

ESTUDO DO TRATAMENTO TÉRMICO DE ALIMENTOS EM EMBALAGENS SEMIRRÍGIDAS

Beatriz Guitzel Borghi¹; Gabriel Candia Zara¹; Tatiana Guinoza Matuda Masaoka²

¹ Aluno de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

² Professor da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

Resumo. As mudanças comportamentais mudam os hábitos de consumo da população e geram preocupações em relação ao meio ambiente e a saúde, exigindo alimentos embalados de maior qualidade e segurança, o que demanda novos tipos e materiais de embalagem. O objetivo desse trabalho foi estudar o comportamento de embalagens semirrígidas plásticas, durante o tratamento térmico em autoclave, tendo como variáveis o espaço vazio e temperatura de preenchimento de forma a estudar o modelo matemático proposto que correlaciona a variação de volume e a diferença de pressão no interior da embalagem e na autoclave.

Introdução

Atualmente, cresce a preocupação do consumidor com os alimentos em relação aos reflexos sobre saúde, meio ambiente e praticidade. Os produtos prontos ou semielaborados favorecem a praticidade exigida pelo fato de mais pessoas viverem sozinhas, ou pela grande quantidade de mulheres que trabalham fora e, portanto, não têm tempo suficiente para preparar as refeições da família (SCALESE JR, 1998). Entretanto, muitos destes alimentos ditos convenientes de fácil preparação e rápido consumo não trazem a quantidade nutricional diária requerida, ou a qualidade alimentar desejada pelo consumidor.

Holdsworth e colaboradores (2007) afirmam que a expressão “alimentos embalados” é utilizada em um sentido geral e se destinam a uma variedade de embalagens, não somente folha-de-flandres, alumínio e vidro, mas também para materiais plásticos rígidos e semirrígidos. As embalagens semirrígidas podem possuir composição metálica, como bandejas de alumínio; plástica, como bandejas de poliestireno expandido ou potes termo-formados; ou de papel, como caixas e bandejas em polpa expandida (SCALESE JR, 1998). Também é de conhecimento que a embalagem no processo de compra atua como instrumento de escolha de um produto e pode interferir com maior ou menor intensidade, dependendo da categoria, evidenciando desta forma, a relação consumidor-produto-marca. (FABRIS *et al.*, 2006).

De acordo com a pesquisa Brasil Food Trends 2020, realizada pela Fiesp-Ital (2010), a embalagem semirrígida plástica é amplamente utilizada em processamento de alimentos, inclusive para aqueles de média acidez, nos quais é necessário tratamento térmico com aplicação de temperaturas superiores a 100°C com o auxílio de autoclaves, aumentando a vida de prateleira do alimento.

Segundo Tadini e colaboradores (2015), é notório que produtos alimentícios *in natura* contêm muitos microrganismos e que em razão de suas atividades metabólicas podem causar deterioração do alimento e ou oferecer risco à saúde dos consumidores. Nesse cenário, a aplicação do calor como método de conservação do alimento, aumentando a vida de prateleira, é amplamente utilizada pela indústria com objetivo de destruir parcial ou totalmente esses agentes deterioradores ou patogênicos. Em sua maioria, esses métodos de preservação derivam do conhecido processamento térmico desenvolvido por Appert.

Autoclaves são vasos de pressão que podem ser selados e inundados com vapor saturado sob pressão, a maior parte dos equipamentos de esterilização usados nas indústrias são as autoclaves de batelada, as quais são desenhadas para maximizar a eficiência do processo e a qualidade do produto. Sua função é produzir um produto alimentício inócuo e de boa qualidade (TADINI *et al.*, 2015).

A esterilização é amplamente utilizada e consiste no enchimento em um recipiente hermético que é inserido em uma autoclave em uma dada temperatura por um certo tempo (binômio tempo-

temperatura), com a finalidade de destruir os microrganismos presentes e inativar as enzimas capazes de deteriorar o alimento durante a estocagem (FELLOWS, 2006). O processo depende de fatores como as características físicas do produto e a forma da embalagem, o tipo e resistência térmica do indicador biológico do processo e características como pH, atividade de água e o conteúdo de sal no alimento. Enquanto a pasteurização consiste em expô-los a uma temperatura inferior a seu ponto de ebulição e submetê-los em seguida a resfriamento súbito, a fim de eliminar certos microrganismos nocivos, tendo como principais exemplos os processamentos de leite, queijo e iogurte.

O desempenho do processo térmico é verificado pelo seu nível de letalidade, assim, o adequado cálculo do processo térmico depende do conhecimento do número inicial de microrganismos por unidade de volume ou massa (N_0) comparado ao nível aceitável de microrganismos após o processo (N) (TADINI *et al.*, 2015).

O tratamento térmico pode ser avaliado por meio de curvas de penetração do calor, as quais têm como principal objetivo obter com precisão o registro de temperatura do produto na embalagem, no seu ponto de aquecimento mais lento, ao longo do processo. Essa medida é obtida com uso de termopares, que irão monitorar os perfis de temperatura que dependem das propriedades termo físicas do produto e da embalagem e as condições experimentais da autoclave. A Figura 1 mostra um exemplo dos perfis de temperatura do ponto mais lento no alimento e da autoclave e de pressão no interior de uma lata e da autoclave, típicos de um processo térmico de um alimento enlatado em autoclave.

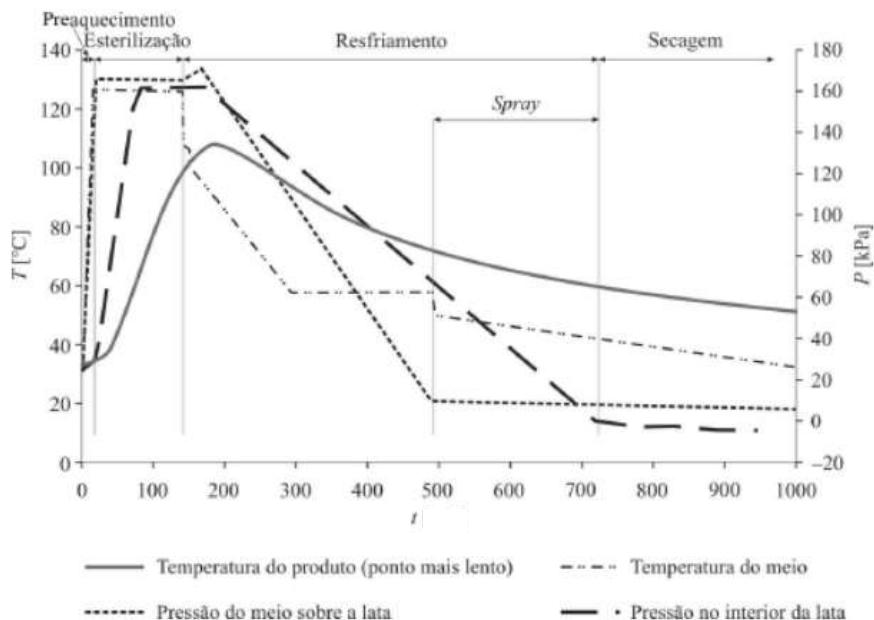


Figura 1: Perfis típicos de temperatura e pressão que ocorrem em um processo térmico em uma autoclave hidrostática (TADINI *et al.*, 2015)

Quando submetidos às altas temperaturas, os alimentos sofrem aumento de volume pelo aumento da pressão dos gases e do vapor de água presentes no seu interior, e consequentemente a pressão no interior da lata. Sendo assim, é importante que a embalagem seja resistente para suportar a variação da pressão interna. Em frascos e garrafas a variação de volume do alimento somente é possível se houver um espaço vazio, conhecido como *headspace*. As latas permitem uma variação de volume em consequência da expansão da tampa e do fundo e em menor escala seu corpo, enquanto as embalagens semirrígidas devem ser tratadas com maior pressão externa para garantir o contato da embalagem com o alimento, favorecendo a transferência de calor, essas embalagens quando seladas com folha de alumínio podem sofrer variação do volume em função do tratamento térmico.

