

DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO COLAPSO DE GARRAFAS PLÁSTICAS

*Maurício R. Bordin, Léa M. de Oliveira,
Claire Sarantópoulos e Rodrigo Ferro*

Frente a pressões econômicas e ambientais tem-se observado uma tendência de redução de peso de embalagens plásticas o que, apesar de apresentar aspectos favoráveis, pode comprometer o desempenho mecânico da embalagem durante transporte, distribuição e estocagem. Com isto, aumenta-se o risco de falha do sistema por problemas de empilhamento e colapso devido à redução da pressão interna. O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma metodologia simples e rápida para avaliar a resistência ao colapso de garrafas plásticas submetidas a uma pressão interna inferior à externa.

Metodologia

Este método foi baseado na curva de redução de volume versus pressão interna da garrafa, que apresenta três fases distintas: a primeira delas é uma acomodação da garrafa à situação de stress e ocorre para valores de diferencial de pressão baixos; a segunda fase se caracteriza por uma variação proporcional e reversível entre diferencial de pressão e variação de volume. Esta segunda fase compreende a fase elástica do sistema, onde ao ser aplicado o diferencial de pressão, a garrafa resiste ao esforço, apresentando uma deformação que é restituída, uma vez cessado o esforço. A terceira e última fase se caracteriza por uma rápida e acentuada variação de volume depois de pequena variação na força ou no diferencial de pressão. Este ponto caracteriza o colapso da garrafa, provocando deformações plásticas que, uma vez cessado o esforço aplicado, ainda permanecem na garrafa.

A resistência ao colapso foi avaliada utilizando um sistema composto de manômetro de mercúrio com coluna de 760mmHg (1atm), ligado a uma bomba de vácuo, a uma balança semi-analítica com resolução de 10-2g e a um kitassato de 1000mL. Inicialmente a garrafa sob teste foi cheia com água tratada de rede à temperatura ambiente, até sua capacidade máxima e fechada com uma rolha de borracha. O vácuo da bomba é aplicado ao kitassato (5) através de uma válvula tipo registro (2), que controla a quantidade de vácuo aplicada. O nível de vácuo é medido pelo deslocamento da coluna de mercúrio (1) e aplicado à garrafa através de um tubo, que passa através da rolha de fechamento da garrafa. Este diferencial de pressão faz com que a água da garrafa (6) seja sugada para o kitassato, onde é acumulada. A variação de massa do kitassato é diretamente proporcional à variação do volume interno da garrafa. Para a validação do método utilizaram-se 15 tipos de garrafas distribuídas nos seguintes grupos: mesmo formato e diferentes pesos; mesmo formato e diferentes processos de fabricação; diferentes formatos. Avaliou-se ainda a possível influência do nível de

enchimento no ensaio. Os gráficos apresentam os dados obtidos imediatamente antes do colapso da garrafa, que representam a região elástica do sistema.

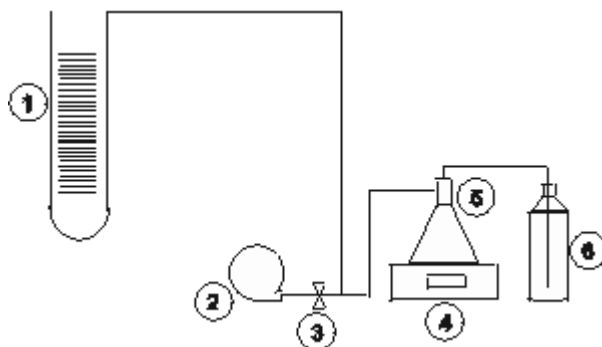


FIGURA 1. Esquema do sistema utilizado para medir a variação de volume em função da pressão no interior da garrafa.

Resultados

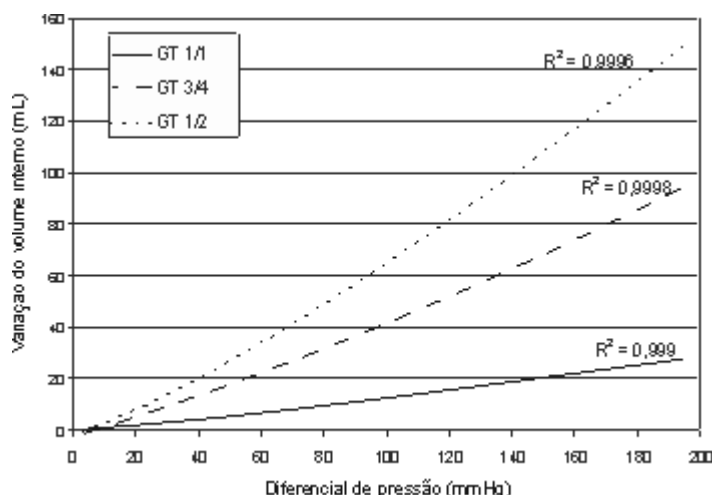


FIGURA 2. Influência do nível de enchimento da garrafa na sua resistência ao colapso.

