

# ANÁLISE DA INSTABILIDADE DE BLENDS DURANTE O PROCESSO DE EXTRUSÃO

**Alexandre Alves Costa Oliveira**

**Roberto Guimarães Pereira**

Universidade Federal Fluminense, Departamento de Engenharia Mecânica  
Rua Passo da Pátria, 156, São Domingos, Niterói, RJ, CEP 24210-240, Brasil

## Resumo

Este trabalho apresenta uma observação experimental de algumas características reológicas da blenda TPE/SB (Elastômero Termoplástico / Estireno-Butadieno) utilizada pela indústria de transformação de plástico em produtos de uso médico-hospitalar.

As curvas de escoamento (viscosidade cisalhante x taxa de deformação) da blenda foram investigadas em diferentes temperaturas e em uma ampla faixa de taxa de deformação. Durante o processo de extrusão, o fenômeno de instabilidade (fratura do fundido) e sua relação com os parâmetros temperatura e taxa de deformação também foram investigados.

Todos os experimentos, as curvas de escoamento e a observação do fenômeno de instabilidade foram realizados em um reômetro capilar (ROSAND Rh-2100) que utiliza uma matriz capilar de 1mm de diâmetro por 16mm de comprimento.

**Palavras-chave:** Reologia, Blendas, Extrusão, Instabilidade.

## 1. INTRODUÇÃO

A fratura do material fundido se manifesta com uma queda na qualidade da superfície do produto e é bastante problemática em processos onde a integridade superficial é importante como, por exemplo, na produção de filmes plásticos e extrusão de tubos.

Distorções superficiais nestes produtos não são nenhuma novidade, mas as causas destas distorções foram, e continuam a ser, um tema bastante discutido. Grande parte do problema que cerca o fenômeno de fratura do fundido se deve ao grande número de termos usados para descrevê-lo.

Algumas observações sobre fratura do fundido foram relatadas por Petrie e Denn (1976). Em um artigo publicado, Hill et al.(1990) mostraram que para vários polietilenos, e, em particular, para o Polietileno de Baixa Densidade, as curvas de escoamento mostram uma descontinuidade e uma mudança de inclinação sob regimes em que a fratura do fundido pode ser visualmente observada.

Hatzikiriakos (1994) sugeriu que altas taxas de estiramento, ocorrendo quando o material fundido passa pela saída da matriz capilar, são a razão da fratura do material.. Rammamurthy (1986) e Kalika e Denn (1987) sugerem que a fratura do fundido é causada por uma falha da adesão na interface parede – fluido. Os resultados obtidos por El Kissi e Piau (1990) em um

estudo do escoamento de um Polietileno Linear de Baixa Densidade (LLDPE) através de diferentes geometrias capilares mostram claramente que métodos experimentais para determinar velocidades de deslizamento não dão evidências conclusivas da existência de deslizamento na parede para o escoamento de LLDPE sob condições que normalmente produzem instabilidade do material processado. Deixando-se de lado os mecanismos que causam fratura do fundido, as distorções superficiais acontecem e, uma vez estabelecidas, são muito difíceis, senão impossíveis de serem eliminadas.

Os modernos reômetros capilares tornam a observação e o estudo dos fenômenos de instabilidade muito mais fáceis, e agora, possíveis de serem detectadas e prevenidas.

## 2. EQUIPAMENTO

O equipamento usado neste estudo foi um reômetro capilar ROSAND Rh-2100 trabalhando com uma matriz capilar de tungstênio com 1mm de diâmetro por 16mm de comprimento e com um ângulo de entrada de 180°. Este reômetro opera no modo de deformação controlada (*controlled rate*) que obtém a função viscosidade do material medindo a perda de carga causada por uma matriz capilar quando o material é forçado a passar através desta matriz.

Uma fonte de erros de medida são os efeitos de entrada causados pela abrupta redução da seção circular quando o material passa do reservatório para o capilar. Estes efeitos de entrada causam uma perda de carga que influencia negativamente a relação perda de carga – viscosidade do material.

Para eliminar estes erros, um segundo teste deve ser realizado utilizando-se uma matriz capilar com o mesmo diâmetro da usada anteriormente mas com comprimento igual a zero (matriz orifício). A perda de carga causada por esta matriz é então subtraída do valor obtido durante o teste com a matriz de 16mm de comprimento. Esta correção é conhecida como Correção de Bagley.

Devido à característica não-Newtoniana do material que estava sendo analisado, outra correção é requerida, a correção de Weissenberg-Rabinowitsch. Esta correção leva em conta o índice de *power-law* (ou índice não-Newtoniano) do material e transforma a taxa de deformação aparente em um valor corrigido (taxa de deformação corrigida,  $\dot{\gamma}_c$ )

$$\dot{\gamma}_c = \left( \frac{3n+1}{4n} \right) \dot{\gamma}_a \quad (1)$$

Sendo  $\dot{\gamma}_a$  é o valor aparente para a taxa de deformação e n é o índice de *power-law*.

## 3. EXPERIMENTO

O experimento consiste na investigação das curvas de escoamento ( $\eta \times \dot{\gamma}$ ) da blenda TPE / SB (20% de TPE e 80% de SB) e de seus componentes separadamente e em uma observação do aspecto macroscópico da blenda durante uma simulação do processo de transformação para que seja detectado o fenômeno de fratura do fundido.

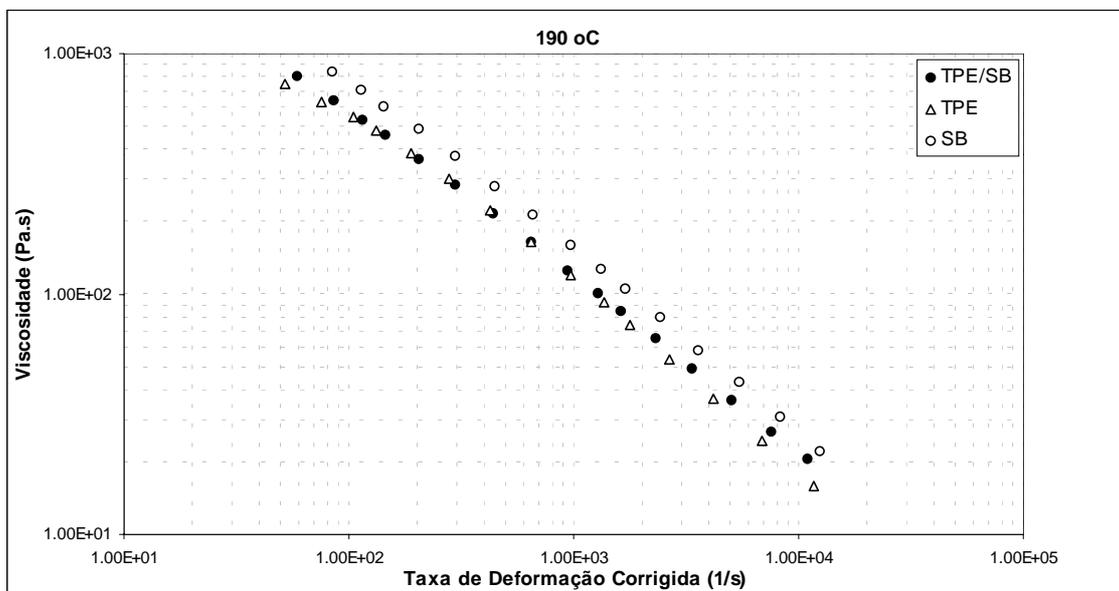
Os testes para avaliação da função viscosidade da blenda foram realizados sob duas temperaturas diferentes, 190 e 210 °C, e sob uma faixa de taxa de deformação de 42 a 20000 s<sup>-1</sup> (valores aparentes de taxa de deformação,  $\dot{\gamma}_a$ )

Para se detectar a fratura do fundido, o processo de transformação foi simulado usando-se o reômetro capilar extrudando a blenda sob as seguintes taxas de deformação: 1400, 2000, 4200, 6000, 10000, 15000 e 20000 s<sup>-1</sup> a 190 e 210 °C. O material extrudado sob cada taxa de deformação e temperatura foi então coletado e fotografado com o auxílio de uma câmera digital.

#### 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS

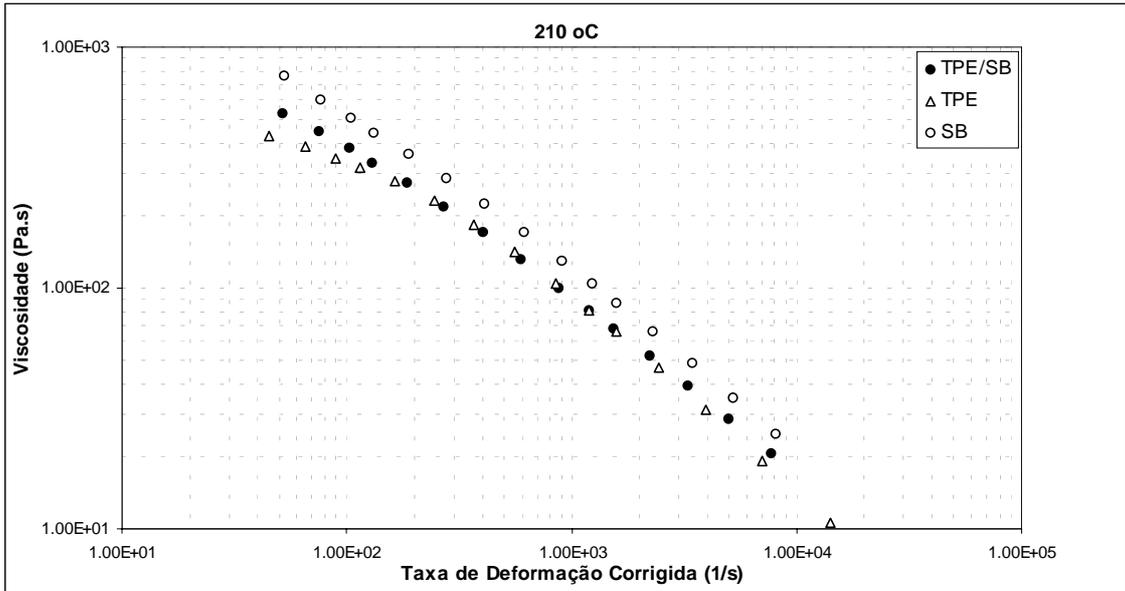
##### Função Viscosidade

Os dados obtidos nos testes de escoamento com a blenda TPE/SB e seus componentes a 190 e 210 °C, incorporando as correções de *Bagley* e *Weissemberg-Rabinowitsch* são apresentados nas Figuras 1 e 2.

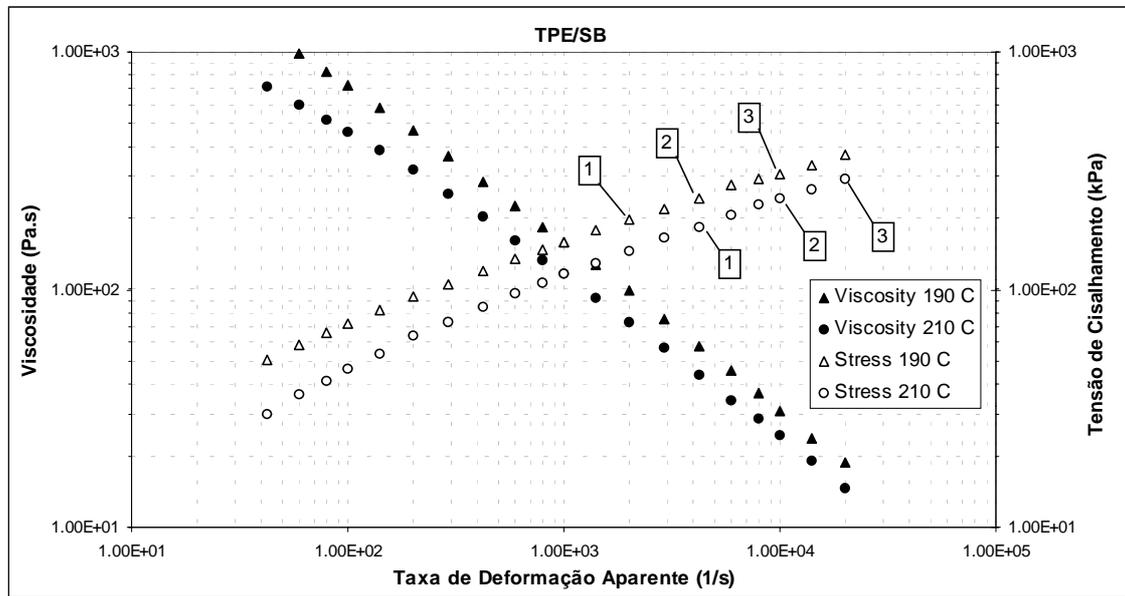


**Figura 1.** Curva de escoamento – Blenda TPE/SB e seus componentes a 190 °C

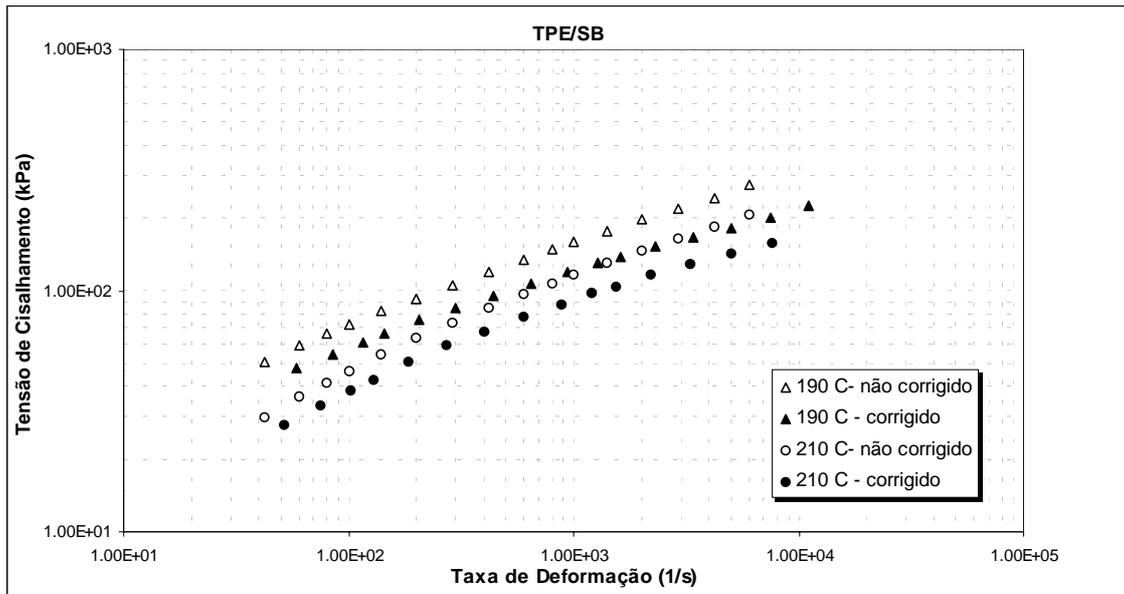
Para uma melhor comparação dos resultados obtidos nas duas temperaturas de ensaio e nas diferentes taxas de deformação, os resultados apresentados na Figura 3 não sofreram as correções de *Bagley* e *Weissemberg-Rabinowitsch*. As influências destas correções são apresentadas na Figura 4.



**Figura 2.** Curva de Escoamento – Blenda TPE/SB e seu componentes a 210 °C



**Figura 3.** Curva de Escoamento não corrigida – Blenda TPE/SB. Os números 1, 2 e 3 no interior do gráfico se referem aos estágios (Tabela 1) de fratura do fundido.

