

## 6. TESTES E ANÁLISES DE ELASTÔMEROS

### 6.1. Comentários gerais sobre testes de elastômeros

As propriedades físicas dos elastômeros dividem-se em: propriedades de material não vulcanizado e propriedades de material vulcanizado.

Entre os testes de material não vulcanizado destacamos apenas dois: a reometria e a viscosidade Mooney, uma vez que eles são utilizados para o processo de vulcanização (capítulo 4) e processamento (capítulo 5).

#### 6.1.1. Reometria

O propósito do teste de reômetro é prever os parâmetros de processamento de um composto para a medição de suas características de cura.

Um Reômetro de Disco Oscilante (ODR) é um instrumento usado para medir a viscosidade de um composto de borracha enquanto ela vulcaniza. A amostra de borracha com um rotor na forma de um disco oscilante embebido nesta amostra, é confinada em uma cavidade seca enquanto é sujeita a uma temperatura de vulcanização desejada. O torque requerido para oscilar o rotor é medido. Enquanto acontece a vulcanização, o torque necessário para cisalhar a borracha aumenta e é gerada uma curva de torque versus tempo.

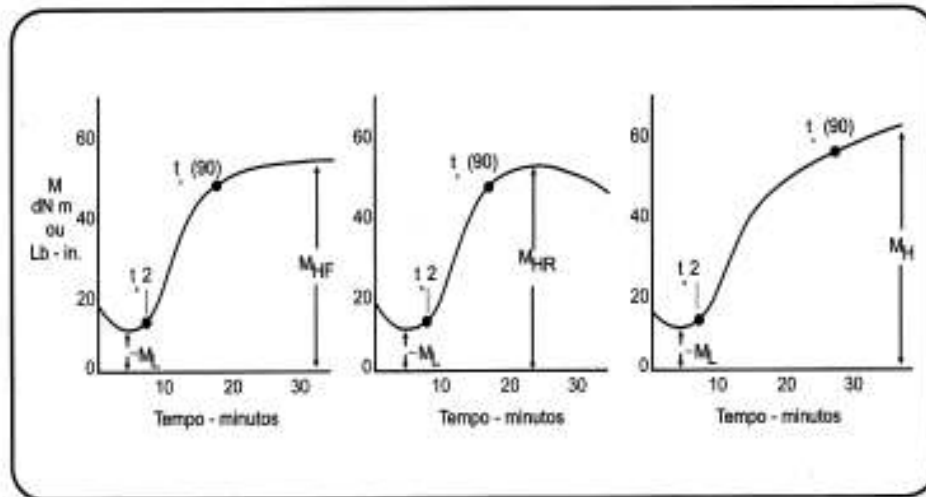
#### Preparação da Amostra:

Uma amostra de um composto vulcanizado para teste de reômetro deve ter forma circular, com  $30 \pm 2$  mm de diâmetro e  $11,5 \pm 1,5$  mm de espessura; deve pesar entre 9 e 12 gramas quando o composto tiver uma gravidade específica de 1,15.

O procedimento para teste de reômetro é descrito na ASTM D2084-93.

#### Curva de Reômetro:

Os pontos a que mais nos referimos em uma reografia são:  $ts_2$ , que indicam a segurança de pré-vulcanização à temperatura de cura; **MH**, **MHL** ou **MHR**, que dão uma indicação do torque máximo e **Tc<sub>90</sub>**, que indica o tempo para ótima vulcanização. Seguem abaixo alguns exemplos de curvas reométricas geradas por diferentes sistemas de vulcanização.



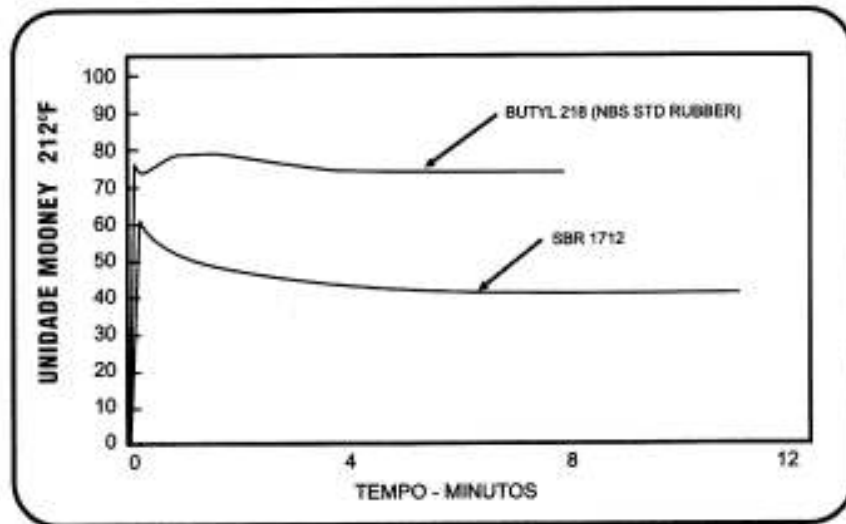
### 6.2.2. Viscosidade e Pré-Vulcanização Mooney

O propósito do teste Mooney é determinar as características de processamento de um composto.

O viscosímetro Mooney é um instrumento usado para medir a viscosidade de cisalhamento de um elastômero ou composto de borracha a uma temperatura elevada, em um determinado período de tempo. Esta ação de cisalhamento é desenvolvida por um disco de rotação em uma cavidade carregada com composto de borracha. O viscosímetro Mooney pode ser usado para medir viscosidade de elastômero bruto, borracha composta.

A viscosidade é usualmente medida após 1 minuto de pré-aquecimento, seguida por 4 minutos de ação de cisalhamento.

Medições contínuas de viscosidade na temperatura de processamento, usualmente 121°C, indicam o tempo adequado para processamento do composto. A medida mais comum de viscosidade Mooney é o tempo, 5 pontos acima do mínimo. A figura abaixo mostra uma curva típica de viscosidade Mooney.



Os procedimentos completos para testes de viscosidade Mooney são descritos na ASTM D1646.

## 6.2. Testes mecânicos

Os testes mecânicos medem as propriedades físicas básicas de um composto vulcanizado. São propriedades relacionadas aos compostos vulcanizados e, salvo exceções, seguem a padronização ASTM D2000 para definir as propriedades requeridas.

### A Classificação ASTM para Borrachas

O sistema de classificação ASTM D2000/SAE J200/ABNT EB362, baseia-se no fato de que as propriedades dos elastômeros vulcanizados podem ser agrupadas em classes.

O objetivo deste sistema é fornecer um guia para o engenheiro, na seleção prática e econômica dos elastômeros disponíveis.

Ele também fornece o meio para especificação destes materiais.

**Exemplo:**

### ASTM D 2000 M2BC 507 A14E034

#### Requerimentos básicos

<u>SI</u>	<u>Grade No.</u>	<u>Tip</u>	<u>Dureza</u>
M	2	BC	507
		↓ Classe	↓ Carga de ruptura

**Primeira Designação (2)**

Número para designar requisitos suplementares além da chamada básica.

**Segunda Designação (B)**

Indica os requisitos de resistência térmica nas quais o polímero deve ser testado.

<b>Tabela 1- Requisitos Básicos</b>	
<b>Definição do Tipo pela Temperatura</b>	
Tipo	Temperatura de Teste, °C
A	70
B	100
C	125
D	150
E	175
F	200
G	225
H	250
J	275

**Terceira Designação (C)**

Indica o grau requerido de resistência a óleo, medido por variação volumétrica.