A Figura 2 demonstra que o nível de enchimento (total, $\frac{3}{4}$ e $\frac{1}{2}$ do volume total) não tem influência na tendência da curva mas determina seu coeficiente angular, o que provavelmente está relacionado à compressibilidade do ar no espaço-livre da embalagem. Quanto maior o espaço-livre, maior a quantidade de água transferida para o kitassato e, conseqüentemente, maior a variação do volume interno para um mesmo diferencial de pressão.

A Figura 2 demonstra que o nível de enchimento (total, $\frac{3}{4}$ e $\frac{1}{2}$ do volume total) não tem influência na tendência da curva mas determina seu coeficiente angular, o que provavelmente está relacionado à compressibilidade do ar no espaço-livre da embalagem. Quanto maior o espaço-livre, maior a quantidade de água transferida para o kitassato e, conseqüentemente, maior a variação do volume interno para um mesmo diferencial de pressão.

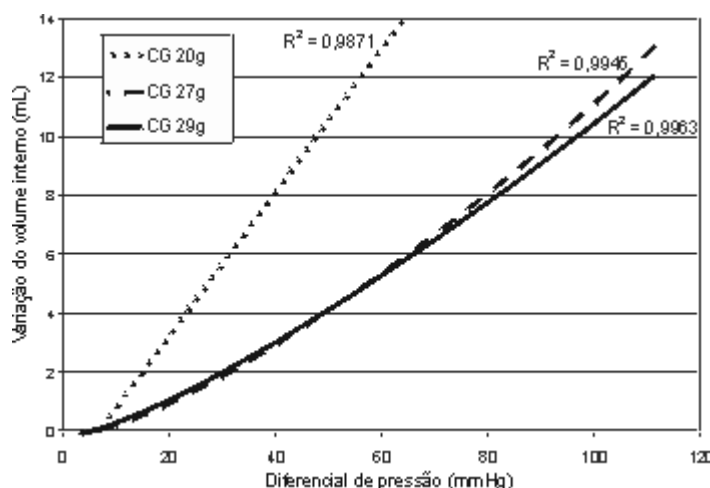


FIGURA 3. Influência do peso na resistência ao colapso de garrafas com o mesmo formato garrafa CG.

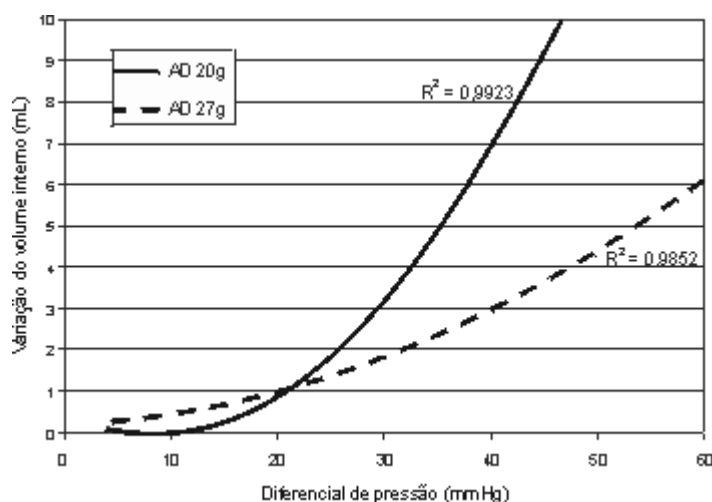


FIGURA 4. Influência do peso na resistência ao colapso de garrafas com o mesmo formato garrafa AD.

A Figura 3 mostra o comportamento da garrafa CG, com pesos de 20, 27 e 29 gramas. A Figura 4 mostra o comportamento da garrafa AD com pesos de 20 e 27 gramas. Em ambos os casos, a resina e o processo de fabricação utilizados foram os mesmos para cada conjunto de garrafa.