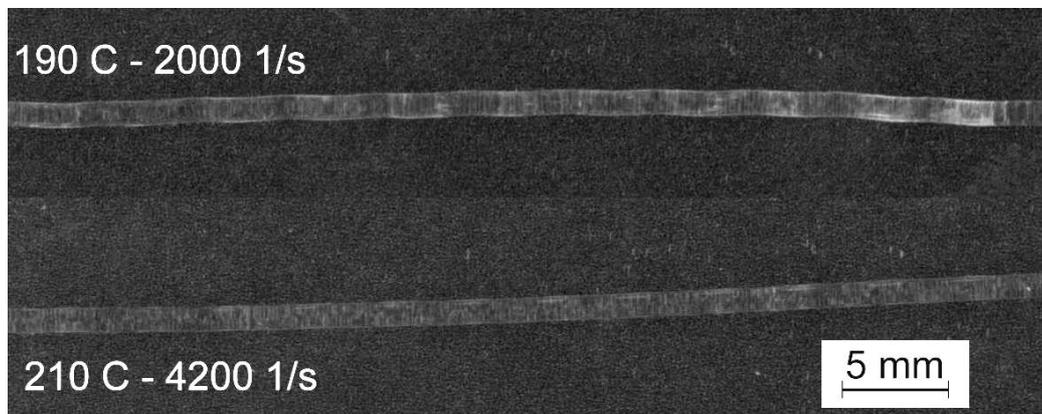


**Figura 4.** Efeito das correções de Bagley e Weissemberg-Rabinowisch

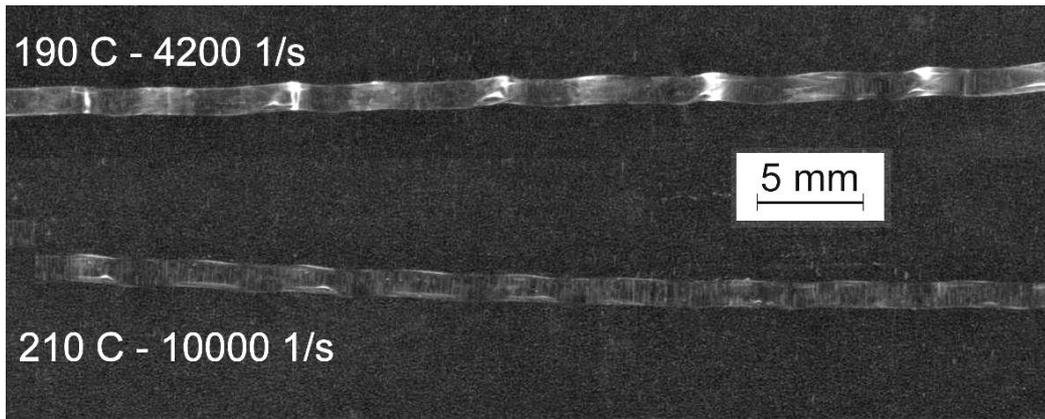
Embora a fratura do fundido, detalhada a seguir, tenha ocorrido durante a extrusão da blenda nos testes realizados a 190 e 210 °C, nenhuma descontinuidade ou mudança de inclinação significativa da curva pôde ser detectada nas Figuras 1, 2, 3 ou 4.

