12, p. 1-6, 14 jul. 2021.
2. BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Como se proteger? 2021.
3. FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ (Rio de Janeiro). Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde. NT/SAN - Núcleo Técnico de Saneantes. 2022. Elaborado por: INCQS/FIOCRUZ.
4. TWEDE, Diana; GODDARD, Ron. Materiais: materiais para embalagens. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010. 171 p. Tradução de: Sebastião V. Canevarolo Jr.
5. OLIVEIRA, Mayara Alcântara de; COSTA, Marycleid Santos; ALVES, Luiza Aquilma de Souza; CARDOSO, Camila Clementino; SOUZA; CMP. UTILIZAÇÃO POPULAR DE DOMISSANITÁRIOS E RISCOS DE INTOXICAÇÃO. In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DA SAÚDE, 2., 2017, Campina Grande. Anais [...]. Campina Grande: Realize, 2017. v. 1, p. 1-4.
6. FIOCRUZ. SINITOX: sistema nacional de informações tóxico-farmacológicas. Sistema Nacional de Informações Tóxico-Farmacológicas. 2009. Elaborado por ICICT.
7. ALMEIDA, Cinthia Guedes de; XAVIER, Fabiana Galtarossa; FERRANTE, Telma; SPINOSA, Helenice de Souza. Intoxicações em cães e gatos: uma análise casuística. 2007.
8. SCHVARTSMAN, Cláudio; SCHVARTSMAN, Samuel. Intoxicações exógenas agudas. 1999
9. PRESGRAVE, Rosaura de Farias. Avaliação das intoxicações acidentais humanas causadas por produtos saneantes domissanitários como subsídio para ações de vigilância sanitária. 2007. 161 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Vigilância Sanitária, Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde da Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2007.
10. ASTM INTERNATIONAL. ASTM D1693: Standard Test Method for Environmental Stress-Cracking of Ethylene Plastics. 15 ed. West Conshohocken: Astm, 2020. 11 p.
11. SINGLETON, C. J.; ROCHE, E.; GEIL, P. H. Environmental Stress Cracking of Polyethylene. Journal Of Applied Polymer Science, Cleveland, v. 21, n. -, p. 2319-2340, 1977.
12. RABELLO, Marcelo Silveira. Estrutura e propriedades de polímeros. Campina Grande: Digital, 2021. 269 p.
13. MAINKA, Camila Pilatti. Influência dos parâmetros moleculares nas propriedades do polietileno de alta densidade. 2018. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Lapol, Ufrgs, Porto Alegre, 2018

14. FRANGIPANI, Márcio José Oliveira. Estudo do tensofissuramento em geomembranas de polietileno de alta densidade utilizadas em aterros de resíduos. 2018. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Lapol, Ufrgs, Porto Alegre, 2018.
15. LAVOIE, Fernando Luiz; BUENO, Benedito de Souza. O Fenômeno de Fissuramento Sob Tensão (Stress Cracking): Mecanismos de Ocorrência e Ensaio em Geomembranas. 2006.
16. MANO, Eloisa Biasotto; MENDES, Luís Cláudio. Introdução a Polímeros. 2. ed. Rio de Janeiro: Blucher, 1999. 191 p.
17. ABNT. NBR 9575: Impermeabilização – seleção e projeto. Rio de Janeiro. 2003

## **EVALUATION OF STRESS CRACKING IN PEAD BLOWN BOTTLES WITH HOUSEHOLD FLUIDS**

### **ABSTRACT**

*Domestic activities such as cleaning and disinfection of surfaces are made possible by household chemicals. However, storage, transport and inappropriate handling can cause serious cases of poisoning to animals and people. For this reason, the packaging, in addition to packing the products, also serves as a barrier to protect the user of the product. One of the most used materials for creating these packages is high-density polyethylene (HDPE), however, this polymer can present stress cracking, which can cause cracks in the packages. With this in mind, the present work seeks to evaluate stress cracking in HDPE blown packages, indicated for packaging household cleaning products using detergent, sodium hypochlorite (bleach, HS) and hydrogen peroxide (PH) as surfactants, which are chemicals used domestically. The tests were conducted using 5 liter blown bottles employing the folded strip method (ASTM D1693). The results observed, taking the criterion of the amount of damage to the specimens, show that the detergent fluid has the most damaging results while HS and PH performed less well. However, considering the total of the affected regions, the fluid that stands out is the HS which affected all the regions analyzed. Still, even though the results of HS and PH are similar, if we consider the nature of the damage, PH is more aggressive due to the amount of fracture generation in the samples.*

**Keywords:** *Stress Cracking, Polyethylene, packaging, household*