Verificou-se que uma redução de 7%, no peso da garrafa CG (29 para 27 gramas), causou apenas uma pequena redução no valor de diferencial de pressão de colapso, apresentando, as duas garrafas, um comportamento muito próximo. Já uma redução de 26% no peso (27 para 20 gramas), tanto na garrafa CG quanto na AD, causou uma mudança de comportamento caracterizada pelo enfraquecimento da parede, ou seja, perda de resistência ao colapso, o que resultou em maior variação de volume interno nas garrafas mais leves para um dado diferencial de pressão interna. Durante a execução dos ensaios observou-se que quanto menor a resistência da garrafa, maior a dificuldade para sua execução, provavelmente devido à maior instabilidade das paredes da garrafa. Esta instabilidade pode ser observada na porção inicial dos gráficos da Figura 4.

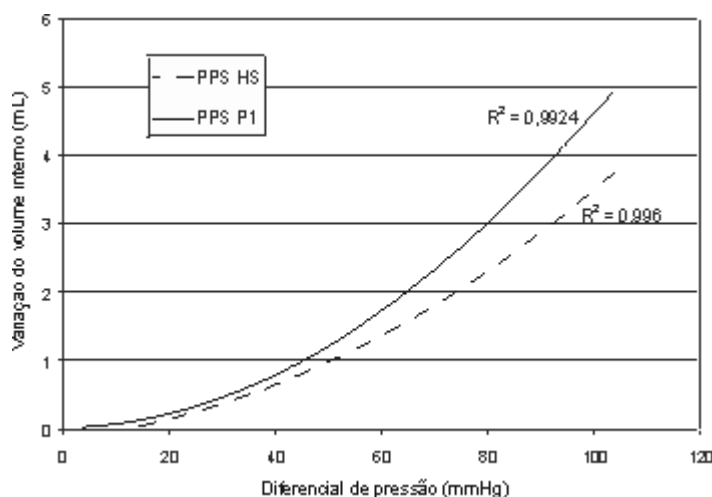


FIGURA 5. Influência do processo de fabricação da garrafa na sua resistência ao colapso.

A Figura 5 mostra o comportamento da garrafa PPS, produzida de forma convencional (P1) e por um segundo método que permite maior biorientação (HS). O processo de fabricação, que permite maior biorientação da garrafa (HS), conferiu à embalagem maior resistência ao colapso, uma vez que para um mesmo diferencial de pressão, cerca de 110mmHg, a garrafa convencional apresentou maior variação no volume interno.

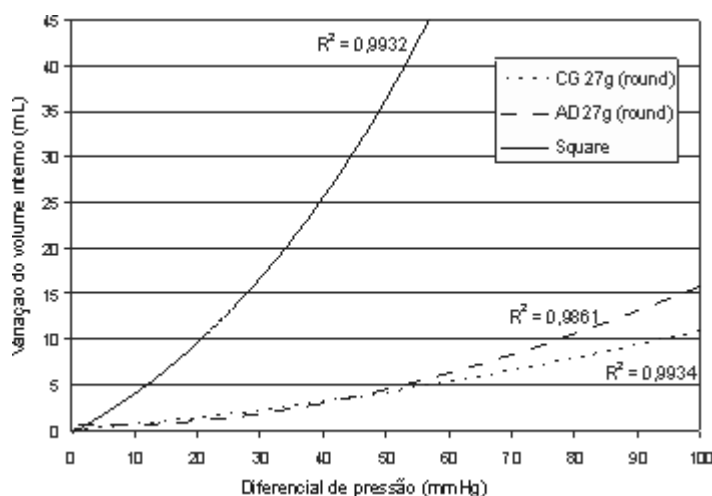


FIGURA 6. Influência do formato da garrafa na sua resistência ao colapso.

A Figura 6 mostra o comportamento de uma garrafa de seção transversal quadrada, peso de 26g e duas garrafas de seção transversal circular, peso de 27g. O formato quadrado apresentou maior suscetibilidade ao colapso quando comparado ao redondo, pois, para os mesmos níveis de diferencial de pressão, a variação no volume interno da garrafa quadrada foi cerca de 10 vezes superior ao apresentado pelas redondas.

Conclusões

Os resultados apresentados demonstram que o método de avaliação de resistência ao colapso via aplicação de vácuo interno permite a comparação direta da resistência de garrafas com diferentes formatos, materiais, pesos e processos de fabricação, que serão submetidas à redução de sua pressão interna durante uso.

Logo, este método pode ser usado na especificação de embalagens, definição de condições de processo e envase e estimativa de desempenho durante estocagem e distribuição do produto.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP.