



13º CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS



## COMPARATIVO DE PROPRIEDADES DE SELAGEM DE FILMES PLANOS E TUBULARES COM PEUBD METALOCÊNICO

Ana P. Lobo<sup>1,2\*</sup> (M), Adriane G. Simanke<sup>2</sup> e Ruth M. C. Santana<sup>1</sup>

1 - Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre – RS

2 - Braskem – Inovação e Tecnologia – Triunfo, RS, [ana.lobo@braskem.com](mailto:ana.lobo@braskem.com)

### Resumo:

Foi avaliada a correlação das propriedades de selagem de filmes contendo Polietileno de Ultra Baixa Densidade (PEUBD) metalocênicos com o tipo de processamento por extrusão (plano e tubular) utilizado na produção dos mesmos. Duas amostras de PEUBD com mesmo índice de fluidez e densidades diferentes foram caracterizadas quanto à temperatura de fusão ( $T_m$ ) e utilizadas na produção de filmes monocamada em extrusão de matriz plana e na camada de selagem de filmes do tipo balão produzidos em coextrusora de matriz circular. As propriedades de selagem a quente e a frio dos filmes foram avaliadas. Os resultados mostram que as diferenças nas taxas de resfriamento e de orientação molecular proporcionadas pelos dois tipos de processamento avaliados resultam em diferentes temperaturas de selagem dos filmes. Avaliações comparativas das propriedades térmicas das resinas mostram que a menor  $T_m$  e entalpia de fusão da amostra com densidade mais baixa favorece a redução da temperatura de selagem.

**Palavras-chave:** PEUBD, Metalocenos, Propriedade de selagem, Extrusão de matriz plana, Coextrusão de filmes tubulares.

### *Comparison of sealing properties of cast and blown films with metallocene ULDPE*

### Abstract:

The correlation of sealing properties of films containing metallocene Ultra Low Density Polyethylene (ULDPE) with the type of processing used in their production was evaluated. Two samples of ULDPE with the same melt flow rate and different densities were selected to characterize the melting temperature ( $T_m$ ) and used for the production of monolayer films on cast extrusion with flat die and at the sealing layer of a blown film produced in circular matrix coextruder. The processing conditions for each type of extrusion were identical for both samples and hot tack and heat seal of the films were evaluated. The results showed that differences in cooling rate and molecular orientation provided by the two processing types evaluated lead to different film sealing temperatures. Comparative evaluation of thermal properties showed that lower  $T_m$  and enthalpy of the lower density sample contribute to the reduction of the film sealing temperature.

**Keywords:** ULDPE, Metallocenes, Sealing properties, Cast film extrusion, Blown film extrusion.

### Introdução

O crescimento do mercado global de embalagens está sendo impulsionado por uma série de tendências gerais. O aumento na renda pessoal e a busca por qualidade e conveniência estimula a demanda por uma ampla gama de produtos em seus respectivos mercados de consumo, resultando em um crescimento nas indústrias produtoras de embalagens para esses bens. Para atender o crescimento desse mercado, que no segmento de embalagens plásticas é dominado pelas resinas poliolefínicas (PE e PP), é necessário buscar evolução nas propriedades das matérias-primas para aumentar a produtividade das indústrias de transformação e envase. O uso de blendas de diferentes polímeros e a produção de filmes multicamadas são soluções viáveis e que trazem sinergia de propriedades entre os componentes [1]. Uma solução bastante eficaz são os filmes produzidos com

polietilenos de diferentes densidades, em que o PEBD facilita o processamento, o PEBDL confere boa resistência mecânica e o PEUBD é responsável por reduzir a temperatura inicial de selagem do filme e melhorar as propriedades ópticas [2].

As propriedades de selagem dos filmes destinados à produção de embalagens flexíveis são amplamente estudadas a fim de se determinar a melhor formulação e condições de processo para aumentar a produtividade das linhas de envase. Durante a selagem da interface entre dois filmes de polímeros semicristalinos como os polietilenos ocorre a fusão das frações que apresentam temperatura de fusão abaixo da temperatura da barra de solda, ocorrendo difusão das mesmas através da interface dos filmes e emaranhamento das cadeias poliméricas. Após resfriamento, ocorre a cristalização destas frações formando pontos de amarração entre estas cadeias, gerando assim a região de solda [3-6].

O presente trabalho tem como objetivo comparar as propriedades de selagem de filmes contendo PEUBD em sua composição produzidos por extrusão de matriz plana e coextrusão tubular e correlacionar seu desempenho com a densidade e propriedades térmicas.

## Experimental

### *Materiais*

As resinas utilizadas no presente trabalho e seus respectivos índices de fluidez e densidades estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades das resinas utilizadas

Material	Tipo de Catalisador	Densidade (g/cm <sup>3</sup> ) Método ASTM D792	Índice de fluidez 190°C/2,16kg (g/10min) Método ASTM D1238
U-PE 01	Metallocênico	0,900	1,2
U-PE 51	Metallocênico	0,905	1,2
mPEBDL	Metallocênico	0,917	1,0
PEBD	Não usa catalisador (processo de alta pressão)	0,923	2,7

Os filmes tubulares (do tipo balão) foram produzidos com três camadas: A, B e C, sendo que a camada A é a de selagem, a B é a intermediária e a C é a camada externa do filme. Além do PEUBD na camada A, na coextrusão também foram utilizadas outras resinas de polietileno nas camadas B e C, conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2 – Formulação dos filmes

Amostra	U-PE 01	U-PE 51	U-PE 01			U-PE 51		
	Filme plano	Filme plano	Filme Tubular			Filme Tubular		
Camada	única	única	A	B	C	A	B	C
Espessura (µm)	38	38	20	20	20	20	20	20
U-PE 01	100%	-	100%	-	-	-	-	-
U-PE 51	-	100%	-	-	-	100%	-	-
PEBD	-	-	-	20%	20%	-	20%	20%
mPEBDL	-	-	-	80%	80%	-	80%	80%

### *Produção dos filmes planos*

Os filmes planos foram produzidos em uma extrusora monorosca de matriz plana OCS modelo ME-20/2800-V3. Os parâmetros de extrusão foram: temperatura das cinco zonas de aquecimento: 170/180/190/200/210 °C; rotação de rosca de 30 rpm; espessura nominal do filme de 38 µm; temperatura do rolo de resfriamento: 40°C.

#### *Produção dos filmes tubulares*

Os filmes tubulares foram produzidos em uma coextrusora de 3 camadas do tipo balão da marca Carnevalli modelo COEX 3PO P1800 com diâmetro da matriz de 350 mm. Os parâmetros de extrusão foram: 15 zonas de aquecimento com temperaturas de 170°C a 215°C; altura da linha de névoa de 1100 cm e temperatura do ar de refrigeração de 27°C.

#### *Análise térmica*

Para a caracterização das propriedades térmicas das resinas U-PE 01 e U-PE 51 foi utilizado um Calorímetro Exploratório Diferencial, ou DSC (*Differential Scanning Calorimetry*) modelo Q100 (TA Instruments). A amostra foi aquecida na faixa de temperatura de -20°C até 200°C a uma taxa de 10°C/min, resfriada a uma taxa controlada e aquecida novamente conforme descrito anteriormente. A primeira fusão é realizada para se eliminar a história térmica do material, e a T<sub>m</sub> e a respectiva entalpia reportada neste trabalho foram obtidas na segunda fusão do ensaio.

#### *Soldabilidade a quente*

Foram obtidos corpos-de-prova para análise de soldabilidade com 25,4 mm de largura e 300 mm de comprimento, recortados na direção de máquina do filme e acondicionados em temperatura ambiente e umidade relativa de 50% por no mínimo 40h após a extrusão.

A análise de soldabilidade a quente foi realizada no equipamento *J&B HotTack Tester* modelo 4000. Durante o ensaio, o corpo-de-prova foi fixado nas garras do equipamento e submetido à selagem entre duas barras aquecidas por 1 segundo e 44psi de pressão e imediatamente tracionado com a solda ainda aquecida. A temperatura das barras de solda variou de 75°C a 115°C.

#### *Soldabilidade a frio*

Os corpos-de-prova para análise de soldabilidade a frio foram obtidos conforme descrito anteriormente. A análise de soldabilidade a frio foi realizada no equipamento *Dynisco/Theller Hot Tack Heatsealer*. O procedimento utilizado foi exatamente igual ao descrito no ensaio de soldabilidade a quente até o final do ciclo de selagem, porém antes de tracionar o corpo-de-prova, este foi submetido a um resfriamento forçado durante 20 segundos a fim de atingir a estabilidade da força de selagem.

## **Resultados e Discussão**

Os termogramas obtidos por DSC das amostras U-PE01 e U-PE 51 (Fig.1) apresentaram três picos de fusão, provavelmente associado a uma larga distribuição de tamanho de cristais, característica de PE metaloceno com alto teor de comonômero. A amostra de menor densidade (U-PE 01) iniciou a fusão a uma temperatura menor do que a U-PE 51, além de apresentar menor entalpia durante essa etapa. Essas características justificam a aplicação de resinas de PE com menor densidade em camadas de selagem de filmes, já que o consumo energético dos equipamentos de envase pode ser reduzido ao se trabalhar com uma menor temperatura nas barras de selagem, além de aumentar a produtividade devido ao menor tempo para o resfriamento da solda das embalagens.

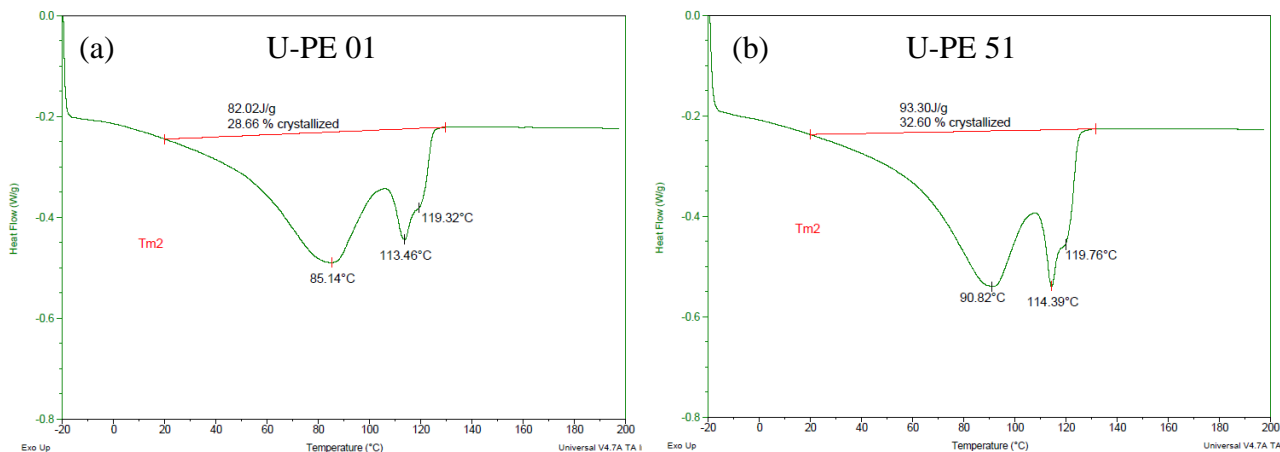


Figura 1 – Termogramas de fusão das amostras (a) U-PE 01 e (b) U-PE 51

Para viabilizar a produção de filmes tubulares com 100% de PEUBD foi necessário realizar a coextrusão com outros polietilenos nas demais camadas para estabilizar o balão. Dessa forma os filmes tubulares e planos foram produzidos conforme formulação descrita na Tabela 2.

Após o tempo mínimo de acondicionamento e climatização, as propriedades de selagem foram determinadas e os resultados são apresentados na Fig.2. Por convenção, a temperatura em que ocorreu a selagem do filme analisado é a que está marcada nos gráficos com o símbolo do triângulo ( $\Delta$ ). A Tabela 3 mostra um resumo das temperaturas de selagem de cada amostra.

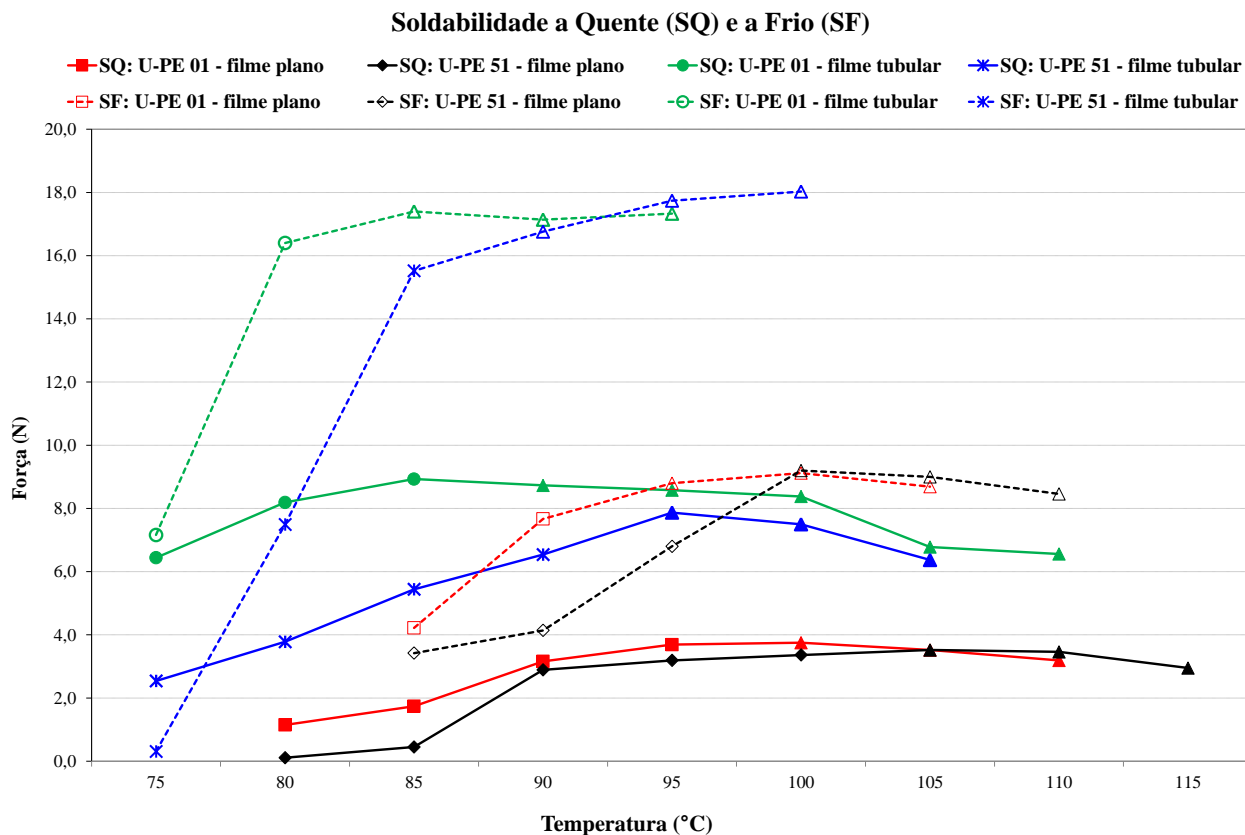


Figura 2 – Curva de soldabilidade a quente (SQ) e a frio (SF) das amostras avaliadas

Tabela 3 – Temperatura de selagem das amostras

Amostra	Temperatura de selagem a quente (°C)		Temperatura de selagem a frio (°C)	
	Filme plano (OCS)	Filme tubular coextrudado (100% na camada de solda)	Filme plano (OCS)	Filme tubular coextrudado (100% na camada de solda)
U-PE 01	100	90	95	85
U-PE 51	105	95	100	90

É possível verificar que as amostras produzidas pelo processo de coextrusão de filmes tubulares apresenta menor temperatura de selagem do que os filmes produzidos por extrusão em matriz plana, além de uma significativa diferença na força de selagem. Segundo Meka e Stehling [5,6], diversos fatores influenciam no processo de selagem de filmes produzidos com polímeros semicristalinos, como a distribuição da fração amorfa e as propriedades mecânicas do filme, que por sua vez são relacionadas às diferentes condições de processamento das amostras avaliadas. No processo de coextrusão de filme tubular o produto é resfriado pelo ar, que proporciona uma troca térmica mais lenta com o polímero, favorecendo a formação de cristais de maior tamanho. Já na extrusão de matriz plana o filme é solidificado mais rapidamente ao passar por calandras resfriadas por água, congelando a estrutura molecular sem permitir o crescimento dos cristais. Além disso, os diferentes tipos de orientação molecular a que o produto é submetido durante a extrusão em matriz plana (mono-orientação) e tubular (biorientação, com orientação preferencial na direção da máquina) também podem influenciar na temperatura de selagem porque afetam a cristalinidade dos polímeros [7].

Também foi possível verificar que os filmes contendo a amostra U-PE 01 em sua composição apresentaram menor temperatura de selagem, tanto no ensaio a quente quanto a frio. Esse fato está correlacionado à menor temperatura de fusão de algumas frações cristalinas dessa amostra, conforme apresentado anteriormente na Fig.1, bem como à menor entalpia necessária para realizar essa transformação.

### Conclusões

Os resultados obtidos mostram que os filmes tubulares contendo PEUBD metalocênico produzidos por coextrusão em matriz circular apresentam menor temperatura de selagem do que quando produzidos em extrusora de matriz plana. O filme contendo amostra de PEUBD de menor densidade teve melhor desempenho nas propriedades de selagem a quente e a frio.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à Braskem pela possibilidade de desenvolvimento desse trabalho.

### Referências Bibliográficas

1. ITAL, 2012. Brasil Pack Trends 2020. Disponível em: <http://www.brasilpacktrends.com.br/br/>. Acesso em: 18 fev. 2015.
2. F.M.B.Coutinho; I.L. Mello; L.C. Santa Maria. Polímeros. 2003, 13, 1.
3. A.G Simanke; C. Lemos; M. Pires. Polymer Testing. 2013, 32, 279.
4. C. Muller; G. Capaccio; A. Hiltner; E. Baer. J. App Polym Sci.1998, 70, 2012.
5. P. Meka; F.C. Stehling. J. App Polym Sci. 1994, 51, 89.
6. F.C. Stehling; P.Meka. J. App Polym Sci. 1994, 51, 105.
7. R.L.R. Ferreira; R.M.C. Santana. Polímeros. 2015, 25(1), 83.