O conceito de aplicação de calor aliado ao conhecimento sobre microrganismos e as reações bioquímicas envolvidos no alimento são base para o entendimento, obtenção e oferta de um produto seguro ao consumidor final (TADINI *et al.*, 2015). Desta forma, entende-se a importância da

contribuição de pesquisas relacionadas às embalagens e do grande número de estudos realizados com elas para qualificar os efeitos de processos térmicos nas propriedades físicas mecânicas e funcionais dos seus materiais, já que a integridade da embalagem e a preservação de suas propriedades durante e após o processo são parâmetros significantes para a segurança e qualidade do alimento (MENSITIERI *et al.*, 2013).

Este trabalho teve como objetivo estudar o comportamento das embalagens semirrígidas plásticas em relação à deformação, durante o tratamento térmico em autoclave, utilizando material conhecido, a água, e tendo como variáveis o espaço vazio e a temperatura de preenchimento, de forma a validar o modelo matemático proposto que correlaciona variação de volume vazio e a diferença de pressão no interior da embalagem e na autoclave.

Material e Métodos

Os experimentos foram realizados na planta piloto de engenharia de alimentos da Escola Mauá de Engenharia do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia.

Determinação experimental da pressão interna

A pressão no interior da embalagem foi determinada pelo modelo de Patel e colaboradores (1991), levando em consideração as seguintes hipóteses: a variação do volume da embalagem com a temperatura e a fração molar dos gases dissolvido no alimento considerados desprezíveis, a variação do volume do alimento calculada em função da variação de volume de água, o ar presente no espaço vazio obedece a lei dos gases perfeitos quando ocorre a operação de esterilização e um equilíbrio entre a fase líquida e gasosa no espaço vazio (Equação 1).

$$P_{i,t} = P_{v,t} \times (P_{atm} + P_{v,i}) * \frac{T_t}{T_i} * \left[\frac{1}{1 + \frac{V_{alim}}{V_{vazio}} + 1 - \left(\frac{\rho_i}{\rho_t} \right)} \right] \quad (1)$$

No qual $P_{i,t}$ é a pressão no interior da embalagem no tempo t, $P_{v,t}$ é a pressão de vapor no tempo t, P_{atm} é a pressão atmosférica, $P_{v,i}$ é a pressão de vapor inicial, T_t e T_i são as temperaturas no tempo t e inicial respectivamente, V_{alim} é o volume de alimento, V_{vazio} o espaço vazio no interior da embalagem e ρ_i e ρ_t as densidades do alimento no início e no instante t.

Aplicação do modelo

As embalagens semirrígidas plásticas utilizadas nos experimentos de tratamento térmico foram doadas pela empresa BEMIS (São Paulo), com volume de 300 ml e os selos de vedação de alumínio foram doados pela empresa PepsiCo (Figura 2). A embalagem semirrígida tem composição PP/EVOH/PP, ou seja, multicamada com polipropileno e etileno vinil álcool. Os ensaios em sua maioria foram realizados com água destilada em substituição ao alimento, por suas propriedades serem conhecidas.

Para o estudo do tratamento térmico foi utilizada a autoclave Getinge Infection Control modelo GEV 6612 EC-1 (Figura 3) localizada na planta piloto da Escola de Engenharia do Centro Universitário Mauá de Tecnologia.



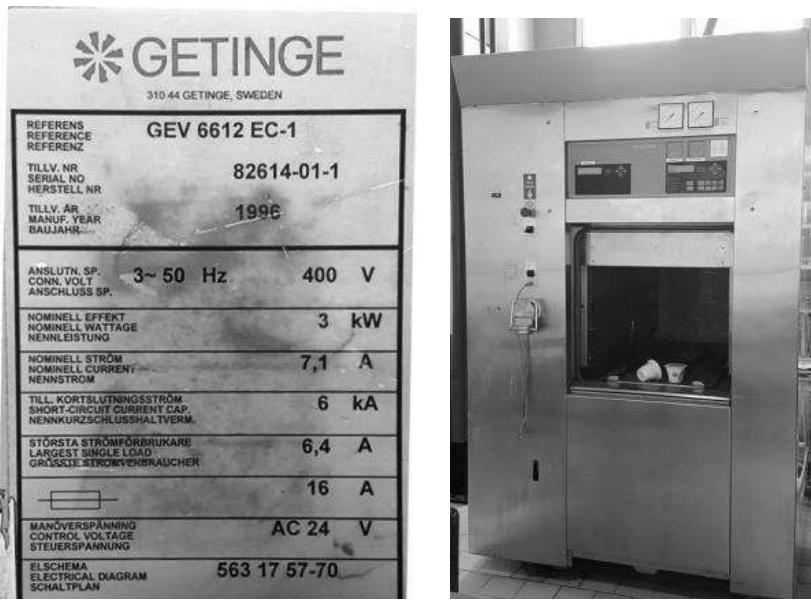


Figura 3: Autoclave Getinge Infection Control modelo GEV 6612 EC-1 e suas especificações.

O método de avaliação consistiu nas seguintes etapas: as embalagens semirrígidas plásticas foram preenchidas com água destilada e seladas com o selo de alumínio. Algumas receberam previamente uma perfuração de pequeno diâmetro para a introdução do termopar para medir a temperatura da água (Figura 4). As temperaturas da autoclave e da água destilada no interior da embalagem foram obtidas com termopares das marcas Madgetech Hi temp 140 e Data 3 M3T34774 respectivamente. Para obter a pressão na autoclave foram utilizadas as informações obtidas do painel da mesma no intervalo de 1 min nos experimentos 1 e 2 e 30 s para o experimento 3.

Para o cálculo da pressão no interior da embalagem (Equação 1) foi necessário determinar a pressão de vapor e a densidade da água destilada no instante inicial e ao longo do processamento. A pressão de vapor (P_V) foi obtida pelo modelo de Antoine (Equação 2), que relaciona pressão de vapor (kPa) e temperatura (°C) para substâncias puras e a densidade pela Equação 3.

$$\log p_v = 16,3872 + \frac{2818,6}{T} + 1,6908 \log(T) - 0,0057546T + 4,0076 \cdot 10^{-6}T^2$$

para água no intervalo de 0 a 200°C (2)

$$\rho = 682,78 + 2,7497 * T - 0,0069 * T^2 + 4,0586 \cdot 10^{-6} * T^3$$

para água, temperatura em Kelvin (3)



Figura 4: Posicionamento do termopar na embalagem semirrígida para aquisição de temperatura.

Ao todo foram realizados três ensaios para verificar se o modelo de Patel (Equação 1) é adequado às embalagens semirrígidas estudadas quando submetidas ao tempo e temperatura comumente utilizados nos tratamentos térmicos de alimentos. A Tabela 1 mostra os detalhes dos experimentos realizados.

Em cada um dos três ensaios foram utilizadas nove embalagens submetidas a condições extremas, como menores e maiores volumes de água e temperaturas de preenchimento. A pressão atmosférica considerada foi de 0,90 bar. Os termopares nos ensaios 1 e 2 foram colocados na embalagem que combinava volume e temperatura de preenchimento médios (200 ml e 61 ou 64°C), o que permitiria verificar o comportamento da embalagem na que seria a melhor condição estudada. No ensaio 3, os termopares foram colocados nas embalagens que apresentaram o menor volume e temperatura (150 ml e 22°C) e menor volume e maior temperatura (150 ml e 80,5°C) para avaliar os extremos, ou seja, as piores hipóteses. A esterilização foi realizada de acordo com a programação pré-estabelecida pelo fabricante da autoclave e consistiu em dez minutos de aquecimento, patamar a 128°C e resfriamento de trinta minutos, além da purga inicial que é importante para eliminar o ar da autoclave, pois se não houvesse essa etapa o vapor em presença do ar teria seu coeficiente de transferência de calor convectivo diminuído tornando o processo lento (TADINI *et al.*, 2015).

Tabela 1: Ensaios de aquisição das temperaturas no interior da embalagem e do meio (autoclave), variando o volume vazio nas embalagens e a temperatura de enchimento do alimento ou água para determinação da pressão interna da embalagem segundo o modelo de Patel.

Ensaios	Descrição
1	Embalagens semirrígidas (300 ml) Água Volume preenchido: 150, 200 e 250 ml Temperatura de preenchimento: 17, 64 e 79°C Total de embalagens: 9 Termopar: 200 ml a 64°C 128°C por 5 min
2	Embalagens semirrígidas (300 ml) Água Volume preenchido: 150, 200 e 250 ml Temperatura de preenchimento: 25, 61 e 80°C Total de embalagens: 9 Termopar: 200 ml e 61°C 128°C por 5 min
3	Embalagens semirrígidas (300 ml) Água Volume preenchido: 150, 200 e 250 ml Temperatura de preenchimento: 22,1, 66,2 e 80,5°C Total de embalagens: 9 Termopares: 150 ml e 22°C e 80,5°C 128°C por 30 min

Resultados e Discussão

Considerando a definição de Tadini e colaboradores (2015) em que a esterilização em autoclave é uma operação cíclica que inclui a purga da autoclave, a elevação da temperatura, a manutenção da temperatura e o resfriamento, foram obtidos os perfis de temperatura e pressão nos ensaios 1, 2 e 3 que mostram as três últimas operações (Figuras 5 e 7).

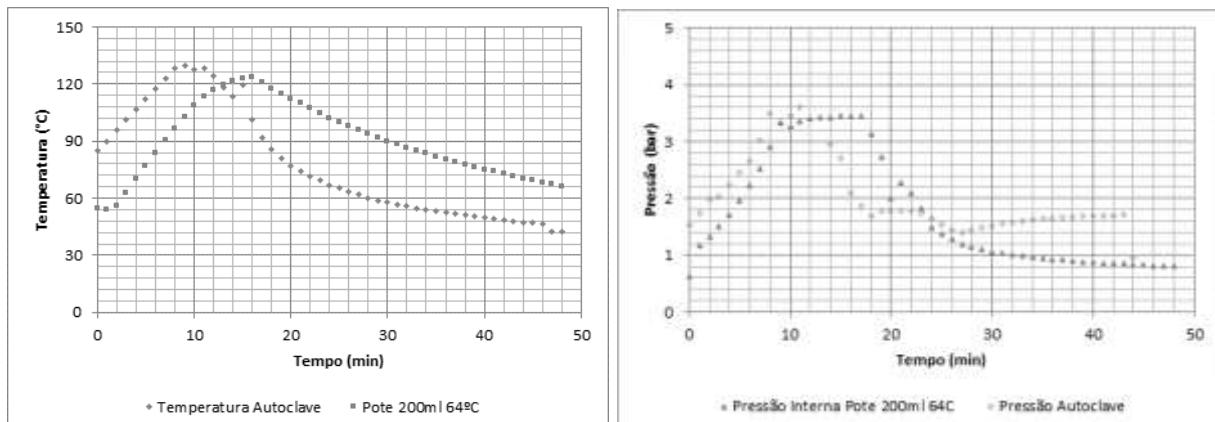


Figura 5: Perfis de temperatura e pressão do meio e no interior da embalagem no ensaio 1.

No ensaio 1, nota-se que a pressão no interior do pote permanece superior em boa parte do patamar e inferior no término do processo, o que pode explicar o fato de ao vistoriar as embalagens ao término do processo, percebeu-se que a maioria dos lacres não suportaram a pressão a que foram submetidos e se romperam (Figura 6). Outra observação, neste ensaio a temperatura da autoclave foi obtida do painel da mesma, o que impediu a obtenção das temperaturas com maior precisão. Nos ensaios 1 e 2, as embalagens mais danificadas foram as de menor volume de água e temperatura.

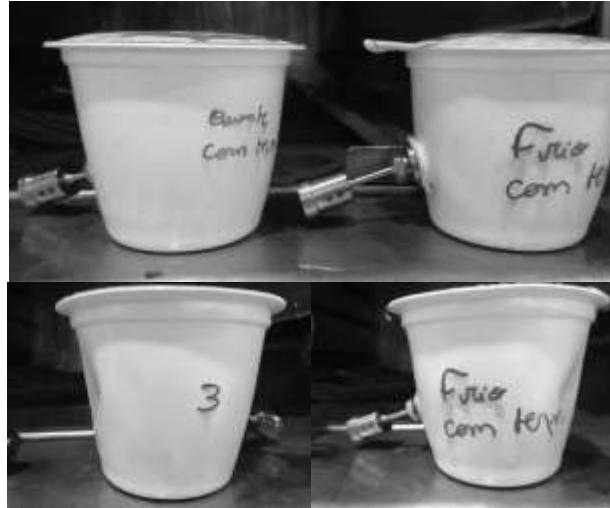


Figura 6: Embalagens após tratamento térmico na autoclave para os ensaios 1 e 2.

Algumas adequações foram feitas para a realização do ensaio 3, os termopares foram posicionados na embalagem e na autoclave previamente, os potes foram preenchidos e mantidos em banho para que a temperatura fosse mantida constante do envase ao início do processo. Assim, a partir do modelo descrito em materiais e métodos, da aquisição da temperatura no interior da embalagem e na autoclave e da pressão da autoclave, também foi possível obter a pressão no interior da embalagem e construir perfis de temperatura e de pressão durante o processamento térmico na autoclave em função do tempo como mostradas nas Figura 7, porém a selagem apresentou problema e pode ter comprometido a determinação da pressão interna na embalagem.

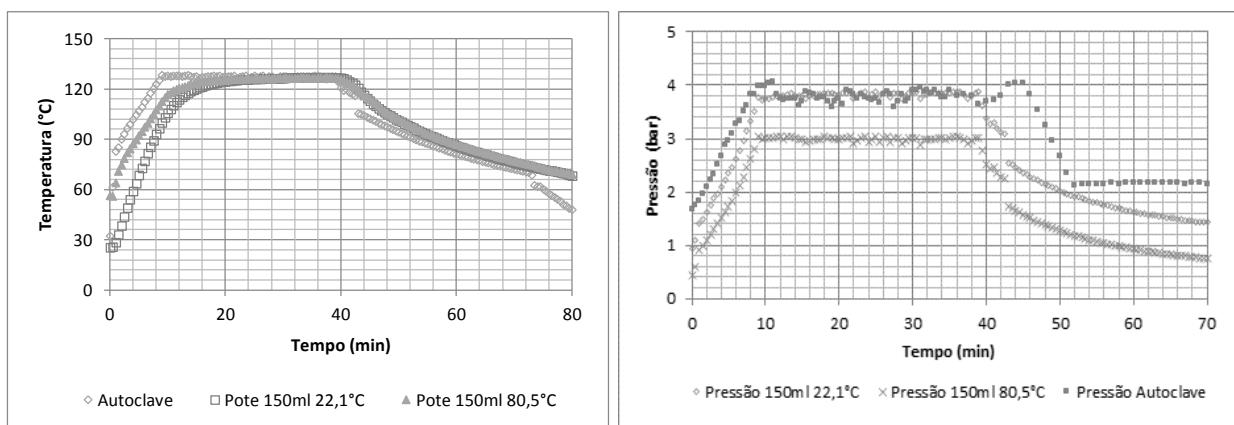


Figura 7: Perfis de temperatura e pressão do meio e do interior da embalagem no ensaio 3.

Como pode ser observado na Figura 7, ensaio 3, optou-se por utilizar uma programação de 128°C por 30 min e a pressão do meio, ou seja, da autoclave, deveria ser mantida ligeiramente superior à pressão de vapor saturado com o objetivo de limitar o risco de explosão da embalagem. A embalagem que foi preenchida com 150 ml de água a 80,5°C apresentou pressão no interior da embalagem inferior à do meio, a diferença de aproximadamente um bar pode ter contribuído para comprimir a embalagem favorecendo a sua deformação. A embalagem com a temperatura de preenchimento de 22,1°C, a pressão no interior da embalagem praticamente se igualou a da autoclave ao longo dos trinta minutos. Verificou-se que durante o resfriamento a pressão da autoclave se manteve superior a interna para ambas as embalagens. A sobrepressão será mais necessária quanto maior for a temperatura (TADINI *et al.*, 2015).

Neste ensaio as embalagens foram danificadas (Figura 8), o que pode ser explicado por uma falha na selagem das embalagens, pela diferença entre as pressões no interior da embalagem e do meio ou pelo tempo demasiado escolhido para o tratamento térmico.

No resfriamento é possível perceber que a autoclave resfria mais rapidamente que a água no interior das embalagens, terminando em uma menor temperatura. Isso ocorre porque a autoclave deve voltar a pressão e temperatura ambiente para que sua porta possa ser aberta. Notou-se que o comportamento da pressão da autoclave durante o resfriamento ficou comprometido por problemas de aquisição de dados ou controle da pressão do meio. Esta é uma fase crítica para a integridade das embalagens semirrígidas devido ao risco de deformação e rompimento do lacre por desequilíbrio da pressão. A entrada de água fria na autoclave provoca a condensação de vapor e decréscimo da pressão na autoclave para um valor inferior ao da pressão atmosférica. Em razão da inércia térmica no interior da embalagem, o decréscimo da pressão interna é muito mais lento que a do exterior (TADINI *et al.*, 2015).



Figura 8: Deformação das embalagens após processo de esterilização.

Conclusões

O estudo mostrou que o uso da embalagem semirrígida para alimentos preparados pode ser indicado, porém deve ser melhor avaliado, pois houve comprometimento dos ensaios devido a limitações experimentais, tais como problemas na selagem da embalagem, programações pré-estabelecidas da autoclave, ausência de medidores de pressão no interior da embalagem e de visores que permitissem a visualização da mesma ao longo do processo, limitações de termopares entre outros.

Para a validação do modelo, seria necessária a medida experimental da pressão no interior da embalagem além da avaliação visual, presença de deformação. Recomenda-se continuar os estudos que envolvem a utilização de embalagens semirrígidas tanto com água quanto com alimentos de propriedades conhecidas, como por exemplo, purês de frutas e assim contribuir com soluções que atendam a demanda por alimentos práticos, saborosos e seguros.

Agradecimentos

Ao técnico da Planta Piloto do Bloco I, da Escola de Engenharia Mauá, Douglas Dalla Justina.

Referências Bibliográficas

- Berto, M.I.; Kaihatu, C.B.; Alves Junior, J.E.V.; Vitali, A.A. (2011) Perfil de deformação de embalagens em função da variação da pressão efetiva. *Brazilian Journal of Food Technology*, **14**, 325-331.
- Fabris, S.; Freire, M.T.A.; Reyes, F.G.R. (2006) Embalagens plásticas: tipos de materiais, contaminação de alimentos e aspectos de legislação. *Revista Brasileira de Toxicologia*, **9**, 59-70.
- Fiesp-Ital (2010) *Brasil Food Trends 2020*. Federação das Indústrias do Estado de São Paulo; Instituto de Tecnologia de Alimentos. São Paulo, 2010.
- Holdsworth, D.; Simpson, R. (2007) *Thermal Processing of Package Foods*. 2nd edition. New York, Springer Science Business Media.
- Mensitieri, G.; Scherillo, G.; Iannace, S. (2013) Flexible packing structures for high-pressure treatments. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **17**, 12-21.
- Patel, P. N.; Chandarana, D. I.; Gavin I. A. (1991) Internal pressure profile in semi rigid food packages during thermal processing in steam/air. *Journal of Food Science*, Malden, v. 56, n. 3, p. 831-834.
- Poling, B.E.; Prausnitz, J.M.; O'Connell, J.P. (2001) *The Properties of Gases and Liquids*. 5nd edition. New York, McGraw-Hill.
- Scalese Junior, E.A. (1998) Embalagens semi-rígidas no Brasil. *Escola de Administração de Empresas de São Paulo (EAESP/FGV)*, **20**, 134p.
- Tadini, C.C.; Telis, V.R.N.; Meirelles, A.J de A.; Pessoa Filho, P. de A. (2015) Operações Unitárias na Indústria de Alimentos, volume 1, 1.ed., LTC, Rio de Janeiro, 562p.