

# Relaxamento da Tensão

Métodos de testes, Instrumentos e estimativa de vida útil

## Introdução:

Testes de relaxamento de tensão estão se tornando mais e mais populares para a determinação das propriedades da borracha. No início, estes testes eram usados principalmente em projetos científicos de universidades, mas nos anos recentes seu uso tem aumentado; isto pode estar acontecendo em virtude da introdução destes testes em produtos padrão, tais como anéis de vedação para tubos (1). A indústria automotiva também tem começado a especificar os testes de relaxamento de tensão nos carros, para produtos de vedação críticos.

Este trabalho descreverá os métodos de testes, os instrumentos, os resultados e como usar os dados dos testes para estimativas de vida útil.

## Definições:

Quando uma força constante é aplicada a uma amostra de borracha, a força necessária para manter esta força não é constante, mas aumenta com o tempo; este comportamento é chamado "relaxamento da tensão". Contrariamente, quando uma amostra de borracha é sujeita à tensão constante, a deformação aumenta com o tempo; este comportamento é chamado "escoamento". O processo que causa o relaxamento da tensão pode ter natureza física ou química, e, sob todas condições normais, ambos os tipos de processos ocorrerão simultaneamente. No entanto, à temperatura normal ou baixa temperatura e/ou tempos curtos, o relaxamento da tensão é dominado pelos processos físicos, enquanto a altas temperaturas e/ou tempos longos, predominam os processos químicos.

## Métodos de Testes Padronizados:

Há mais de 15 anos atrás, a ISO TC 45 começou a padronizar os métodos para testes de relaxamento de tensão. Como resultado, foi publicada a ISO 3384 (2). Mais tarde foi publicada a ISO 6056, concernente a peças de testes na forma de anéis, imersas em líquido. Outro padrão, a ISO 6914 (3), que não tinha o termo relaxamento no título, descrevia o teste de relaxamento em tensão.

Alguns anos atrás, a ISO 3384 e a ISO 6056 foram combinadas em uma só, deixando apenas a ISO 3384, que tratava de testes em líquidos e em ar. Agora, revisada pela terceira vez, ela tem o objetivo de melhorar a precisão durante a realização dos testes de relaxamento. O presente padrão ISO 3384, 1999, inclui os métodos A e B que podem ser usados em ar ou líquidos. As peças de testes são Discos cilíndricos de diâmetro 13 mm, altura 6,3 mm ou um anel com seção transversal 2x2mm e DI 15 mm.

No método A: a compressão é aplicada e todas as medidas de força contrária são feitas na temperatura de teste.

No método B: a compressão é aplicada e toda a medição das forças contrárias é feita na temperatura padrão do laboratório (23°C). As peças de teste são armazenadas à temperatura de teste.

A ISO 6914 descreve os testes de relaxamento da tensão sob tensão. Isto pode ser feito por dois métodos: com amostras alongadas continuamente ou com amostras alongadas intermitentemente. A peça de teste é uma tira de 1mm de espessura, alongada 50%.

## O que acontece no material de borracha testado:

Em um material de borracha, testado durante um determinado tempo, acontecem os seguintes processos:

**1º. Relaxamento Físico:** é devido à mudança de posição das cadeias moleculares e das cargas, quando sujeitas à deformação. A maior parte do relaxamento físico acontece durante os primeiros momentos após a deformação.

**2º. Degradação térmica:** devido aos crescentes movimentos das cadeias moleculares à medida que a temperatura aumenta, há cisão da cadeia.

**3º. Degradação oxidativa:** causa cisão da cadeia devido à oxidação.

Todos os processos acima causam uma redução da força contrária durante a realização dos testes de relaxamento.

**4º. Reticulação:** a reticulação pode continuar num material de borracha, dependendo do sistema de vulcanização e do estado de vulcanização. Existe sempre algum resíduo do agente de vulcanização e, no caso de vulcanizações com enxofre, a reticulação do polissulfeto pode quebrar e formar novas reticulações no material testado.

Quando são realizados testes de relaxamento de tensão contínuos, novas reticulações formadas não são consideradas como a causa de qualquer tensão. No entanto, a reticulação mostrará que o relaxamento de tensão intermitente medirá a mudança na dureza do material. A reticulação também mostrará claramente, durante os testes de Deformação Permanente, como as novas reticulações formadas no estado deformado impedirão que a borracha retorne a sua condição inicial.

## Instrumentos para Testes de Relaxamento de Tensão:

No mercado há principalmente dois tipos de instrumentos de testes de relaxamento de tensão.

## Medição Contínua:

Um tipo de medição de relaxamento é feita com medições contínuas, com um equipamento pequeno com uma célula de carga. Quando o teste é realizado à alta temperatura, o equipamento é colocado em uma estufa e, quando o teste é feito à temperatura ambiente, o equipamento é colocado em uma caixa à temperatura ambiente, uma vez que a estabilidade da temperatura é de grande importância para o teste. Os equipamentos são conectados a um computador que armazena os dados de força e temperatura (ver figuras 1,2 e 3).

## Medição Descontínua:

O outro tipo de instrumento de relaxamento é os dispositivos de teste, como o de Deformação Permanente. A força contrária é medida em um testador de tensão ou um relaxômetro especial (fig.4), antes de colocar os dispositivos à temperatura de teste. Os dispositivos são tirados da temperatura de teste em intervalos e é medida a força contrária. Para

medir a força contrária neste tipo de dispositivos é necessário um leve aumento na compressão.

## Precisão:

No começo da década de 90, um Programa de Teste Interlaborial, PTI, foi feito dentro do padrão ISO TC 45, para testes de relaxamento de tensão de acordo com a ISO 3384. A intenção era disponibilizar uma cláusula de precisão no padrão. O resultado deste PTI foi muito desalentador e mostrou grande variação entre os laboratórios participantes. Como resultado, algum trabalho foi realizado na Suécia, na Universidade de Boras, onde foram investigados diferentes fatores que influenciaram os testes. A investigação mostrou que os dois fatores mais importantes eram a manutenção da temperatura e da compressão durante o teste.

A importância de manter constante a temperatura, dentro de + 0,25°C durante o teste, pode ser explicada pelas diferentes expansões térmicas da borracha e do aço. A amostra de

borracha é colocada em um equipamento de aço e a borracha expande cerca de vinte vezes mais do que o aço, à medida que a temperatura aumenta; é de vital importância manter a temperatura constante durante o teste.

Durante 1988, a ISO repetiu o PTI com a nova informação incluída no padrão revisado. Agora os resultados são muito melhores (mas não bons) - ver tabela 1. Uma conclusão geral, feita quando se analisam os resultados do teste, foi que os instrumentos comerciais mostraram muito melhor reprodutibilidade do que os instrumentos caseiros.

## Precisão com tipo contínuo de instrumento:

As figuras 5 e 6 mostram a repetibilidade dos instrumentos de relaxamento. A figura 5 é um gráfico feito a partir de dois testes do mesmo composto realizados a diferentes períodos de teste. A figura 6 é um gráfico feito a partir de duas amostras do mesmo composto, no mesmo período de teste em diferentes



FIGURA 5



FIGURA 6

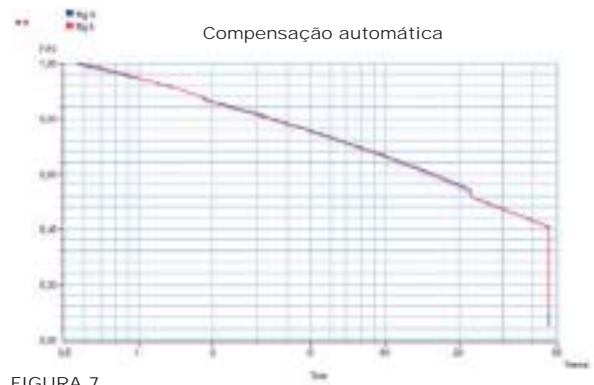


FIGURA 7



FIGURA 8

equipamentos. As figuras 7 e 8 mostram como correlacionar o efeito elástico na célula de carga, quando se realizam testes muito precisos. O efeito elástico é causado pela expansão da célula de carga quando a força decresce com o tempo. A figura 7 mostra uma correção manual feita duas vezes durante o teste, por ajuste manual da compressão. A figura 8 mostra uma correção feita por cálculo matemático em computador. A correção pode não ser necessária quando são feitos testes comparativos.

Estimativa da vida útil através dos testes de relaxamento: Testes de relaxamento de tensão são ideais para estimativas da vida útil, usando-se um gráfico de Arrhenius. O modo de fazer uma estimativa da vida útil de materiais de borracha usando um gráfico de Arrhenius, é descrito no recentemente publicado padrão ISO 11346 (5). Durante a confecção do gráfico de Arrhenius, são feitos testes de uma propriedade crítica em diferentes tempos, pelo menos em três temperaturas de teste. Os testes são normalmente realizados até que as propriedades sejam reduzidas a 50% do valor original (ver fig. 9). O tempo para alcançar este nível é determinado por cada temperatura. As temperaturas de teste são escolhidas de tal forma que o tempo de teste para a mais alta temperatura seja pelo menos uma semana e o tempo para a mais baixa temperatura, pelo menos 9 meses.

Os tempos para alcançar o tempo de "vida final" para cada temperatura, são colocados no gráfico de Arrhenius, que é um diagrama com a linha do tempo no eixo Y e 1/T no eixo X, sendo T a temperatura em Kelvin (ver fig. 10). Uma linha reta é desenhada através dos pontos e extrapolada para a temperatura de uso, para obter uma estimativa da vida útil do material testado.

Teste dos produtos: Para a determinação da vida útil para um produto com paredes finas e exposto ao ar, o melhor teste é o de relaxamento de tensão sob tensão, com uma tira fina estendida 50%. Este teste é muito sensível para a detecção de quebra de cadeias moleculares, quando acontece um decréscimo na força. Para produtos espessos e selantes de diferentes tipos, é mais aceitável relaxamento de tensão em compressão. Os padrões normalmente prescrevem que os testes de relaxamento sejam feitos em peças de teste cilíndricas. Testes de relaxamento, no entanto, também são fáceis de serem feitos em produtos ou peças de produtos, como O-rings, anéis de vedação para tubos, mangueiras, guarnições, etc. A figura 11 mostra um teste realizado sobre um tubo interno de mangueiras hidráulicas, feitas de três compostos diferentes. As peças de teste eram peças do tubo interno, de comprimento 40 mm, comprimidas 75% e o teste foi feito em óleo ASTM nº 1.

Os testes de relaxamento de tensão foram muito aceitáveis para a realização dos testes de envelhecimento, já que eles dão muitas informações, ocupando muito pouco tempo do operador, especialmente quando se usa sistema de medição contínuo, quando se compara com a realização de, por exemplo, testes de tensão em diferentes tempos.

RESULTADOS DE TESTES DE DIFERENTES MATERIAIS

As figuras 12 a 15 mostram resultados de destes em tensão e as figuras 16 e 17 mostram resultados de teste em compressão.



FIGURA 9 - Relaxamento da tensão em retentores

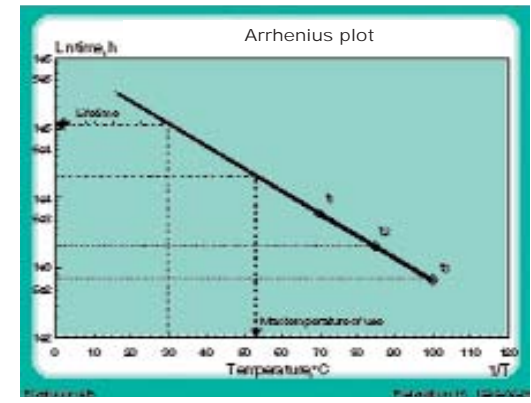


FIGURA 10 - Curva de Arrhenius

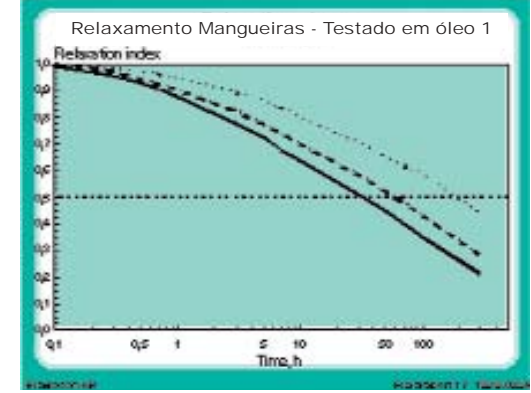


FIGURA 11 - Testes de relaxamento da tensão em mangueiras hidráulicas

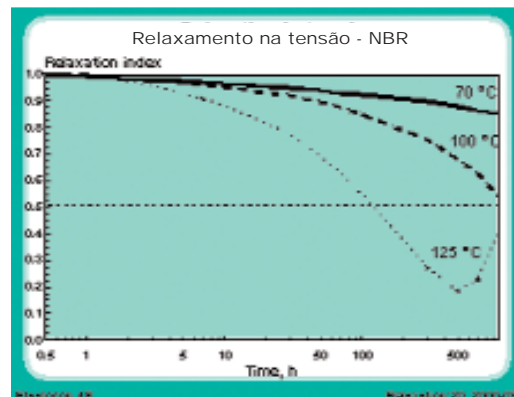


FIGURA 12

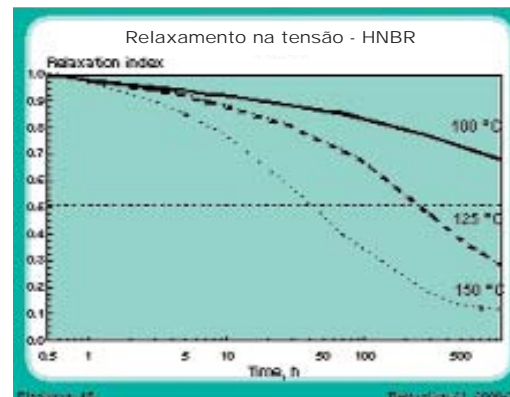


FIGURA 13

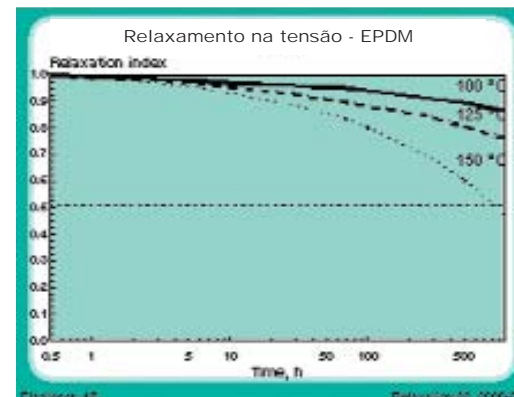


FIGURA 14

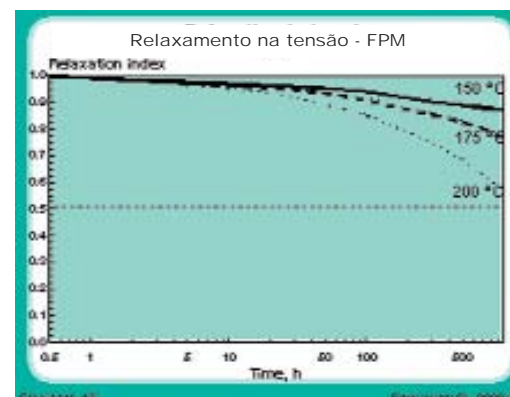


FIGURA 15

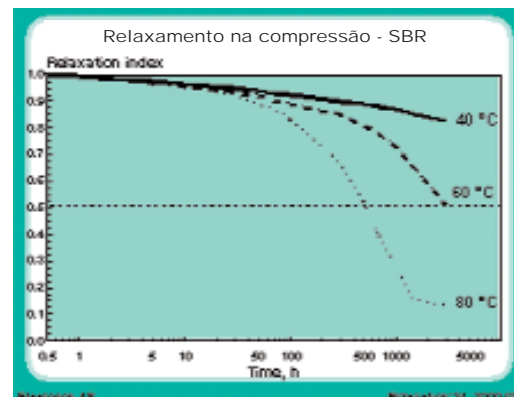


FIGURA 16

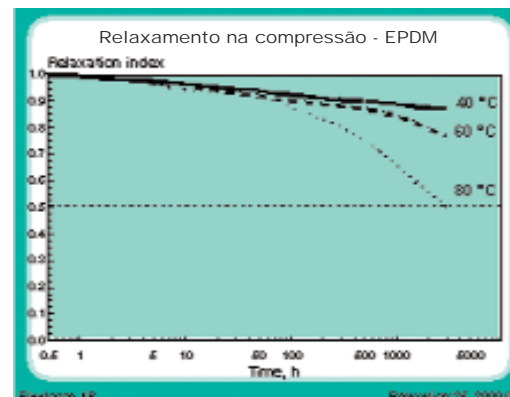


FIGURA 17



FIGURA 1



FIGURA 2



FIGURA 4



FIGURA 3

**Referências:**

1. EN681-1:1996 Selos elastoméricos - Requisitos materiais para juntas de tubos utilizados em água e aplicações de drenagem - Parte 1: Borracha vulcanizada
2. ISO 3384:1999 Borracha, vulcanizada e termoplástica - Determinação do relaxamento da tensão na compressão em temperaturas ambiente e elevada (revisão da ISO 3384:1991)
3. ISO 6914:1985 Borracha vulcanizada - Determinação das características de envelhecimento pela medição da tensão em um dado alongamento.
4. Relaxamento da tensão em borracha sob compressão, Peter Henricsson, Daniel Marcus, Boras Univeristy College, Instituição para tecnologia.
5. ISO 11346:1997 Borracha, vulcanizada e termoplástica - Estimativa da vida útil e temperatura máxima pelo uso da curva de Arrhenius.

Relatório Técnico 98/1, 3a edição, Outubro de 2000  
Matéria elaborada por: Goran Spetz - Elastocom AB Suécia