### Fratura do Fundido

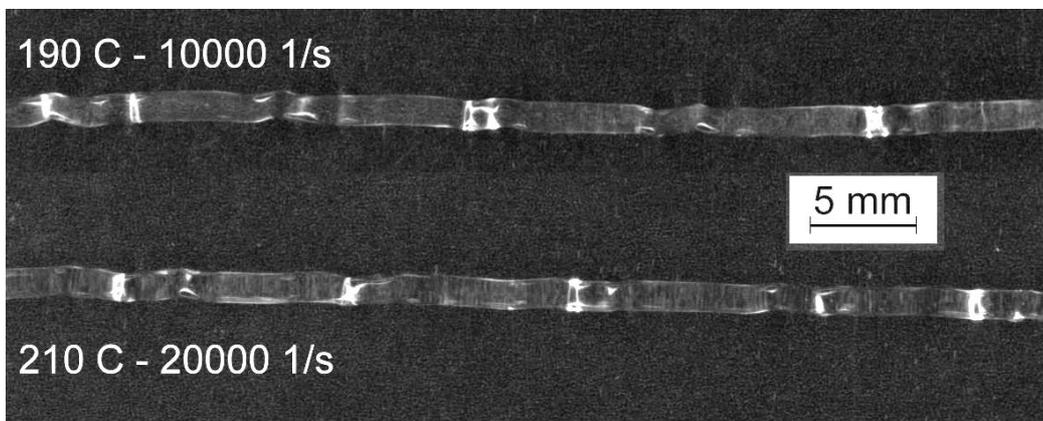
Para a análise do fenômeno de fratura do fundido, o processo foi simulado a 190 e 210 °C e sob diferentes taxas de deformação, como citado anteriormente. O material extrudado sob cada temperatura e cada taxa de deformação foi então coletado para inspeção. Através desta inspeção visual foi possível determinar, para cada temperatura, o início do fenômeno de fratura, determinando-se assim um valor crítico de taxa de deformação. As amostras de material obtidas sob taxas de deformação acima do valor crítico foram comparadas para as duas diferentes temperaturas de extrusão e aquelas que possuíam o mesmo aspecto visual foram separadas em três diferentes estágios de fratura do fundido: 1- Início da Fratura, 2- Fratura Moderada, 3- Fratura Severa. Estes estágios são mostrados nas Figuras 5, 6 e 7.



**Figura 5.** Início da Fratura (estágio 1)



**Figura 6.** Fratura Moderada (estágio 2)



**Figura 7.** Fratura Severa (estágio 3)

Os valores de tensão de cisalhamento e taxa de deformação (valores não corrigidos, como mostrados na Figura 3) para cada estágio são mostrados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Estágios de Fratura do Fundido durante a extrusão da blenda TPE/SB a 190 e 210 °C

ESTÁGIO	190 °C		210 °C	
	Taxa de Def.(1/s)	Tensão (kPa)	Taxa de Def.(1/s)	Tensão (kPa)
1-Início da Fratura	2000	197.4	4200	184.7
2-Fratura Moderada	4200	242.8	10000	242.7
3-Fratura Severa	10000	308.2	20000	293.2

Os pontos 1, 2 e 3 da Tabela 1 possuem, aproximadamente, os mesmos valores de tensão de cisalhamento a 190 e 210 °C, mostrando que a tensão crítica de fratura do fundido para a blenda TPE/SB é independente da temperatura. Este fenômeno também foi observado por Ramamurthy (1986).

## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho foi motivado, principalmente, pela necessidade da indústria de transformação de plásticos de melhorar as características do produto final, em particular no uso de blendas poliméricas, e também de otimizar os processos de transformação destes materiais.

A reometria capilar se mostra uma ferramenta muito útil no estudo do comportamento de materiais plásticos, simulando as condições de processo e tornando possível a detecção e prevenção das condições críticas de operação, como por exemplo, o início do fenômeno de fratura do fundido.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo suporte financeiro prestado.

## 7. REFERÊNCIAS

- El Kissi, N. And Piau, J. M., 1990, J. Non-Newt. Fluid Mech., 37: 55-94
- Hatzikiriakos, S. G., 1994, Polymer Eng. & Sci., 34: 1441
- Hill, D. A., Hasegawa, T. and Denn, M. M., 1990, J. Rheology, 34: 891-918
- Kalika, D. S. and Denn, M. M., 1987, J. Rheology, 31: 815
- Petrie, C. J. S. and Denn, M. M., 1976, AIChE J., 22: 209-236
- Ramamurthy, A. V., 1986, J. Rheology, 30: 337