

DETERMINAÇÃO DO DESEMPENHO MECÂNICO DE EMBALAGENS RÍGIDAS BIODEGRADÁVEIS DE AMIDO DE BATATA REFORÇADAS COM CASCA DE SOJA

M. O. ENGEL¹, R. M. C. SANTANA² e E. G. de OLIVEIRA¹

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Laboratório de Materiais Poliméricos

E-mail para contato: elizangela.oliveira@ufrgs.br

RESUMO – Embalagens de uso único colaboram com grande parte do volume de polímeros sintéticos rejeitados, e por tal razão, têm sido identificadas como apropriadas para serem substituídas por materiais biodegradáveis. Um dos polímeros utilizado na confecção de embalagens descartáveis é o poliestireno expandido (EPS). O amido, quando adicionado de um plastificante, possui características termoplásticas, amido termoplástico (TPS), dando origem a embalagens expandidas, que vêm a possuir características mecânicas muito semelhantes as do EPS. No entanto, devem ser investigados mecanismos que aperfeiçoem suas propriedades físicas. Autores elucidaram que a adição de fibras reduz a absorção de umidade em bandejas de amido TPS. A casca de soja é um resíduo lignocelulósico e, portanto, fonte de fibras. Nesse sentido, o presente estudo objetivou encontrar um substituto biodegradável para as bandejas EPS. Através de um planejamento experimental, baseado em estudos prévios deste mesmo grupo, determinou-se o teor de casca de soja que fornece as embalagens de amido reforçadas com casca de soja (TPS+CS) de desempenho mecânico ótimo. Este foi alcançado com a TPS de composição 20% fibra, 32% amido e 42% de amido gel. A adição de casca de soja, além de otimizar o desempenho mecânico, demonstrou em estudos prévios deste mesmo grupo reduzir a higroscopicidade quando do armazenamento.

1. INTRODUÇÃO

Problemas na gestão de resíduos polímeros sintéticos derivados do petróleo, impõem a necessidade de serem investigados materiais compatíveis mecânica e fisicamente derivados de fontes renováveis. Segundo Davis e Song (2006) e Gáspár (2005), compostos de polímeros biodegradáveis são materiais emergentes, vantajosos ambiental, socialmente e economicamente, uma vez que auxiliam a minimizar resíduos que seriam depositados em aterros e oriundos de uma fonte de baixo custo.

Fomin e Guzeev (2001) elucidam que aproximadamente de 41% da produção de mundial plásticos é destinada a confecção de embalagens. Destes 47% aproximadamente corresponde a produção de embalagens para alimentos, que por sua vez, caracterizam-se

como embalagens de usagem única. No caso das bandejas para o armazenamento de frutas, dos copos descartáveis para café, e de uma variedade de embalagens alimentares, o polímero utilizado é o poliestireno expandido (EPS). A reciclagem do EPS é custosa e praticamente inexistente.

A larga disponibilidade de fontes renováveis de amido abre precedente a pesquisa de embalagens de base amilasea. Glenn e Orts (2001), Glenn et al. (2001) e Schmidt (2006), demonstraram que o amido, quando adicionado de um plastificante, adquire características termoplásticas, origem da denominação amido termoplástico (TPS), e quando submetido a processo de termoexpansão, origina embalagens expandidas de estrutura celular, que vêm a ser semelhantes ao EPS.

No entanto, Glenn et al. (2001), também afirmam que devem ser investigados mecanismos que aperfeiçoem suas propriedades físicas, principalmente sua característica higroscópica. Carr et al. (2006), Schmidt (2006) e Cinelli et al. (2006), elucidaram que a adição de fibras reduz a absorção de umidade em bandejas de amido TPS. Segundo Hickert (2014) a casca de soja é um resíduo lignocelulósico, e portanto fonte de fibras, largamente disponível, para o qual são investigadas alternativas de valorização. O presente estudo objetivou desenvolver um substituto para bandejas de EPS, biodegradável, compostável e fabricado com resíduos da agroindústria.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

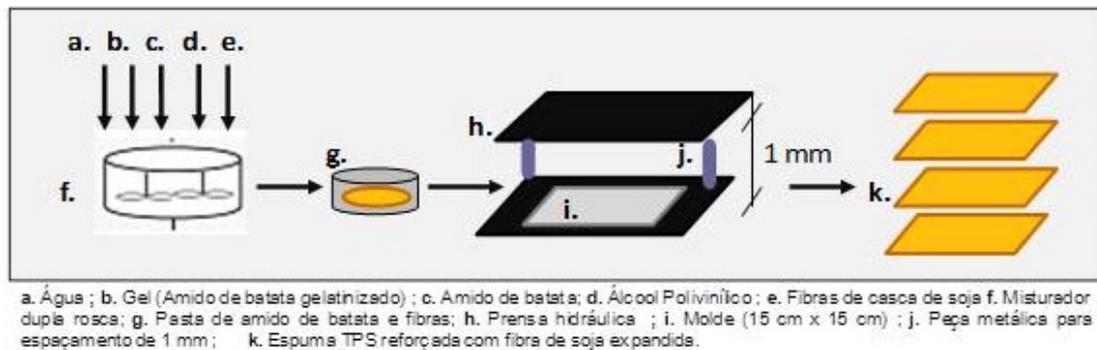
Para confecção das placas de amido termoplástico enriquecido com fibras de casca de soja (TPS+CS) foi utilizado água destilada, amido de batata alimentar comercial, Giro Verde LTDA, casca de soja (CS) doada por produtor local e como plastificante álcool polivinílico (PVA), Neon comercial LTDA. O padrão foram espumas de amido TPS de batata sem adição fibras (TPS).

2.2. Métodos

Estudos preliminares realizados por Engel et al. (2014 a, b), possibilitaram a determinação de limites e a realização de planejamento experimental, onde variou-se a fração dos componentes da mistura: casca de soja, amido e amido gelatinizado.

Preparo da pasta e processo de termoexpansão das espumas de TPS: A pasta de amido foi obtida a partir da mistura de cinco componentes (PVA, água, CS e amido em duas formas, gelatinizado e seco). Para obtenção do amido gelatinizado, 20g de amido em pó foram adicionadas a 100mL de água destilada à ~70°C (Tabela 1). A mistura foi realizada com o auxílio de misturador mecânico dupla rosca durante 60 s. Após a pasta preenche um molde de dimensões 15cm x 15cm acondicionado em prensa hidráulica modelo Solar SL11, segue-se processo de compressão e termoexpansão com parâmetros de 240 segundos, à 180°C e 2,5 toneladas. O espaçamento entre a parte superior e inferior do molde foi de 1,0mm e assegurado por uma peça metálica, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma de processamento das espumas de TPS+CS



Composição das amostras: O *software* Statistica Statsoft for Windows 10.0 foi o programa de estatística empregado. Determinou-se o limite de ensaio para cada componente a partir de resultados anteriores de Engel et al. (2014). Os limites correspondem a 10-30% para casca de soja, 32-42% amido e 32-42% de amido gelatinizado. As frações dos componentes em cada formulação foram determinadas por planejamento experimental simplex-centroide ampliado com três pontos internos, e são descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Planejamento simplex-centroide, ampliado com 10 pontos

Amostra		Composição				
		A (fibra)	B (amido)	C (gel)	PVA	Água
		g			ml	
1 V	TPSCS1	0,30	0,32	0,32	0,06	70
2 V	TPSCS2	0,10	0,42	0,42	0,06	50
3 V	TPSCS3	0,20	0,42	0,32	0,06	60
4 V	TPSCS4	0,20	0,32	0,42	0,06	60
5 C	TPSCS5	0,25	0,32	0,37	0,06	65
6 C	TPSCS6	0,15	0,42	0,37	0,06	55
7 C	TPSCS7	0,25	0,37	0,32	0,06	65
8 C	TPSCS8	0,15	0,37	0,42	0,06	55
9 / 10	TPSCS9/10	0,20	0,37	0,37	0,06	60
9 / 10	TPSCS9/10	0,20	0,37	0,37	0,06	60

O modelo cúbico utilizado para o estudo é a equação canônica de Scheffé (Equação 1), onde, Y é a função resposta; $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{23}$ e β_{123} são os coeficientes da regressão e X_1 (FIBRA), X_2 (AMIDO), e X_3 (GEL) são as variáveis (componentes da mistura). Avaliou-se estes parâmetros, pela análise de variância (ANOVA), determinando a significância do modelo com 5% de confiança e o coeficiente de determinação (R^2). Os efeitos não foram normalizados.

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{123} X_1 X_2 X_3 \quad (1)$$

Ensaio Mecânico: As propriedades mecânicas de resistência à tração das amostras foram analisadas de acordo com a norma ASTM D638 com velocidade de ensaio de 3 mm/min, em máquina de ensaios universal INSTRON 3382. Dez medidas foram feitas para

cada amostra com dimensões de 10 cm x 2,5 cm, o resultado obtido corresponde à média dos valores. A extensibilidade das amostras foi calculada segundo a Equação 2.

$$\text{Extensão} = \frac{L - L_0}{L_0}, \text{ onde: } \begin{matrix} L_0 = \text{comprimento inicial} \\ L = L_0 + \text{comprimento na quebra} \end{matrix} \quad (2)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Realizou-se planejamento experimental com objetivando determinar as bandejas TPS de melhor desempenho mecânico. A Tabela 2, apresenta os resultados obtidos nos ensaios.

Tabela 2 - Valores de Tensão e Extensão na ruptura para as distintas composições

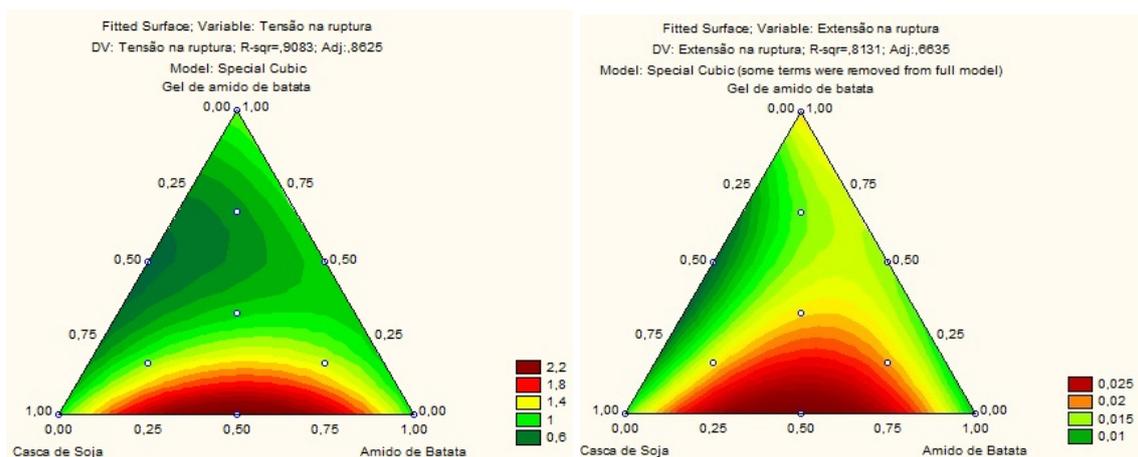
Amostra		Tensão na Ruptura Mpa	Deformação na Ruptura %
1 V	TPSCS1	0,89 ± 0,03	0,0136 ± 0,001
2 V	TPSCS2	1,07 ± 0,10	0,0126 ± 0,001
3 V	TPSCS3	1,04 ± 0,02	0,0177 ± 0,0001
4 V	TPSCS4	2,47 ± 0,04	0,0333 ± 0,001
5 C	TPSCS5	0,36 ± 0,04	0,0079 ± 0,002
6 C	TPSCS6	0,93 ± 0,08	0,0137 ± 0,001
7 C	TPSCS7	0,95 ± 0,09	0,0194 ± 0,002
8 C	TPSCS8	1,20 ± 0,05	0,0117 ± 0,002
9	TPSCS9/10	0,83 ± 0,30	0,0141 ± 0,003
10	TPSCS9/10	0,77 ± 0,20	0,0142 ± 0,004
PADRÃO 1	EPS	0,43 ± 0,04	0,0332 ± 0,001
PADRÃO 2	TPS	2,08 ± 0,14	0,0197 ± 0,003

A tensão na ruptura variou de acordo com composição das amostras. O valor de tensão na ruptura apresentou um valor máximo para a formulação TPSCS4 e um mínimo para TPSCS5. Schmidt (2006), demonstrou que a incorporação de fibras superior a 20% dificulta o processo de termoexpansão e por consequência gera bandejas menos resistentes a tração. Nota-se que, para as amostras TPSCS7 e TPSCS1, respectivamente reforçadas com 25 e 30 % de fibras obtém-se valores razoáveis de tensão, a fragilização ocasionada pela adição de fibras, pode ter sido compensada por outro componente da mistura ou pela interação destes. O padrão TPS, obtém bons valores de resistência a tensão, em comparação com as TPS+CS. O padrão EPS comporta-se como o esperado, mostrando baixa resistência mecânica quando comparado aos compósitos de amido reforçados com casca de soja.

Os valores de extensão na ruptura apresentaram uma região de máximo também para a formulação TPSCS4, valor acima do determinado para o padrão 2 - TPS. Esse resultado é interessante tendo em vista que compósitos com alta rigidez (elevadas tensões) tendem a ser menos tenazes e ter menor deformação. A maior proporção de gel desta amostra pode ter colaborado para que esta apresentasse elevada deformação na ruptura. O padrão 1 - EPS, por apresentar baixa resistência mecânica, apresenta alta deformação no escoamento, comportamento esperado.

A superfície de resposta para a tensão na ruptura, Figura 2 (esquerda), ilustra que o bom desempenho mecânico das embalagens é influenciado pelo teor de casca de soja, pelo teor de amido e ainda pela interação amido e casca de soja. Resultado coerente uma vez que o amido é o componente estrutural e a casca de soja o componente de reforço. Salgado (2008) correlaciona diretamente o conteúdo de amido da formulação com elevados valores de tensão na ruptura para embalagens TPS. Salgado (2008) e Gáspár (2005) relacionam ainda o aumento nos valores de tensão na ruptura com a adição de fibras. Quando esse resultado é verificado, pode-se dizer que a fibra aderiu corretamente a matriz polimérica, agindo como reforço. Porém, como demonstrado por Schmidt (2006) esta incorporação tem limites para que se observem resultados de reforço. Para o parâmetro mecânico de extensão na ruptura, o gel de amido obteve influência significativa, sendo que este tem função de plastificante auxiliando na termoexpansão. Observa-se na Figura 2 (direita) que conforme o teor de gel é aumentado, elevam-se os valores de deformação das embalagens TPS.

Figura 2 - Superfícies de resposta - Tensão na ruptura (esquerda) e Extensão na ruptura (direita) como função dos componentes da mistura



Na Tabela 3, apresentam-se os coeficientes da regressão cúbica e a análise de variância do modelo matemático estudado no planejamento.

Tabela 3 - Coeficientes da regressão cúbica e de determinação

Funções Resposta	Propriedades mecânicas			
	Tensão	$p (\alpha = 5\%)$	Extensão	$p (\alpha = 5\%)$
β_1	0,9322	0,043667	0,012397	0,073288
β_2	0,9431	0,042418	0,011616	0,084885
β_3	1,0913	0,029217	0,018588	0,026931
β_{12}	5,7906	0,025444	0,076426	0,045176
β_{13}	-2,233	0,207934	-0,031628	0,263532
β_{23}	-0,6512	0,672615	-0,005992	0,811679
β_{123}	-12,4729	0,268277	-0,081212	0,630048
(R^2)		0,9083		0,8424

β_n são os coeficientes da regressão cúbica, os códigos subscritos fazem referência a Casca de Soja (1), Amido de Batata (2) e Gel de Amido de Batata (3).

4. CONCLUSÃO

O planejamento experimental evidenciou que o parâmetro mecânico tensão na ruptura, é influenciado majoritariamente pelo teor de casca de soja e o teor de amido. A incorporação de até 20% de fibra de casca de soja, resultou em embalagens com maiores valores de tensão na ruptura, indicando boa dispersão da fibra na matriz polimérica e assim uma ação de reforço. Para o parâmetro mecânico, extensão na ruptura, tem-se que o teor de gel de amido e a interação casca de soja e amido tem influencia significativa na elongação das amostras de. Nota-se que, a correta proporção dos componentes amido e gel, pode reduzir o processo de fragilização ocasionado quando da incorporação de teores de fibra superiores a 20% e contribuir para a flexibilidade das amostras. A partir deste planejamento, a embalagem que apresentou resultados satisfatórios para ambos parâmetros mecânicos foi a produzida a partir da formulação TPSCS4 contendo: 20% de fibras celulósicas de casca de soja, 32% amido de batata e 42% de gel de amido de batata.

5. REFERÊNCIAS

- CARR, L. G., PARRA, D. F., PONCE, P., LUGÃO, A. B., & BUCHL, P. M.. Influence of fibers on the mechanical properties of cassava starch foams. *J. of Polymer Environment*, v.14, p. 179–183, 2006.
- CINELLI, P., CHIellini, E., LAWTON, J. W., & IMAN, S. H. Foamed articles based on potato starch, corn fibers and poly(vinyl alcohol). *Polymer Degradation and Stability*, v. 91, p. 1147–1155, 2006.
- DAVIS, G.; SONG, J.H. Biodegradable packing based on raw materials from crops and their impact in waste management. *Industrial Crops and Product*, v. 23, p. 147 - 161, 2006.
- ENGEL, M. O.; SANTANA, R. M. C.; REATEGUI, D. R.. Influência dos Parâmetros de Processamento por Compressão Térmica nas Propriedades de Placas Expandidas de Amido de Batata. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Anais CBECIMAT 2014p. 7875-7882, 2014.
- ENGEL, M. O.; REATEGUI, D. R.; SANTANA, R. M. C.. Biocompósitos de Amido Termoplástico Expandido Reforçado com Casca de Soja. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Anais CBECIMAT 2014p. 7867-7874, 2014.
- FOMIN, V. A., & GUZEEV, V. V. Biodegradable Polymers, their present state and future prospects. *Progress in Rubber and Plastics Technology*, v. 17(3), p. 186–204, 2001.
- GÁSPÁR, M., BENKÓ, Z DOGOSSY, G, RÉCZEY, K., & CZIGÁNY, T. Reducing water absorption in compostable starch-based plastics. *Polymer Degradation and Stability*, v. 90, p. 563-569, 2005.
- GLENN, G. M., & ORTS, W. J.. Properties of starch-based foam formed by compression/explosion processing. *Industrial Crops and Products*, v. 13, p. 135–143, 2001.
- GLENN, G. M., ORTS, W. J., & NOBES, G. A. R.. Starch, fiber and CaCO₃ effects on the physical properties of foams made by a baking process. *Industrial Crops and Products*, v.14, p. 201–212, 2001.
- HICKERT, L. R.. Bioconversão de casca de arroz e soja em xilitol e etanol por leveduras. Tese de doutorado em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2014.
- SCHMIDT, V. C. Desenvolvimento de embalagens biodegradáveis a partir da fécula de mandioca, calcário e fibra de celulose. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Alimentos. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2006.
- SALGADO, P. R., SCHMIDT, V. C., ORTIZ, S. E. M., MAURI, A. N., & LAURINDO J. B.. Biodegradable foams based on cassava starch, sunflower proteins and cellulose fiber obtained by baking process. *Journal of Food Engineering*, v. 85, p. 435-443, 2008.