

# Ensaio de fluência

## Introdução

Nas aulas anteriores de ensaios de materiais, estudamos que todo corpo submetido a um esforço mecânico sofre uma deformação elástica, em maior ou menor grau, antes de apresentar deformação plástica ou de se romper.

Ou seja, verificamos que há sempre uma quantidade de esforço que não produz deformação permanente. Se o esforço é aliviado neste estágio, as dimensões da peça voltam ao original.

Será que isso significa que um produto construído para suportar um esforço estático **abaixo de seu limite elástico** vai durar para sempre?

A resposta é **não!** E você vai ficar sabendo por que ao estudar o ensaio apresentado nesta aula, o **ensaio de fluência**.

Neste ensaio, dois novos fatores entram em jogo: o **tempo** e a **temperatura**. Estudando os assuntos desta aula, você vai ficar sabendo como o tempo e a temperatura afetam a durabilidade de um produto, quais os tipos de ensaios de fluência e como são feitos. No final, poderá tirar suas próprias conclusões a respeito da importância deste tipo de ensaio.

## Nossa aula

### O que é a fluência

A fluência é a deformação plástica que ocorre num material, sob tensão constante ou quase constante, em função do tempo. A temperatura tem um papel importantíssimo nesse fenômeno.

A fluência ocorre devido à movimentação de falhas, que sempre existem na estrutura cristalina dos metais. Não haveria fluência se estas falhas não existissem.

Existem metais que exibem o fenômeno de fluência mesmo à temperatura ambiente, enquanto outros resistem a essa deformação mesmo a temperaturas elevadas.

As exigências de uso têm levado ao desenvolvimento de novas ligas que resistam melhor a esse tipo de deformação. A necessidade de testar esses novos materiais, expostos a altas temperaturas ao longo do tempo, define a importância deste ensaio.

Os ensaios que analisamos anteriormente neste livro são feitos num curto espaço de tempo, isto é, os corpos de prova ou peças são submetidos a um determinado esforço por alguns segundos ou, no máximo, minutos.

Porém, nas condições reais de uso, os produtos sofrem solicitações diversas por longos períodos de tempo. O uso mostra que, em algumas situações, os produtos apresentam deformação permanente mesmo sofrendo solicitações **abaixo** do seu limite elástico.

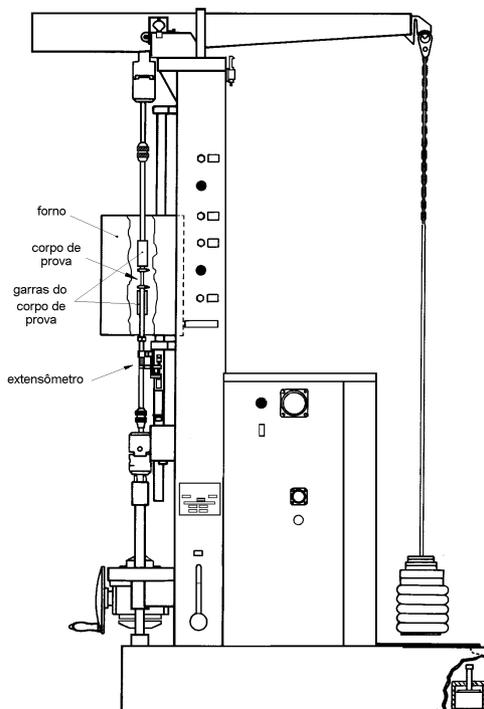
Essas deformações ocorrem mais freqüentemente em situações de uso do produto que envolvam altas temperaturas. E quanto maior a temperatura, maior a velocidade da deformação.

Nos ensaios de fluência, o controle da temperatura é muito importante. Verificou-se que pequenas variações de temperatura podem causar significativas alterações na velocidade de fluência.

Exemplo disso é o aço carbono submetido ao ensaio de fluência, a uma tensão de  $3,5 \text{ kgf/mm}^2$ , durante 1.000 horas: à temperatura de  $500^\circ\text{C}$ , apresentou uma deformação de 0,04% e à temperatura de  $540^\circ\text{C}$  apresentou uma deformação de 4%.

Imagine a importância desta característica para os foguetes, aviões a jato, instalações de refinarias de petróleo, equipamentos de indústria química, instalações nucleares, cabos de alta tensão etc., nos quais os esforços são grandes e as temperaturas de trabalho oscilam em torno de  $1.000^\circ\text{C}$ .

### Equipamento para ensaio de fluência



Na maioria dos casos, avalia-se a fluência de um material submetendo-o ao esforço de tração. Os corpos de prova utilizados nos ensaios de fluência são semelhantes aos do ensaio de tração.

O equipamento para a realização deste ensaio permite aplicar uma carga de tração constante ao corpo de prova. O corpo de prova fica dentro de um forno elétrico, de temperatura constante e controlável. Um extensômetro é acoplado ao equipamento, para medir a deformação em função do tempo.

Como os extensômetros são instrumentos de precisão, não suportam altas temperaturas. Por isso são ligados ao corpo de prova por meio de hastes de extensão, como mostra a figura ao lado.



Ao fixar o extensômetro ao corpo de prova deve-se tomar cuidado para evitar marcas que possam induzir a ruptura a ocorrer nos pontos de fixação, o que levaria à rejeição do ensaio.

### Preparação do ensaio

Nos ensaios de fluência, o corpo de prova deve passar por um período de aquecimento, até que se atinja a temperatura estabelecida. Mas é importante que o corpo de prova não sofra superaquecimento. A prática comum é aquecer primeiro o corpo de prova até  $10^{\circ}\text{C}$  abaixo da temperatura do ensaio, por um período de 1 a 4 horas, para completa homogeneização da estrutura. Só depois disso o corpo de prova deve ser levado à temperatura do ensaio.



**Termopar:** são dois fios de materiais diferentes, unidos nas pontas por solda, que geram uma diferença de potencial quando as pontas são submetidas a temperaturas diferentes.

**Pirômetro:** é um equipamento que relaciona a diferença de potencial gerada no termopar a uma escala de temperatura.

O aquecimento pode ser feito por meio de resistência elétrica, por radiação ou indução. A temperatura deve ser medida em dois ou três pontos, preferencialmente por meio de **pirômetros** ligados ao corpo de prova por **termopares** aferidos, de pequeno diâmetro.

### Avaliando a fluência

Para avaliar a fluência, utilizam-se três tipos de ensaios:

- Ensaio de fluência propriamente dito;
- Ensaio de ruptura por fluência;
- Ensaio de relaxação.

As conclusões obtidas a partir do ensaio de fluência baseado no esforço de tração podem ser estendidas aos outros tipos de esforços estudados até aqui.

Os ensaios de fluência são muito longos, podendo durar de um mês até pouco mais de um ano. Por isso seu uso se restringe a atividades de pesquisa e desenvolvimento de novos materiais ou ligas metálicas.

Veja a seguir uma descrição geral dos três tipos de ensaios mencionados.

## Ensaio de fluência propriamente dito

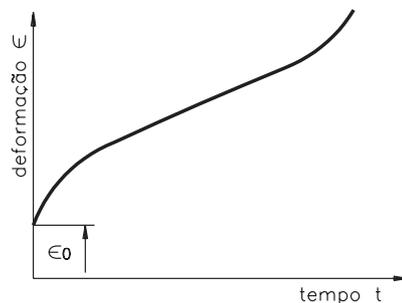
Este ensaio consiste em aplicar uma determinada carga em um corpo de prova, a uma dada temperatura, e avaliar a deformação que ocorre durante a realização do ensaio.

É importante ressaltar que, neste ensaio, tanto a carga como a temperatura são mantidas constantes durante todo o processo.

A duração deste ensaio é muito variável: geralmente leva um tempo superior a 1.000 horas. É normal o ensaio ter a mesma duração esperada para a vida útil do produto.

Às vezes, quando não é possível esperar muito tempo, utilizam-se **extrapolações**, isto é, o ensaio é feito durante um tempo mais curto e, a partir da deformação obtida nesse intervalo, estima-se o comportamento do material por um tempo mais longo (vida útil do produto) e avalia-se a quantidade de deformação esperada ao longo deste tempo.

O resultado do ensaio é dado por uma curva de deformação (fluência) pelo tempo de duração do ensaio.



Para obter resultados significativos, é necessário realizar diversos ensaios no material, com diferentes cargas e temperaturas. As curvas assim obtidas devem representar as diversas situações práticas de uso do produto.

O objetivo do ensaio, em muitos casos, é determinar as tensões necessárias para produzir uma deformação de 0,5%, 1,0% e, em alguns casos, até 2,0%, por um dado período de tempo, em função da temperatura. Com isso é possível determinar a vida útil e a máxima condição de uso do produto.

## Ensaio de ruptura por fluência

Este ensaio é semelhante ao anterior, só que neste caso os corpos de prova são sempre levados até a ruptura. Para isso, utilizam-se cargas maiores e, portanto, são obtidas maiores velocidades de fluência.

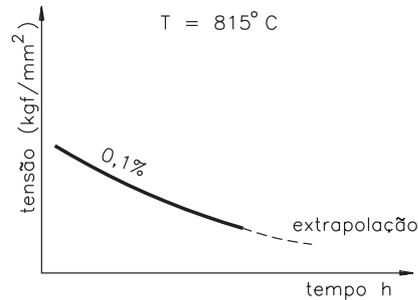
A deformação atingida pelos corpos de prova é bem maior: enquanto no ensaio de fluência a deformação do corpo de prova poucas vezes ultrapassa 1%, nos ensaios de ruptura por fluência pode atingir 50%.

A tensão e a temperatura são mantidas constantes neste ensaio. Os resultados obtidos no ensaio são: tempo para a ruptura do corpo de prova, medida da deformação e medida da estrição, em certos casos.

**Extrapolação:** qualquer processo em que se infere o comportamento de uma função fora de um intervalo, a partir de seu comportamento durante esse intervalo.

Este ensaio é muito usado pela sua brevidade, comparado com o ensaio de fluência propriamente dito. Sua duração fica em torno de 1.000 horas. Porém, são necessários muitos corpos de provas, ensaiados com cargas diferentes, para se obter resultados significativos.

O gráfico deste ensaio relaciona a carga com o tempo de ruptura. É construído a partir dos resultados de diversos testes.



### Ensaio de relaxação

Os ensaios de fluência e de ruptura por fluência envolvem elevado número de equipamentos e milhares de horas de ensaio.

O ensaio de relaxação elimina essa dificuldade, produzindo dados sobre velocidade de fluência/tensão numa gama variada de velocidades, com apenas **um corpo de prova**.

Na sua forma mais simples, o ensaio de relaxação é feito mantendo a deformação constante, por meio da redução da tensão aplicada ao corpo de prova ao longo do tempo.

O resultado é justamente a queda da tensão ao longo do tempo, que mantém a velocidade de deformação constante, num dado valor.

A maioria dos ensaios de relaxação duram de 1.000 a 2.000 horas. Os resultados não têm relação direta com aplicação prática e são extrapolados empiricamente para situações reais.

A principal desvantagem deste ensaio prende-se às exigências do equipamento, cujo sistema de medição de força deve permitir medições precisas de pequenas variações de carga ao longo do tempo.

Outro aspecto delicado na realização deste tipo de ensaio é a necessidade de um estreito controle da temperatura da sala onde se encontra o equipamento, pois mesmo pequenas flutuações da temperatura provocam efeitos de dilatação nos componentes da máquina, que podem alterar os resultados.

Embora na prática esses ensaios se restrinjam às atividades de pesquisa e desenvolvimento de novos materiais e ligas metálicas, é evidente sua importância para determinar as condições seguras de uso de diversos produtos.

**Exercício 1**

Assinale **F** ou **V**, conforme as afirmações forem falsas ou verdadeiras.

- a) ( ) a fluência ocorre abaixo do limite elástico do material;
- b) ( ) a temperatura não influi no fenômeno da fluência;
- c) ( ) o ensaio de fluência é, em geral, bastante demorado;
- d) ( ) o extensômetro avalia a temperatura do corpo de prova.

Marque com um X a resposta correta.

**Exercício 2**

A fluência é a deformação plástica que ocorre num material:

- a) ( ) sob carga estática constante, em função da temperatura;
- b) ( ) sob carga dinâmica, independentemente do tempo;
- c) ( ) sob carga estática variável, em função da temperatura;
- d) ( ) sob carga estática constante, em função do tempo e da temperatura.

**Exercício 3**

No ensaio de fluência propriamente dito:

- a) ( ) a carga é mantida constante e a temperatura varia;
- b) ( ) a carga é variável e a temperatura constante;
- c) ( ) a carga e a temperatura são mantidas constantes;
- d) ( ) a carga e a temperatura variam durante o ensaio.

**Exercício 4**

No ensaio de ruptura por fluência:

- a) ( ) utilizam-se cargas maiores para acelerar a fluência;
- b) ( ) as cargas são variáveis no mesmo ensaio;
- c) ( ) as cargas são aumentadas até que o corpo de prova se rompa;
- d) ( ) as cargas não afetam o resultado do ensaio.

**Exercício 5**

No ensaio de relaxação:

- a) ( ) a carga é mantida constante e a temperatura aumentada;
- b) ( ) a deformação é mantida constante e a carga alterada;
- c) ( ) a deformação e a carga são aumentadas;
- d) ( ) são usados **n** corpos de prova com cargas diferentes.