<b>Tabela 1- Requisitos Básicos</b>	
<b>Definição de Classe por Variação de Volume</b>	
Tipo	Variação de Volume Máxima em Óleo ASTM IRM 903
A	140
B	120
C	100
D	80
E	60
F	40
G	30
H	20
J	10
K	10

**Quarta Designação (5)**

Indica a dureza requerida  $50 \pm 5$

(3 indica dureza de  $30 \pm 5$ )

(4 indica dureza de  $40 \pm 5$ )

(6 indica dureza de  $60 \pm 5$ )

(7 indica dureza de  $70 \pm 5$ )

(8 indica dureza de  $80 \pm 5$ )

(9 indica dureza de  $90 \pm 5$ )

**Quinta e Sexta Designação (15)**

Indica a força tensora requerida de 1500 psi.

Nota: a letra M antes da primeira designação, indica sistema métrico e a medida é MPa; ou seja, 1500 psi = 10 MPa.

(05 indica 5 MPa)

(10 indica 10 MPa)

(20 indica 20 MPa, etc)

**Sétima Designação**

As letras (A-C-E e G) indicam requisitos suplementares para aplicações particulares, que são requisitos mais rígidos do que os requisitos-padrão da classificação.

<b>Tabela 3- Significado dos Sufixos</b>	
A	Resistência Térmica
B	Deformação Permanente
C	Resistência ao Ozônio e Intempérie
D	Resistência à Compressão – Deflexão
EA	Resistência a Fluidos (Aquosos)
EF	Resistência a Fluidos (Combustível)
EO	Resistência a Fluidos (Óleos)
F	Resistência à Baixa Temperatura
G	Resistência ao Rasgo
H	Resistência à Flexão
J	Resistência à Abrasão
K	Adesão
M	Resistência à Combustibilidade
N	Resistência ao Impacto
P	Resistência ao Manchamento
Z	Qualquer requisito especial, que deve ser especificado em detalhes

## Oitava Designação

O sufixo numérico (14-12-14-21) indica o método de teste ASTM aplicável ao primeiro dígito:

Requerimentos básicos e primeiro sufixo numérico – Requisito ou Sufixo	Básico	1	2	3	4	5		
Força Tensora, Alongamento	D412 molde C							
Dureza	D2240							
Sufixo A, Resistência Térmica		D573 70 h	D865 70 h	D865 168 h	D573 168 h			
Sufixo B, Deformação Permanente, Espécime de Teste, Padrão retirado de uma manta		D395 22 h método B, sólido	D395 70 h método B, sólido	D395 22 h método B, camadas	D395 22 h método B, camadas			
Sufixo C, Resistência ao Ozônio e Intempérie		D1171 exposição ao ozônio <sup>B</sup> , método A	D1171, <sup>E</sup> tempo	D1171 exposição ao ozônio <sup>F</sup> , método B				
Sufixo D, Resistência à Compressão – Deflexão		D575 Método A	D575 Método B					
Sufixo EF, Resistência a Fluido		D471 Combustível de referência A, 70 h	D471 Combustível de referência B, 70 h	D471 Combustível de referência D, 70 h	D471 Percentual Volumétrico em Combustível D + 15% de Etanol, 70 h			
Sufixo EA, Resistência a Fluido Aquoso		D471 Água Destilada 70 h <sup>D</sup>	D471 Partes Vol. Água Destilada e Etileno Glicol 70 h <sup>G</sup>					
Sufixo F, Resistência à baixa Temperatura		D2137 Método A	D1053 5 mm, T2, T5, T15, T50 ou T100	D2137 Método A, 9.3.2, 22 h	D1329 molde de 38,1 mm, 50% de along., retração mín.10%	D1329 molde de 38,1 mm, 50% de along., retração mín. 50%		
Sufixo G, Resistência ao Rasgo		9.3.2, 3 minutos	D624 Molde C					
Sufixo H		D624 Molde B	D430 Método B	D430 Método C				
Sufixo J, Resistência à Abrasão		D430 Método A						
Sufixo K, Adesão		<sup>A</sup>	D429 Método B					
Sufixo M, Resistência à Combustibilidade <sup>A</sup>		D429 Método A						
Sufixo N, Resistência ao Impacto <sup>A</sup>								
Sufixo P, Resistência ao Manchamento			D925 Método B, Painel de Controle					
Sufixo R, Resiliência		D925 Método A						
Sufixo Z, Requerimento Especial A		D945						
	1	2	3	4	5	6	7	8
Sufixo EO, Resistência a Óleo	D471 Óleo ASTM N°. 1 <sup>C</sup> 70h	D471 Óleo ASTM N°. 2 <sup>C</sup> 70h	D471 Óleo ASTM N°.3 <sup>C</sup> 70h	D471 Óleo ASTM N°. 1 168h	D471 Óleo ASTM N°. 2 168h	D471 Óleo ASTM N°. 3 168h	D471 Fluido de Serviço 101, 70 h	D471 Óleo especif. na tabela 6, 70h

**A** – Método de teste a ser especificado

**B** - Utilize o Método de Teste D471

**C**- Óleo ASTM Nº 1 deve ser adquirido de MZF Assoc.; 11200 Homedale St., Los Angeles, CA 90049. Óleos ASTM IRM 902 e 903 devem ser adquiridos de R.E. Carroll, P.O. Box 139, Trenton, NJ8601.

**D**- Deve ser utilizada água destilada. Determinar o aumento de volume pelo método de deslocamento de água, não efetuando o banho em álcool. Para determinar variações de força tensora, alongamento e dureza, o tubo de teste deve ser de 3/4, que deve ser cheio após a imersão dos espécimes. Determinações devem ser feitas após 30 min. Resfrie em água destilada; não se usa o banho de acetona.

**E**- Método de Teste D1171. Teste ao Tempo- tem duração de 6 semanas. A área de teste e o tempo do ano será acordado entre o comprador e o fabricante.

**F** – Use exposição na câmara de ozônio do teste D1171, método B.

**G** – partes iguais de água destilada e etileno glicol grau reagente. Aumento em volume pelo método do deslocamento, não utilizando banho em álcool. Na determinação de variações de força tensora, alongamento e dureza, o tubo de teste deve ser de 3/4, cheio após a imersão dos espécimes. Determinações devem ser feitas após 30 min. Resfrie em água destilada; não utilizar acetona.

**H** – O fluido a ser utilizado é especificado por sufixos apropriados na Tabela 6.

### **Nona Designação**

O sufixo numérico (14-12-14-21): o segundo dígito denota a temperatura na qual o teste deve ser conduzido.

<b>Sufixos Aplicáveis</b>	<b>Segundo Sufixo Numérico</b>	<b>Temperatura de Teste, °C<sup>A</sup></b>
A, B, C, EA, EJ, EO, G, K	11	275
	10	250
	9	225
	8	200
	7	175
	6	150
	5	125
	4	100
	3	70
	2	38
	1	23
	0	<sup>B</sup>
	F	1
2		0
3		-10
4		-18
5		-25
6		-35
7		-40
8		-50
9		-55
10		-65
11		-75
12		-80

<sup>A</sup> Estas temperaturas de teste são baseadas na Prática D1349

<sup>B</sup> Temperatura ambiente no caso de teste no exterior

ASTM D2000	Tipo de Polímeros Normalmente Utilizados
AA	Natural, borrachas sintéticas ou regeneradas
AA,BA	Natural, borrachas sintéticas ou regeneradas
AK,BK	Polisulfetos
BG	NBR, uretano
BC	Policloropreno
FC,FS,FE,GE	Silicones (Alta tração)
DH	Poliacrilicas

**Tabela de referência para classe e elastômero**

### 6.2.1. Dureza

Uma pergunta que freqüentemente fazemos: qual o significado da dureza em um artefato? No entanto, por si só, a dureza pouco representa para determinar a utilização de um artefato; devemos acrescentar outras características, como tensão de ruptura e alongamento.

Mas, o que efetivamente representa a dureza, seja ela Shore A ou IRHD? Elas são definidas por métodos padronizados.

Os métodos padronizados de medição da dureza de borrachas e plásticos, utilizam nomenclaturas como Shore A e D ou métodos IRHD (N, H, L e M); estes métodos estão especificados na ISO 868 e BS903/ISSO 48, respectivamente. Através do uso destas técnicas, temos como resultado a melhor acuidade do processo de medição.

Dureza Shore:

A dureza Shore especifica métodos para determinação da dureza dos materiais por meio de durômetros de dois tipos: tipo A, para materiais macios e tipo D, para materiais duros, mesmo que o padrão ASTM tenha 8 tipos de escalas.

O método permite medir a penetração inicial na superfície do artefato, após um breve período de tempo. A medida da dureza é inversamente proporcional a esta penetração; ou seja, quanto maior a penetração, mais mole será o produto (menor dureza). É uma propriedade que depende do módulo elástico e da viscoelasticidade do material.

A forma do penetrador, a força aplicada e a duração do teste influenciam os resultados.

O durômetro Shore A consiste de uma base para apoio, um penetrador, um dispositivo indicador, e uma mola calibrada que aplica a força ao penetrador. A diferença entre a dureza Shore A e a D está na forma do penetrador e a mola calibrada.

**Tabela 1. Escalas de dureza Shore A**

Durômetro Shore	Penetrador	Força aplicada, $F$ / mN
Tipo A	Cilindro de aço endurecido 1,10 mm - 1,14 mm dia, com um cone truncado a 35° cone, 0,79 mm dia.	$F = 550 + 75 H_A$
Tipo D	Cilindro de aço endurecido 1,10 mm - 1,14 mm dia, Com um ponto cônico a 30°, 0,79 mm dia	$F = 445 H_D$

Nota 1: Para durezas acima de 90 Shore A, utilizar a escala D; para durezas abaixo de 20 Shore D, utilizar a escala A.

As unidades de dureza variam de 0-com a penetração total do cilindro de 2,50 mm-, até 100-sem penetração.



A força é aplicada o mais rapidamente possível, sem choque, e a medição da dureza é feita após  $15 \pm 1$  s. Se especificada a leitura instantânea, este tempo será de 1s. A relação entre os diferentes resultados obtidos por um durômetro, pode ser diferente dos resultados obtidos por outro equipamento de medição.

### Dureza IRHD

Na realidade, a dureza IRHD (Graus Internacionais de Dureza da Borracha) possui 4 graus distintos de medição para a medida da dureza em borrachas vulcanizadas ou termoplásticos (N, H, L e M), e quatro métodos para a determinação da dureza aparente de superfícies curvas (CN, CH, CL e CM).

O teste consiste na medida da diferença entre a profundidade de penetração de uma esfera na superfície da borracha, sob uma força de contato inicial, seguida da aplicação total da força de contato. Os métodos diferem no diâmetro da esfera de penetração e na magnitude da força de penetração, selecionada de acordo com a dureza da borracha.

Tabela 2 . Escalas de dureza IRHD e forças de teste.

Método de teste	Diâmetro do penetrador, / mm	Força de contato, / N	Força adicional/ N	Força total, / N	Aplicação
N	$2,50 \pm 0,01$	$0,30 \pm 0,02$	$5,40 \pm 0,01$	$5,70 \pm 0,03$	Espessura: = 4 mm, Faixa: 35 - 85 IRHD, ou 30 - 95 IRHD
H	$1,00 \pm 0,01$	$0,30 \pm 0,02$	$5,40 \pm 0,01$	$5,70 \pm 0,03$	Espessura: = 4 mm, Faixa: 85 - 100 IRHD
L	$5,00 \pm 0,01$	$0,30 \pm 0,02$	$5,40 \pm 0,01$	$5,70 \pm 0,03$	Espessura: = 6 mm, Faixa: 10 - 35 IRHD
M	$0,395 \pm 0,005$	$0,0083 \pm 0,0005$	$0,145 \pm 0,0005$	$0,1533 \pm 0,001$	Espessura: < 4 mm, Faixa: 35 - 85 IRHD, ou 30 - 95 IRHD

Nota 2: As durezas obtidas no método N na faixa de 85-95 IRHD e 30-35 IRHD não correspondem aos valores obtidos nos métodos H ou L

A relação entre a profundidade de penetração D, a dureza da borracha, e o valor IRHD é baseada na fórmula.

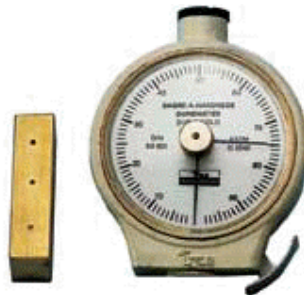
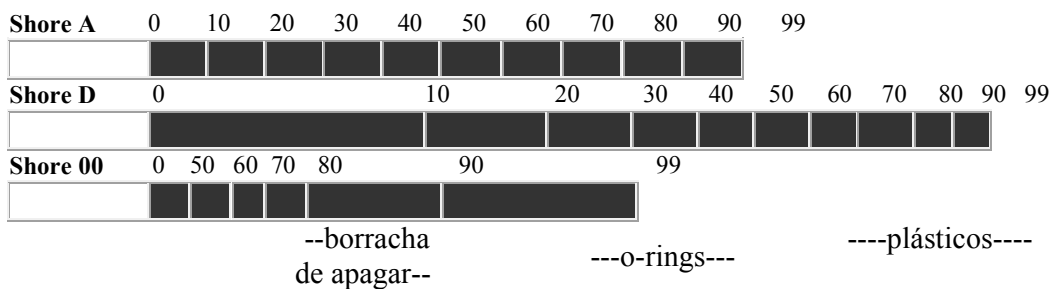
$$F/E = 0,0038r^{0,65} \times D^{1,35}$$

Onde:

F = força de penetração, em N  
R = raio do penetrador, em mm  
E = módulo de Young, em MPa

A escala de dureza foi escolhida de maneira que IRHD representa a dureza de um material com módulo de Young = 0, e 100 IRHD representa a dureza de um material com módulo de Young infinito.

## > COMPARAÇÃO DA ESCALA DE DUREZA SHORE



**Durômetro Shore A**

### **Referência**

ISO 868:1985

ASTM D 2240-00

BS 903: Part A26: 1995

### **6.2.2. Carga de ruptura e alongamento**

A carga de ruptura e o alongamento foram definidos, para aplicação em borracha, pela Associação Americana para a Prova de Materiais (na ASTM D 412):

CARGA DE RUPTURA é a força aplicada por unidade de seção reta inicial de um corpo de prova, no momento da ruptura.

O ALONGAMENTO, ou deformação elástica, é o estiramento entre dois traços de referência marcados no corpo de prova e produzido pela aplicação de uma força.

Expressa-se comumente como percentagem da distância inicial entre estes dois traços. O alongamento final é o alongamento no momento da ruptura.

MÓDULO, ou Esforço de Tração, é a força necessária para conseguir que um corpo de prova apresente um alongamento determinado. Mede-se em quilos por centímetro quadrado da seção inicial. Por conseguinte, se for necessário aplicar uma carga de 70 kg/cm<sup>2</sup> para obter um alongamento de 650 % em um corpo de prova, diz-se que o módulo desse material para o alongamento de 650 % é de 70 kg/cm<sup>2</sup>. Na borracha, diferente do que ocorre no aço, o esforço de tração e o alongamento não são proporcionais e, portanto, o termo módulo tem significação diferente para os dois materiais. Em relação ao aço, o módulo corresponde ao esforço dividido pelo alongamento, e é simultaneamente uma relação e uma constante. Na borracha, porém, o módulo significa esforço a um alongamento determinado, não representando uma relação ou uma constante, mas apenas as coordenadas de um ponto da curva esforço-alongamento.

### **Método de ensaio**

Os métodos para realização dos ensaios de tração foram padronizados e acham-se descritos na ASTM D412. Utilizam-se corpos de prova com a forma de halteres, de 10 ou 13 cm de extensão, recortados de lâminas de borracha e marcados na parte mais estreita com dois traços de referência, distanciados de 2 ½ ou 5 cm. Ambas as extremidades do corpo de prova são presas às garras da máquina de ensaio. A garra inferior, acionada mecanicamente, afasta-se à velocidade de uns 50 cm por minuto e estica o corpo de prova até a ruptura. À medida que aumenta o afastamento dos traços de referência, mede-se a distancia entre os seus centros, a fim de determinar o alongamento. A temperatura normal para preparação e ensaio dos corpos de prova é de 23°C ± 1°C.

### **Interpretação dos dados das provas**

A carga de ruptura e o alongamento final são importantes sob três aspectos: produção de composições, controle da manufatura e determinação da suscetibilidade, deterioração pelos óleos, calor e intempéries.

Os ensaios de tensão são essenciais para a produção das composições de borracha. Utilizam-se quase que universalmente para determinar o efeito dos vários ingredientes da composição, principalmente quando estes ingredientes afetam a velocidade e o estado da vulcanização.

Depois de se ter determinado que uma composição possui as propriedades convenientes, e após ter sido iniciada a sua produção, as medidas de carga de ruptura e alongamento são ótimos instrumentos de controle. Elas reagem aos acidentes de manufatura e informam ao compositore se o produto foi bem vulcanizado, se a mistura dos ingredientes foi bem feita e se o produto final contém ou não materiais estranhos.

Os ensaios de tensão realizam-se freqüentemente, tanto antes quanto depois das provas de exposição, a fim de se avaliar a resistência relativa de um grupo de compostos à deterioração por agentes como óleo, ozônio, intempérie, oxigênio, calor e produtos químicos. Mesmo os graus de deterioração mais insignificantes refletem-se imediatamente sob a forma de alterações apreciáveis nas características de tensão.

Cumpra observar aqui que as propriedades da tensão são muito mais significativas do que os valores absolutos medidos, tanto antes quanto depois da exposição aos agentes deteriorantes. Suponhamos que, antes da exposição aos óleos, o composto de prova tinha uma carga de ruptura de  $211 \text{ kg/cm}^2$  e o composto Y, de  $127 \text{ kg/cm}^2$ , e que a capacidade desses dois compostos exercerem funções determinadas já tenha sido estabelecida em provas anteriores. Depois da exposição aos óleos, a carga de ruptura do composto X baixou de  $211 \text{ kg/cm}^2$  para  $141 \text{ kg/cm}^2$ , e a do composto Y, de 127 para apenas  $120 \text{ kg/cm}^2$ . Neste caso, a carga de ruptura do composto X ainda é mais elevada que a do composto Y, mas este estará em melhores condições para desempenhar suas funções nos serviços onde estiver sujeito à exposição aos óleos. As características superiores de retenção da carga de ruptura do composto Y são uma indicação de que também reteve mais algumas de suas outras propriedades.

Apesar disto, porém, as medidas carga de ruptura e alongamento na ruptura, ainda que indispensáveis aos tecnólogos da borracha, têm interesse limitado para os técnicos de aplicações, cuja função consiste predominantemente em determinar se esta ou aquela composição são satisfatórias para utilização de um produto específico. Aquelas medidas não são utilizáveis nos cálculos de planejamento, e têm relação muito pequena com a capacidade dos artefatos ou peças de borracha para executarem suas funções. Esta conclusão é ainda mais evidente se recordarmos que os produtos de borracha quase nunca são empregados sob tensão permanente, e muito menos sob tensões que se aproximem da sua carga de ruptura ou do seu alongamento na ruptura. As correias de transmissão, mangueiras, anéis, suportes, gaxetas e muitos outros produtos de borracha utilizados na indústria, só muito raramente funcionam sob tensões de serviço superiores a  $7 \text{ kg/cm}^2$ . Portanto, é evidente que o fato de sua carga de ruptura ser de 105 ou  $210 \text{ kg/cm}^2$  não tem a menor influência na sua capacidade para prestarem os serviços a que se destinam.

Todavia, afirma-se com freqüência que a carga de ruptura e o alongamento na ruptura, mesmo não tendo significação relevante por si mesmos, são bons índices da qualidade global. Isto não é correto. Se existir algum grau de verdade nessa afirmação, é apenas nos dois extremos da escala da carga de ruptura. Assim, os compostos cuja carga de ruptura seja inferior a  $70 \text{ kg/cm}^2$  possuem geralmente propriedades mecânicas fracas, enquanto que os compostos com cargas de ruptura superiores a  $210 \text{ kg/cm}^2$  normalmente apresentam boas propriedades mecânicas. Mas, no meio desta escala, digamos entre 105 e  $210 \text{ kg/cm}^2$ , onde está incluída a maioria dos produtos de borracha, a correlação entre a carga de ruptura e as demais propriedades, como resiliência, resistência à abrasão, deformação permanente à compressão e resistência à flexão, é, na melhor das hipóteses, puramente acidental.

Nessa gama intermediária, é possível criar duas composições de borracha diferentes (para correias em V, diafragmas ou outra qualquer aplicação) com a mesma carga de ruptura e o mesmo alongamento na ruptura - mas com propriedades inteiramente distintas no que diz respeito à sua duração em serviço.

As provas de carga de ruptura e alongamento carecem de significação, principalmente quando se comparam compostos fabricados com borrachas diferentes. Antes da Segunda Guerra Mundial, por exemplo, a carga de ruptura das bandas de rodagem dos pneumáticos fabricados com borracha natural de primeira qualidade era de 315 a  $350 \text{ kg/cm}^2$ . Todavia, durante a guerra, foi necessária a utilização de bandas de rodagem de

borracha sintética, cuja carga de ruptura não ia além de  $175 \text{ kg/cm}^2$ . Apesar disso, a indústria da borracha não tardou em produzir bandas de borracha sintética que duravam tanto tempo em serviço nos carros de passageiros quanto as bandas de borracha natural de antes da guerra.

### Referência

1. A Linguagem da Borracha – DuPont – 01/1963
2. ASTM D 412
3. ISO

### 6.2.3. Deformação permanente à compressão

Denomina-se deformação permanente à compressão a deformação residual definitiva apresentada por uma peça de borracha após a remoção da carga que produziu a deformação.

O método de análise da deformação permanente à compressão acha-se descrito no método ASTM D 395 e pode ser efetuado de duas maneiras: o método A, deformação permanente por compressão sob carga constante; e o método B, deformação permanente por compressão sob deformação constante.

No primeiro método, comprime-se um corpo de prova padrão entre pratos de aço, à carga constante de  $28 \text{ kg/cm}^2$ . Ajusta-se depois o conjunto para uma prova de duração e temperaturas determinadas (por exemplo:  $22 \text{ h}/70^\circ\text{C}$ ). Decorrido este tempo, remove-se o corpo de prova e deixa-se repousá-lo à temperatura ambiente durante meia hora. A deformação permanente à compressão sob carga constante é a diferença entre a espessura original do corpo de prova e a espessura final, expressa como porcentagem da *espessura original*.

No método B, comprime-se o corpo de prova até 25% da espessura original. A deformação permanente à compressão sob deformação constante, é representada pela diferença entre a espessura original do corpo de prova e espessura depois da prova, expressa como porcentagem da *compressão aplicada*.

Os períodos de teste e as temperaturas estão especificados pelo ASTM, outras condições também podem ser acordadas entre consumidor e fabricante.



**Dispositivo para ASTM D395 Método B**

## **Referência**

1. A Linguagem da Borracha – DuPont – 01/1963
2. ISO 815 (Ambiente & Alta Temp.)
3. ISO 1653 (Baixa Temp.)
4. ASTM D395 (Ambiente & Alta Temp.)
5. ASTM D1229 (Baixa Temp.)

### **6.2.4. Abrasão**

Denomina-se resistência à abrasão, a resistência oposta pelas composições de borracha ao desgaste pelo contato com superfícies abrasivas em movimento. A resistência à abrasão é medida sob condições definidas de carga e velocidade, sendo expressa em porcentagem, após comparação com uma composição padrão: (perda de volume do padrão/perda de volume da amostra X 100).

### **Método de ensaio**

Os dois métodos padrão para verificação da resistência dos elastômeros vulcanizados à abrasão acham-se descritos nas normas ASTM D394 e D1630. Ambas as máquinas, Du Pont (D394) e National Bureau of Standards (D1630), comprimem o corpo de prova sob determinada carga, contra um abrasivo (geralmente esmeril ou papel de lixa), montado em um disco ou tambor rotativo. A superfície abrasiva gira a uma velocidade especificada, prosseguindo a prova durante um tempo determinado (Du Pont) ou até que se tenha desgastado certa quantidade do corpo de prova (N.B.S.).

Em qualquer destes dois métodos, é necessária a repetição do teste depois de comprovada a composição desconhecida. O material usado como comparação no segundo teste é uma de três composições padrões, cujas características de tensão/deformação mais se aproximem da composição desconhecida. Comparam-se depois, sob a forma de relação, os volumes desgastados do corpo de prova e da amostra padrão.

As restrições à utilidade prática das provas de abrasão são mencionadas de maneira expressa nas ASTM D394 e D1630: “Não há nenhuma relação explícita ou implícita entre esta prova e a performance ou desempenho em serviço...O significado de seus resultados só poderá ser determinado em cada laboratório para o problema específico a ser estudado..”.

## **Referência**

1. A Linguagem da Borracha – DuPont – 01/1963
2. ASTM D 394 e D1630

### **6.2.5. Resistência à flexão**

Denomina-se resistência à flexão, a propriedade que os materiais têm de suportar a fadiga provocada por esforço repetitivo, por dobramento, distensão ou compressão. A fadiga pode produzir vários tipos de defeitos, sendo o mais comum o fendilhamento à flexão, que consiste na formação de fendas superficiais na peça. Este é o tipo mais comum de fendilhamento observável em pneumáticos, solas de calçados e correias.

Artefatos que contenham materiais têxteis poderão apresentar defeitos causados pelo dobramento sucessivo, fazendo com que a borracha se separe do tecido. Defeito comum em pneumáticos e correias.

### **Métodos de ensaio da resistência à flexão**

Existem 3 tipos de máquinas padrão para as provas de flexão: a máquina de flexão Scott, a máquina de Mattia e a da Du Pont. Segundo a ASTM D430, emprega-se a máquina Scott para comprovar a separação das camadas, nas peças compostas de tecido e borracha, enquanto que as máquinas de Mattia e Du Pont são utilizadas para provocar o fendilhamento superficial da borracha. A norma ASTM D813 descreve o emprego da máquina de Matia para estudar a expansão ou aumento de dimensões das fendas

### **Referência**

1. A Linguagem da Borracha – DuPont – 01/1963
2. ASTM D430
3. ASTM D813

### **6.2.6. Resistência ao rasgamento**

Define-se resistência ao rasgamento como a força por unidade de espessura, necessária para:

- 1) expandir um corte ou rasgo numa direção perpendicular à força aplicada, ou
- 2) para iniciar um rasgo em uma direção perpendicular à da força aplicada.

A norma ASTM D624 descreve um método padrão para determinação da resistência ao rasgamento, mediante o emprego de corpos de prova padrão, com rasgos e sem rasgos. A mesma norma ASTM D624 restringe a utilidade destas provas, ao afirmar: “como a resistência ao rasgamento é afetada em grande escala pela direção das fibras da borracha submetidas à prova, assim como pela distribuição do esforço, velocidade de estiramento e tamanho do corpo de prova, os resultados obtidos nesta prova somente poderão ser considerados como expressando uma medida da resistência às condições dessa prova, não tendo nenhuma relação imediata com as condições do serviço”. Portanto, estes métodos são úteis apenas para comparações de laboratório, não devendo ser aplicados a avaliações práticas.

### **Referência**

1. A Linguagem da Borracha – DuPont – 01/1963
2. ASTM D624

### **6.3. Propriedades elétricas**

As propriedades elétricas da borracha mais comumente utilizadas são as seguintes: resistência do isolamento, resistividade à corrente contínua, condutividade, rigidez dielétrica, constante dielétrica e fator de potência.

Além das propriedades elétricas, devem os elastômeros reunir outras características, em proporções adequadas à aplicação a que se destinam. A resistência à tensão, ao alongamento, às altas temperaturas e à água, são importantes em muitos casos. A preservação das propriedades elétricas em condições de exposição à água tem grande importância quando o elastômero é empregado em locais úmidos.

### **Resistência do isolamento**

A resistência do isolamento entre dois condutores que estão em contato com o elastômero ou nele embutidos, é representada pela relação entre a voltagem da corrente contínua aplicada aos eletrodos e a intensidade total de corrente entre eles. A corrente

poderá passar diretamente através do material, como no caso do isolamento de um fio, ou seguir o contorno de uma superfície ou capa, como nos terminais de ligação de borracha moldada.

O método ASTM D257, consiste na aplicação de corrente contínua de baixa voltagem (geralmente 500 volts) entre eletrodos e na medição da intensidade de corrente que circula entre eles através do artefato.

### **Resistividade à corrente contínua**

A resistividade à corrente contínua, ou resistividade volumétrica, é semelhante à resistência do isolamento, porque tanto uma quanto a outra indicam a intensidade da corrente que passa entre dois eletrodos. Este teste poderá ser utilizado para se determinar a conveniência de uma composição de elastômero para fins de isolamento. Os materiais com alta resistividade à corrente contínua poderão ser considerados como isolantes. Denomina-se resistividade, o valor da resistência entre eletrodos de um centímetro quadrado, situados nos lados opostos de um cubo hipotético de um centímetro de lado, fabricado com o material que se pretende comprovar, desde que seja possível desprezar o escoamento superficial. A resistividade à corrente contínua é expressa em ohms por centímetro. O método para o teste, também descrito na ASTM D257, consiste fundamentalmente na aplicação de corrente contínua a 500 volts em grandes eletrodos, colocados em lâminas finas do material a ser comprovado, e na medida da corrente circulante. Efetuam-se depois os cálculos necessários para a conversão ohms por centímetro, como índice da resistividade - valor da resistência obtida para essa amostra em lâminas finas. Tal conversão não oferece problemas, porque a resistência elétrica é diretamente proporcional à espessura e inversamente proporcional à área ou superfície. Como o aumento da temperatura e da umidade diminui os valores de resistividade, todos os testes elétricos são efetuados em ambientes de temperatura e umidade controladas.

### **Condutividade**

Os elastômeros são considerados condutores se sua resistividade à corrente contínua for inferior a  $10^5$  ohms por centímetro. A condutividade é o oposto da resistividade, sendo expressa em mhos. Esta unidade, porém, é pouco usada na indústria da borracha; todos os materiais condutores são descritos de acordo com sua resistividade à corrente contínua. A norma ASTM D991, descreve em linhas gerais um método para a medição da resistividade volumétrica dos elastômeros condutores de eletricidade.

### **Rigidez dielétrica**

Denomina-se rigidez dielétrica de um elastômero, à voltagem necessária para perfurar uma amostra de espessura conhecida. A rigidez dielétrica é sempre expressa em volts por milímetro ou em volts por milésimo de polegada.

O regime de aplicação da voltagem e a forma geométrica dos eletrodos e da amostra, exercem grande influência sobre os resultados do teste. A norma ASTM D149, descreve o teste standard.

### **Constante dielétrica e fator de potência**

A constante dielétrica ou capacidade indutiva específica, é uma medida da capacidade do isolamento para armazenar energia elétrica. Ela é sempre uma relação entre a capacidade elétrica de um condensador em que se utiliza como dielétrico o material a



ser comprovado, e a capacidade de um condensador semelhante em que o dielétrico é o próprio ar. Um dos fatores que podem influenciar a constante dielétrica é a frequência da corrente. Por esse motivo, as provas são geralmente efetuadas entre os limites de 25 ciclos e vários megaciclos por segundo.

O fator de potência de um material isolante indica sua tendência em gerar calor quando em serviço. Carregando com corrente contínua um condensador que utilize um elastômero como dielétrico, após ele ser descarregado, haverá uma perda de energia sob a forma de calor. Se esse condensador for sucessivamente carregado e descarregado por uma corrente alternada, as perdas elétricas resultantes provocarão o aquecimento do dielétrico. A relação entre essas perdas e a energia necessária para carregar o condensador, indica o fator de potência, comumente expresso sob a forma de um decimal ou percentagem da energia de carga.

A perda de energia é diretamente proporcional à frequência. A 60 ciclos, ela é geralmente bastante pequena para poder ser desprezada, mas em frequências mais altas, utilizadas nas comunicações, a perda é tão grande que só permite o emprego de materiais com fator de potência muito baixo. O método empregado para medir o fator de potência é o ASTM D150.

#### **Referência**

1. A Linguagem da Borracha – DuPont – 01/1963
2. ASTM D257
3. ASTM D991
4. ASTM D149
5. ASTM D150

#### **6.4. Propriedades térmicas**

A borracha possui três importantes propriedades térmicas. Duas delas, a *condutividade térmica* e o *coeficiente de expansão*, têm na linguagem da borracha as mesmas definições que na metalurgia. Por isso, a ASTM não adotou métodos especiais para a prova dessas propriedades na borracha. O *efeito Joule*, porém, é uma propriedade peculiar da borracha, para o qual existe um método padronizado para sua medição.

#### **Condutividade térmica**

A condutividade térmica é variável para cada composição de borracha, dependendo das proporções e da condutividade de cada elemento da composição. A condutividade é importante para os técnicos, porque afeta o tempo exigido para aquecer o interior de um artefato de borracha até a temperatura de vulcanização.

A condutividade também é importante para o projeto de artefatos que geram calor devido à vibração, flexão ou atrito (suportes, correias de transmissão, vedações, etc.) Como a borracha é má condutora, devemos adotar medidas necessárias para assegurar a dissipação térmica.

#### **Coefficiente de expansão**

O coeficiente de expansão é também variável com as composições, dependendo da qualidade e quantidade de cargas de enchimento incorporadas na composição. A adição de cargas de enchimento diminui este coeficiente. Diz-se frequentemente que a borracha possui um coeficiente linear dez vezes maior que o aço carbono. Contudo, esses valores

poderão ser duas vezes maiores para os materiais de goma, ou cerca de metade para as composições de borracha dura. Com uma amplitude tão grande, nas moldagens de precisão, é necessário medir primeiro o coeficiente de expansão a utilizar, baseando as dimensões do molde nos valores medidos.

O alto coeficiente de expansão da borracha provoca a contração dos artefatos durante o seu esfriamento, desde a temperatura que foram vulcanizados no molde até à temperatura ambiente. Esta contração também chamada “retração do molde”, torna difícil e dispendiosa a moldagem da borracha dentro de limites de tolerância muito apertados.

Considere-se, por exemplo, uma arruela de 25,4 mm de diâmetro exterior ( $\pm 0,15$  mm), com uma coroa circular de 3,175 mm ( $\pm 0,10$  mm). Tal artefato poderá ser considerado como moldagem de precisão. Todavia, os limites de tolerância indicados não são rígidos demais, visto que o moldador pode consegui-los adotando uma técnica adequada.

Entretanto, se qualquer dessas tolerâncias fosse reduzida à metade (para  $\pm 0,07$  mm no diâmetro exterior, ou  $\pm 0,05$  mm na coroa), o moldador ficaria em uma situação “impossível”, pois não teria maneira de manter o artefato dentro de limites de tolerância tão apertados. Nenhum processo de produção do molde e nenhum grau de perícia técnica poderiam assegurar tal precisão, com uma porcentagem de rejeição aceitável. O único recurso desse moldador seria fazer um grande número de arruelas, confiando em que o cálculo das probabilidades lhe desse algumas aceitáveis. Teria, porém, que aumentar consideravelmente o preço de venda do artigo.

As tolerâncias utilizadas no exemplo acima não podem ser aplicadas a outros artefatos de borracha. A linha divisória entre tolerâncias razoáveis e tolerâncias impossíveis, depende, em proporções consideráveis, das dimensões e da configuração das peças a serem moldadas.

### **Efeito Joule**

Quando se aquece com um fósforo uma tira de borracha submetida ao estiramento com um peso na sua extremidade, a maioria das pessoas espera que ela se alongue um pouco, devido à expansão térmica. Mas ela não se alonga; contrai-se e levanta o peso. Esta é a demonstração do efeito Joule, um fenômeno de grande importância prática, desconhecido de muitos projetistas de máquinas. Ele significa, em termos gerais, que: a borracha estirada e submetida ao aquecimento, tem tendência a contrair-se. O seu módulo de elasticidade, rigidez ou capacidade para suportar cargas, aumenta na razão direta do aumento de temperatura. A borracha que estiver sob carga constante, contrai-se; a que estiver sob tensão constante, exerce tensão ainda maior.

Outro efeito relacionado com este: a borracha libera calor quando estirada rapidamente, e absorve calor quando se permite sua rápida retração. Um elástico comum preso entre os lábios, produzirá sensação de calor se estirado bruscamente, e sensação de frio se afrouxado rapidamente.

### **Referência**

1. A Linguagem da Borracha – DuPont – 01/1963

## 6.5. Deterioração pelo Calor

A resistência térmica de um elastômero é geralmente definida como sua capacidade para resistir a alterações *permanentes* em suas propriedades, em consequência da exposição prolongada às altas temperaturas. A natureza dessas alterações e a rapidez com que ocorrem dependem do tipo de elastômero, da composição e das condições da prova.

O método normal de prova da resistência térmica é o descrito na norma ASTM D454. Nesse ensaio, conhecido como prova térmica sob pressão, as propriedades de tração são medidas antes e depois da exposição ao ar a 127°C e a 5,6 kg/cm<sup>2</sup>. A duração da prova é variável, entre 3 e 30 horas.

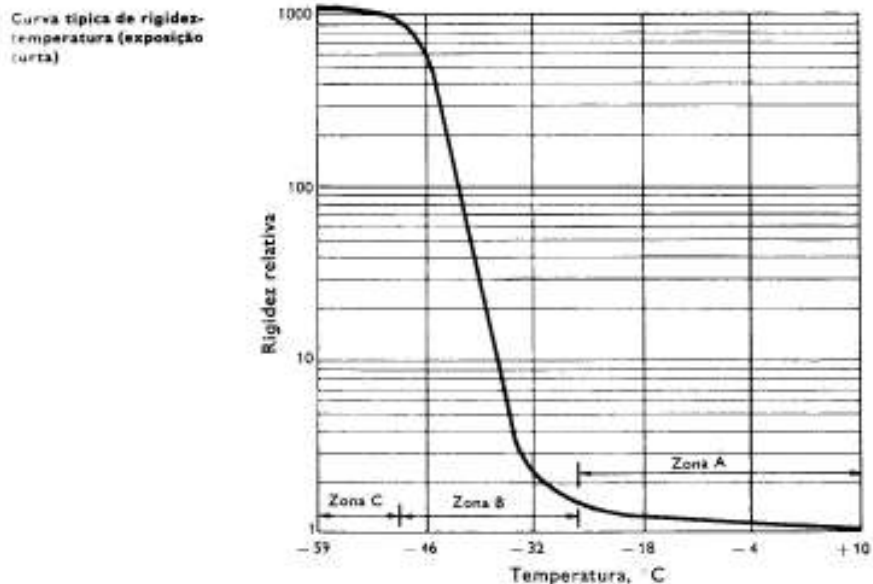
Quando a composição se destina ao serviço à determinada temperatura, os corpos de prova são frequentemente ensaiados mediante exposição a essa temperatura em estufa de ar (ASTM D573) ou em tubos de ensaio (ASTM D865).

## Referência

1. A Linguagem da Borracha – DuPont – 01/1963
2. ASTM D454
3. ASTM D573
4. ASTM D865

## 6.6. Propriedades em temperaturas baixas

Todos os elastômeros sofrem tipos diferentes de alterações quando submetidos a baixas temperaturas. Algumas dessas alterações ocorrem imediatamente; outras, apenas depois de exposição prolongada. Todas estas alterações são reversíveis, isto é, o elastômero recupera suas propriedades originais depois que retorna à temperatura ambiente.



**RIGIDEZ SIMPLES:** O gráfico mostra como uma composição típica de um elastômero é afetada pela exposição a temperaturas sucessivamente mais baixas. À medida que o corpo de prova é esfriado através da zona A, ele torna-se cada vez mais difícil de esticar ou dobrar. Esse enrijecimento é gradual, até ser atingida uma determinada temperatura abaixo de zero.

**TRANSIÇÃO DE SEGUNDA ORDEM:** Quando a temperatura continua a diminuir até à zona B, a rigidez aumenta de maneira acentuada. Nesta zona, uma queda de temperatura de apenas 11°C pode centuplicar a rigidez. A zona B começa geralmente em temperaturas entre -29°C e -40°C. Após esta transição secundária brusca, novas reduções na temperatura (zona C) produzem pouco ou nenhum efeito.

A uma determinada temperatura na zona B ou na zona C, o corpo de prova torna-se quebradiço, estilhaçando-se se for dobrado bruscamente ou submetido a choques. A temperatura em que ocorre este fenômeno depende do regime de aplicação da carga. Quando determinada em condições especiais de ensaio, esta temperatura recebe o nome de *ponto de friabilidade* da composição. Todavia, este ponto de friabilidade não mantém nenhuma relação com a curva de rigidez. Assim, por exemplo, as medidas de rigidez podem indicar um alto grau de flexibilidade a uma determinada temperatura, enquanto que os testes podem revelar que a composição se torna quebradiça a esta mesma temperatura ou a uma temperatura mais alta. Esta ausência de relação entre a rigidez e a fragilidade não é muito surpreendente, porque as medidas de rigidez incluem a aplicação de cargas com velocidades e deflexões baixas, enquanto que as provas de fragilidade são baseadas em cargas de choque, com velocidades e deflexões altas.

**CRISTALIZAÇÃO:** Entre os principais elastômeros, a borracha natural, a borracha butílica e a maioria dos tipos de policloropreno são cristalizáveis. A cristalização produz enrijecimento que se torna aparente apenas depois de exposição prolongada. Esse enrijecimento pode exigir horas, dias ou mesmo semanas, dependendo da temperatura de exposição e tipo de composição. Contudo, embora produza aumento de rigidez, a cristalização não provoca necessariamente a fragilidade. Além disso, a ocorrência de cristalização parece também não afetar o ponto de cristalização da composição. A velocidade de cristalização aumenta quando o elastômero é submetido à deformação.

Devido sua energia térmica, as moléculas dos elastômeros estão em movimento constante, apresentando por vezes, entre si, relações semelhantes às dos cristais. À temperatura ambiente, a energia térmica das moléculas é bastante forte para superar as forças que tendem a manter essa relação de cristais, evitando que se produza a cristalização. Em temperaturas muito baixas, o movimento molecular é leve, sendo nula a probabilidade de que venha a adquirir a configuração adequada; também por isso não há cristalização. Mas, em algumas temperaturas moderadamente baixas, as moléculas têm energia térmica suficiente para adotarem a estrutura cristalina, sem que essa energia seja bastante forte para desfazer posteriormente tal estrutura; devido a isso, as estruturas cristalinas aumentam em número e dimensão, fazendo com que o artefato de borracha se torne sucessivamente mais rígido com o transcorrer do tempo.

**EFEITOS PLASTIFICANTE-TEMPO.** Quase todas as composições planejadas para o serviço em temperaturas baixas, contêm quantidades apreciáveis de plastificantes especiais, destinados a melhorar a flexibilidade em baixas temperaturas e a abaixar o ponto de friabilidade da composição. Em condições de temperatura normais estes plastificantes são solúveis no elastômero. Contudo, após exposição prolongada em temperaturas baixas, a compatibilidade do plastificante é reduzida, sendo uma parte do mesmo expulsa da solução. Essa parte deixa, portanto, de ser eficaz. Por conseguinte, a borracha é mais rígida a temperaturas superiores à do ponto de friabilidade, podendo o ponto de friabilidade ser elevado em diversos graus. Via de regra, os efeitos plastificante-tempo são aparentes apenas após a exposição prolongada a temperaturas

extremamente baixas, da ordem de  $-40^{\circ}\text{C}$ , sendo observados somente se forem empregadas grandes quantidades de alguns plastificantes.

### **Métodos de ensaio**

O teste de friabilidade (ASTM D746) é relativamente simples. Uma extremidade do corpo de prova é fixada num suporte, de maneira que o corpo de prova atue como uma viga em balanço. Após condicionamento de alguns minutos à temperatura ambiente, o corpo de prova é golpeado por um braço acionado a motor ou por solenóide que se desloca a velocidade de 1,8 a 2,1 metros por segundo. Submetem-se ao mesmo teste novos corpos de prova do mesmo material, a temperaturas sucessivamente mais baixas, até ser atingida uma temperatura na qual o corpo de prova se quebre em dois ou mais fragmentos. Essa temperatura é que se denomina temperatura de friabilidade, ou mais comumente, ponto de friabilidade.

Entre as diversas provas de rigidez, a mais empregada, devido à sua simplicidade, é aquela em que se utiliza a dureza ao durômetro como medida da rigidez (ASTM D676). Ao determinar as alterações simples de rigidez ou as transições de segunda ordem, as amostras são condicionadas durante períodos curtos a temperaturas sucessivamente mais baixas, sendo a dureza ao durômetro registrada em função da temperatura. Para determinar as alterações provocadas pelos efeitos plastificante-tempo ou pela cristalização, condiciona-se o corpo de prova a temperatura constante, traçando-se a curva de dureza em função do tempo.

Esta prova tem os inconvenientes inerentes a todas as medidas de dureza obtidas com o durômetro. Os seus resultados são indicados em unidades de dureza puramente arbitrárias. Além disso, as amostras testadas em temperaturas baixas apresentam desvios freqüentes, sendo as leituras momentâneas seguidas de reduções na dureza. O regime e a magnitude dessas reduções são bastante variáveis de uma composição para outra.

A prova de rigidez em que se utiliza uma amostra em forma de viga simples (ASTM D797) é também bastante usada. Neste teste, o corpo de prova, apoiado em cada extremidade por um suporte, é solicitado por uma carga que incide sobre o seu centro. A medida da deflexão da viga sob a ação dessa carga permite calcular o módulo de Young em flexão. Tal como nas outras provas de rigidez, este teste possibilita a medida das alterações produzidas pelos efeitos simples da temperatura, pelas transições secundárias, pela cristalização e pelos efeitos plastificante-tempo.

O aparelho de torção mede o grau de torção de um corpo de prova submetido a um esforço conhecido, aplicado mediante um arame de torção. As medidas da torção em temperatura ambiente e em temperaturas baixas permitem obter os índices da rigidez relativa.

Este método de torção é útil porque, tal como o da viga simples, proporciona dados em forma suscetível de interpretação rápida. A vantagem deste método sobre o da viga simples está em que as deflexões utilizadas aproximam-se mais das correspondentes ao serviço real.

### **Referência**

1. A Linguagem da Borracha – DuPont – 01/1963
2. ASTM D746

3. ASTM D676
4. ASTM D797
5. ASTM D1053

### **6.7. Imersão em produtos químicos**

A definição mais simples de resistência química é a que explica esta resistência como a capacidade de um material para desempenhar de maneira satisfatória a sua função em um ambiente químico determinado. Sob este ponto de vista os materiais podem falhar de duas maneiras:

- 1) degenerando até ao ponto de não poderem mais executar sua função, e
- 2) contaminando o meio químico sem que eles próprios sejam seriamente afetados.

A norma ASTM D471 descreve os métodos de exposição dos corpos de prova à influência de líquidos em condições definidas de tempo e temperatura, a fim de se medir a deterioração sofrida. Esta deterioração é medida pela comparação das propriedades físicas, antes e depois da imersão no líquido de prova. As propriedades medidas são o peso, volume, resistência à tração, alongamento final e dureza ao durômetro, mas a inspeção visual e manual também pode ser incluída.

A temperatura de prova é selecionada entre as de uma lista padronizada, de maneira a aproximar-se da correspondente ao serviço real. O período de imersão é igualmente selecionado na base das condições previstas para o serviço, sendo recomendados períodos variáveis de 22 horas a 30 dias. Todos os testes de imersão são efetuados ao abrigo da luz direta.

Se o líquido empregado no serviço real não tiver composição constante, é conveniente substituí-lo por um líquido de prova que inclua todas as propriedades encontradas neste serviço. Recomenda-se para este fim os óleos e combustíveis de referência ASTM Standard. O óleo ASTM N° 1 produz pequeno inchamento; o IRM 902 produz inchamento médio e o IRM 903 produz grande inchamento. O combustível de referência A consiste em isooctana a 100%, comparável a gasolina íntegra; o combustível de referência B consiste em 70% de isooctana e 30% de tolueno por volume, sendo comparável ao combustível de aviação.

Outros fluidos de imersão incluem a água, os líquidos refrigerantes para automóveis, ácidos, bases, etc.

### **Referência**

1. A Linguagem da Borracha – DuPont – 01/1963
2. ASTM D471

### **6.8. Resistência ao ozônio**

O ataque do ozônio manifesta-se geralmente sob a forma de algumas fendas profundas ou, pela formação de milhares de pequenas fendas. Em qualquer hipótese, as fendas são sempre perpendiculares ao eixo do esforço a que é submetida a borracha, podendo causar a ruptura da amostra se o esforço for muito grande.

O ataque do ozônio é um fenômeno comum, visto que os artefatos de borracha estão submetidos a esforços quando em serviço, e o ozônio acha-se sempre presente na

atmosfera. Sua concentração pode variar entre 1 a 5 partes por cem milhões nas zonas rurais, e 50 partes por cem milhões, nas regiões mais industrializadas.

O EFEITO CORONA, ou simplesmente corona, é uma descarga elétrica que se manifesta na atmosfera, sob a forma de eflúvios, em volta dos cabos de alta tensão. O corona faz gerar ozônio que, por sua vez, causa o fendilhamento dos artefatos de borracha submetidos a tensões ou esforços mecânicos. A formação do ozônio pode ocorrer tanto no ar confinado no cabo, quanto na atmosfera ao seu redor.

A norma ASTM D1149 descreve um dos métodos de determinação da resistência ao ozônio das composições de borracha vulcanizada. Neste teste, algumas tiras finas de borracha, de forma retangular, são distendidas entre dois grampos, com um alongamento de 20%. Após o seu condicionamento durante 24 horas, as tiras assim distendidas são colocadas em uma câmara onde circula o ar a uma temperatura determinada (geralmente entre 32 e 49°C). O ar, com uma concentração de ozônio de  $25 \pm 5$  partes pro cem milhões, incide transversalmente sobre as tiras de borracha, as quais são observadas com frequência, a fim de investigar o aparecimento das fendas.

Em alguns casos empregam-se outras concentrações de ozônio, assim como corpos de prova não padronizados (tais como seções de produtos manufaturados) e outros métodos de montagem dos corpos de prova.

O resultado do teste é indicado pelo tempo gasto até o aparecimento das primeiras fendas.

A norma ASTM D470 descreve outra prova muito mais rigorosa, criada expressamente para medir a resistência ao ozônio dos revestimentos isolantes para fios e cabos. Essa prova exige que a amostra mantenha o isolamento intacto após ter sido enrolada em volta de um mandril e exposta ao ozônio durante três horas. A concentração do ozônio, geralmente entre 100 e 150 partes por milhão, é indicada nas especificações do produto.

### **Referência**

1. A Linguagem da Borracha – DuPont – 01/1963
2. ASTM D1149
3. ASTM D470

### **6.9. Permeabilidade**

Chama-se permeabilidade de uma película de borracha, a medida da facilidade com que ela pode ser atravessada por um líquido ou gás. A permeação parece consistir na presença de uma solução de um dos lados do elastômero, seguida da sua difusão através da película, até o lado oposto, no qual ocorre a evaporação. Conclui-se, portanto, que a permeabilidade é uma função da solubilidade e da difusibilidade.

Existem métodos padronizados para medir a permeabilidade das películas de elastômeros aos líquidos voláteis (ASTM D814) e, também, a permeabilidade ao hidrogênio gasoso dos tecidos revestidos com elastômeros (ASTM D815). Essencialmente, o teste para os líquidos limita-se ao vazamento do líquido em um recipiente de vidro, à vedação perfeita deste com a película a ser testada, e à inversão do recipiente, medindo-se depois, em intervalos determinados, a perda de peso do líquido. A superfície da película exposta ao líquido, assim como a temperatura são controladas,

assegurando-se igualmente a livre circulação do ar ao longo da parte lateral da película que não está exposta ao líquido utilizado no teste. A permeabilidade é então representada pela perda de peso por 24 horas por metro quadrado do corpo de prova. É indispensável mencionar a espessura do corpo de prova e identificar a composição do elastômero e o líquido utilizado no teste, visto que a permeabilidade é uma função destas variáveis.

A medida da permeabilidade das películas de elastômeros aos gases exige técnicas mais complexas. O método descrito na norma ASTM D815 aplica-se especificamente ao hidrogênio e aos tecidos revestidos, mas é típico dos métodos adotados para os demais gases. Neste teste, submete-se um dos lados de um corpo de prova de 12,7 cm de diâmetro, constituído pelo tecido revestido com o elastômero, ao hidrogênio à pressão de 3 cm de coluna de água acima da pressão atmosférica, sob temperatura controlada. O hidrogênio que atravessa o corpo de prova entra em uma câmara de análise, integrada em um dispositivo tipo Ponte de Wheatstone. O desequilíbrio provocado pelo hidrogênio é medido por um galvanômetro calibrado de maneira a possibilitar a leitura direta da permeabilidade. Tal como no caso dos líquidos, a temperatura do teste, a espessura do revestimento e a descrição exata da composição devem ser anotadas conjuntamente com a permeabilidade. Outros métodos para medir o volume de gás que atravessa a película ou o tecido revestido, incluem a medida ótica da refratividade com um interferômetro de gás e a medida do volume de gás recolhido após um período de tempo determinado. Neste último caso, porém, é necessário tomar o máximo cuidado a fim de se evitarem as fugas.

### **Referência**

1. A Linguagem da Borracha – DuPont – 01/1963
2. ASTM D814
3. ASTM D815