

# INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS DE PROCESSO NAS PROPRIEDADES DE UM COMPOSTO DE BORRACHA USADO EM PERFIL DE ACABAMENTO

José Carlos Martins<sup>1</sup>, Lieze Puls Valim<sup>2</sup>, Rafael Dias Rodrigues<sup>3</sup>, Roselena Faez<sup>4</sup>

<sup>1-3</sup>Univap/FEAU, Av. Shishima Hifumi, 2911, São José dos Campos –SP - jc\_Martins@bol.com.br, liezepuls@directnet.com.br, engmatrf@bol.com.br

<sup>4</sup> Univap / IPD, Av. Shishima Hifumi, 2911, São José dos Campos –SP, faez@univap.br

**Resumo-** Neste trabalho foram desenvolvidas formulações de borracha e avaliada a sua influência nos processos de mistura e vulcanização e nas propriedades mecânicas. No processo de mistura estudou-se a incorporação e homogeneização das matérias primas no elastômero utilizando-se misturador aberto. Nos processos de extrusão e vulcanização verificou-se a influência dos parâmetros de processo em relação a mistura, onde observou-se a necessidade de mudança no sistema de vulcanização. As propriedades mecânicas mensuraram as diferenças de propriedades com as alterações do sistema de vulcanização.[1]

**Palavras-chave** - Vulcanização, Borracha de etileno-propileno (EPDM), extrusão, formulação.

**Área de conhecimento** - Engenharia de Materiais

## Introdução

Nenhuma borracha exibe todas as suas características quando em sua forma bruta. É necessário tornar o material adequado à sua aplicação final através da incorporação de diversas substâncias com propósitos específicos. Uma borracha dita bruta (ou polímero puro), não possui consistência adequada à moldagem de um artefato, ou a laminação de um lençol. Nem possui resistência mecânica ou agentes químicos adequados. Estas propriedades serão alcançadas quando forem adicionados à borracha materiais com estes propósitos. Em termos genéricos, uma formulação de borracha deve conter agentes de vulcanização, aceleradores, cargas inertes e de reforço, etc. [2-5]

Os EPDMs são terpolímeros que contém um dieno não conjugado como terceiro monômero que permite que ocorra a reação de reticulação. A densidade e velocidade de reticulação dependem diretamente do tipo de dieno contido no copolímero. [3 -4]

O dieno tipo ENB (Etileno Norboneno) proporciona velocidade de vulcanização muito rápida e alta densidade de reticulação nos compostos vulcanizados por enxofre. Durante a polimerização dos copolímeros de EPDM, o dieno tipo ENB ainda promove significativa redução das ramificações estruturais, sendo atualmente o tipo de dieno mais largamente usado pelos produtores de EPDM. Os EPDMs desta categoria possuem excelentes propriedades de cura por meio de peróxidos orgânicos, sendo que com este sistema, não são produzidas as nitrozaminas (tóxicas) durante a vulcanização.

Este trabalho visa estudar a influência do sistema de vulcanização nos parâmetros de processo.

## Materiais e Métodos

### Preparação do composto

Todas as formulações foram preparadas em misturador aberto (Metalbor MB-307), com dimensões do cilindro 300mm x 700mm (diâmetro x largura), com rotação de 15 e 17rpm, relação de fricção 1:1,13, potência do motor de 25cv, Figura 1, de acordo com a descrição a seguir:

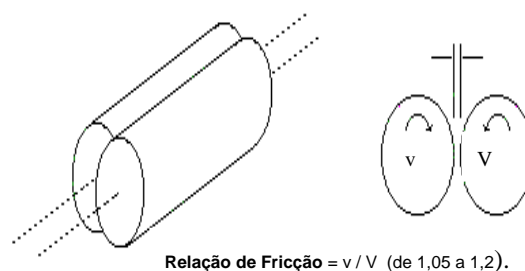


Figura 1 – Esquema ilustrativo do misturador aberto

Etapa 1: 00:00 min: Adição do polímero EPDM.

Etapa 2 :05:00 min: Adição da metade das cargas de reforço e enchimento. Nesta etapa é realizado o procedimento CVRH (Corta, Varre, Raspa e Homogeneíza). Procedimento de mistura de componentes em moinho de rolo aberto.

Etapa 3: 15:00min: Adição do restante das cargas de reforço e enchimento. Novamente faz-se o procedimento CVRH.

Etapa 4: 23:00 min: Incorporação dos ativadores até homogeneização completa.

Etapa 5 : 27:00 min : Adição dos aceleradores.

Etapa 6: 30:00 min: Retira-se o composto formulado de borracha na forma de rolos, passa-o novamente no cilindro para melhorar a homogeneização. Após, retira-se o composto na forma de mantas e coloca-os em “cabides” para resfriamento em temperatura ambiente.

Foram preparadas sete formulações utilizando-se de um máster de borracha com formulação: Nordel IP 4570 – 100phr (*per hundred rubber*); Óxido de Zinco – 5phr; Ácido Esteárico – 1phr; Zeozil 175 – 100phr; Caulim – 100phr; Plastificante Parafínico – 100phr; Óxido de Cálcio – 10phr; Dióxido de Titânio – 5phr; Polietilenoglicol – 5phr; Negro de Fumo (N-550) – 0,3phr; alterando-se os sistemas de vulcanização, usando-se diferentes famílias de aceleradores, enumeradas de 01 a 07 conforme Tabela 1. A unidade *phr* tem como significado parte de ingrediente por cem partes de borracha. [5]

Tabela 1: Componentes e teores de sistemas de vulcanização utilizados nas formulações. [2-3]

Componentes	Formulações (phr)						
	1	2	3	4	5	6	7
Enxofre	1,5	2,0	0,5	2,0	1,0	1,8	1,8
<i>TMTD</i>							
<i>Thiurams</i>	1,5	0,8	3,0	0,8	1,0	2,0	2,0
<i>DPTT</i>							
<i>Thiurams</i>	-	0,8	-	-	-	-	-
MBT Thiazóis	0,5	1,5	-	-	-	2,0	2,0
MBTS							
Thiazóis	-	-	-	1,5	-	-	-
TBBS							
Thiazóis	-	-	-	-	2,0	-	-
<i>TDEC</i>							
<i>Carbamatos</i>	-	0,8	-	-	-	-	-
<i>ZBDC</i>							
<i>Carbamatos</i>	-	-	3,0	2,5	-	-	2,0
<i>ZDMC</i>							
<i>Carbamatos</i>	-	-	3,0	-	-	-	-
<i>ZBPD</i>							
<i>Carbamatos</i>	-	-	-	-	2,0	-	-
<i>ZEDC</i>							
<i>Carbamatos</i>	-	-	-	-	-	2,0	2,0
DTDM							
Morfolino	-	-	2,0	-	-	-	-
Valor, R\$/ Kg	4,30	4,37	4,71	4,42	4,46	4,48	4,57

Os perfis de borracha foram extrudados em extrusora (Trafila Metalbor com motor de 1800rpm) a 45°C com velocidade de rotação da rosca de 56rpm. A vulcanização em túnel contínuo foi realizada a 220, 250, 270 e 280°C.

#### Caracterização

Foi realizado o ensaio reológico (Reômetro MDR-2000 a 160°C e 1arc.) para determinação das condições de cura.

As análises de caracterização mecânica, dureza e deformação permanente foram realizadas utilizando-se os equipamentos duromêtro shore A, Wack 0-100 shore divisão 1 e

estufa com medidor de temperatura de 0-200°C conforme normas ASTM D-2240 e ASTM D 395 B, respectivamente.

## Resultados e Discussão

Foram utilizados sete diferentes sistemas de vulcanização para alcançar um resultado satisfatório entre o cliente e o fabricante, ou seja aparência e produtividade. Em cada formulação ocorreram duas variáveis de processo: temperatura e velocidade de vulcanização, Tabelas 2 e 3, respectivamente.

A Tabela 2 mostra os resultados de vulcanização e aparência do material com a variação das temperaturas do túnel de vulcanização, mantendo-se a velocidade da esteira constante. Verificam-se melhores resultados para a formulação 7, onde a cura foi satisfatória e a aparência boa para menor temperatura de vulcanização.

Tabela 2 - Variáveis de processo em função da temperatura do túnel de vulcanização e velocidade de vulcanização 1m/min.

	Temperatura de vulcanização /°C			
	220	250	270	280
1	MC*	MC	CS*/AR*	FD*
2	MC	MC	CS/AR	FD
3	MC	MC	CS/AR	FD
4	MC	MC	CS/AR	FD
5	MC	MC	CS/AR	FD
6	MC	MC	CS/AB*	FD
7	CS*/AB	-	-	-

*Material Cru – MC; Cura Satisfatória –CS; Aparência Boa – AB; Aparência Ruim-AR; Fase de Degradação –FD.*

Tabela 3- Varáveis de processo em função da velocidade de extrusão a 220°C.

	Velocidade de extrusão (m/min)			
	0,6	0,8	1,0	2,0
1	CS*/PB*	MC*	MC	MC
2	CS/PB	MC	MC	MC
3	CS/PB	MC	MC	MC
4	CS/PB	MC	MC	MC
5	CS/PB	MC	MC	MC
6	CS/PB	MC	MC	MC
7	CS/PB FD*	CS/PB AR*	CS/PA* AB*	MC

*Cura Satisfatória –CS, Produção Baixa – PB, Material Cru – MC; Aparência boa – AB; Fase de Degradação – FD; Aparência Ruim – AR; Produção Alta – PA.*

A Tabela 3 mostra os resultados de vulcanização com variação da velocidade da

esteira do túnel e temperatura constante avaliando-se a produtividade do perfil. Verificam-se melhores resultados para a formulação 7, sendo que a velocidade de esteira que proporcionou a obtenção do melhor material foi de 1m/min.

Nos testes realizados verificou-se que a família de carbamatos teve ligeira vantagem. A formulação 3 apresenta melhores propriedades, entretanto com um custo alto. Desta forma tentou-se manter as suas propriedades reduzindo apenas o custo onde se desenvolveu as formulações 4, 5, 6 e 7. A diferença entre as formulações 3, 4 e 5 foi a diminuição do acelerador da família dos carbamatos e adição de um acelerador da família dos thiazóis. Com a fórmula 6 foi trocado o acelerador da família thiazol e manteve um acelerador da família dos carbamatos, na formula 7 voltou a usar dois aceleradores da família dos carbamatos a fim de garantir alta produtividade como na formula 3, entretanto manteve-se o acelerador da família dos thiazóis usado na formulação 6 pois este garantiu maior vida útil. As formulações 3 e 7 apresentam propriedades próximas tendo como única diferença a produtividade uma vez que ambas usam dois aceleradores da família Carbamatos que são ultra-rápidos. Antes do processamento, incorporou-se na formulação 7, um acelerador da família Thiazol para aumentar o tempo de vida de prateleira. E, antes da vulcanização, diminuiu o acelerador da família das Thiurams que são muito ativas a umidade ambiente, evitando que estes materiais tenham uma pré-cura.

Analisando as propriedades dos materiais preparados, Tabela 4 e Figuras 2-4, verifica-se que os valores obtidos são bem próximos. Desta forma o que corroborou para a escolha dos melhores parâmetros foi a aparência e produtividade. Entretanto, pode-se observar algumas diferenças nas propriedades dos materiais em função dos sistemas de cura.

Tabela 4 – Reologia e Características Mecânicas. Temperatura 160°C e 1arc.

Amostra	T-90	Dureza	TR	Alongamento
	17,5	67	1690	320
2	17,3	71	1860	280
3	14,5	69	1600	325
4	15,5	71	1715	295
5	18,0	66	1615	430
6	16,0	65	1200	410
7	11,0	67	1100	350

T-90 – reologia (min), Dureza – Shore A, TR- Tensão de Ruptura (psi), Alongamento (%).

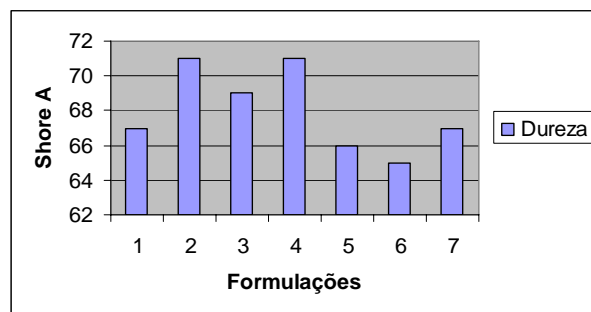


Figura 3- Variação da Dureza, realizado em temperatura ambiente.

As variações das durezas foram no máximo de 6 pontos (Shore A), uma variação aceitável para o produto, já que entre 65 e 70 shore A é um produto macio e poderá absorver os impactos sem deformação.

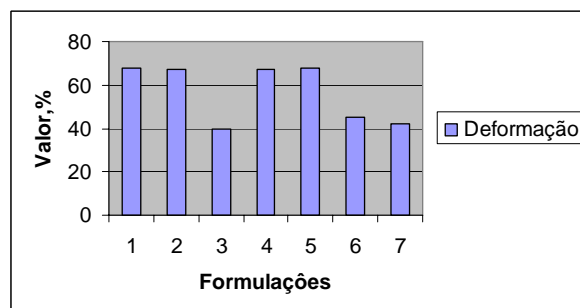


Figura 4- Deformação permanente realizado a 100°C.

As formulações 7 e 3 apresentaram menor deformação permanente à compressão onde demonstraram uma larga vantagem para as outras fórmulas que usavam em sua composição aceleradores da família dos carbamatos portanto, ambas atendem aos requisitos do cliente.

## Conclusão

Pode-se concluir que dentre todas as formulações preparadas, a de número 7 apresentou o melhor benefício apesar de ter propriedades físico-mecânicas muito próximas das outras formulações. Este material apresentou aparência com superfície lisa, critério este importante por ser um produto de acabamento visual. Também apresentou alta produtividade, tempo de prateleira excelente e baixa deformação, principais características para a aplicação em gôndolas de supermercado.

## Referências

- [1]. Ficha Técnica de Matéria Prima.
- [2]. [www.borrachanatural.com.br](http://www.borrachanatural.com.br), acesso em 01/03/06.
- [3] [www.vulcanizar.com.br](http://www.vulcanizar.com.br), acesso em 01/03/06.
- [4] [www.meusite.mckenzie.com.br/carlos monezi](http://www.meusite.mckenzie.com.br/carlos_monezi), acesso em 06/08/06.
- [5] [www3.aneel.gov.br](http://www3.aneel.gov.br), acesso em 12/08/06.