

# DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO PARA ENSAIO DE FADIGA POR FLEXÃO

André Rezende de Figueiredo Oliveira<sup>1</sup> (PQ), Eduardo Henrique Martins Silva<sup>1</sup> (EG),  
Gilcimar Cardoso de Paula (EG), Rodrigo Rubio Ferreira Silva<sup>1</sup> (EG).

<sup>1</sup> Centro Universitário UNA Uberlândia.

## Área do Conhecimento: Engenharia.

*A fadiga ocorrida nos eixos durante sua vida útil caracteriza-se como um problema para a estabilidade do sistema durante o movimento. O ensaio de fadiga por flexão rotativa é amplamente utilizado para determinar os limites de resistência a fadiga de elementos de máquinas tais como eixos. Assim, faz-se necessário analisar comparativamente os eixos durante a flexão. Falhas por fadiga são consideradas o mais sério tipo de fratura em elementos de máquinas e equipamentos, uma vez que este tipo de fratura ocorre em condições normais de serviço. Diante deste contexto, foram realizados testes em eixos de quatro diferentes materiais: Aço ABNT 1020, Aço ABNT 1045, Aço Inoxidável ABNT 304 e Alumínio comercial. Os testes foram realizados através de uma bancada de ensaios projetada e construída para testar as amostras de eixos, submetidos a flexão rotativa. A análise dos eixos se deu através do comparativo do número de ciclos que cada eixo efetuou até a fadiga e a consequente ruptura.*

**Palavras-chave:** Eixos em Flexão; Fadiga; Rotação; Bancada de Ensaio de Flexão.

## Introdução

Uma falha pode ser definida como sendo um evento que resulta na impossibilidade de operação de uma peça, componente ou sistema. Uma fratura é usualmente o mais sério tipo de falha e pode levar a um resultado desastroso.

A maioria das falhas em máquinas ocorre devido a um conjunto de cargas que variam no tempo. Dentre essas ocorrências, a fadiga é responsável por grande parte das falhas geradas nos componentes mecânicos. Fadiga é uma falha mecânica causada pela aplicação repetida e localizada de carregamentos (tensões variáveis no tempo), sendo sua característica principal a propagação lenta e gradual de trincas, levando a ruptura repentina dos componentes, após um determinado número de ciclos (DE OLIVEIRA, 2004).

O mecanismo de falha por fadiga pode ser dividido em três etapas: nucleação, propagação da trinca e ruptura. As trincas iniciam-se a partir de pequenas falhas nos planos cisalhantes localizados, geralmente, nas regiões de concentração de tensões (variação de seções, rasgos, entalhes, roscas, furos e etc.) ou em regiões de baixa resistência local (MARQUES 2011).

A resistência a fadiga de um material é definida pelo nível de tensão pelo qual a falha irá ocorrer para um determinado número de ciclos, depende de diversos fatores como as propriedades mecânicas do material, acabamento superficial, forma com o qual o carregamento é aplicado, temperatura, umidade do ambiente, presença de gradientes de tensão e defeitos de fabricação (riscos, sulcos, rebarbas, etc.).

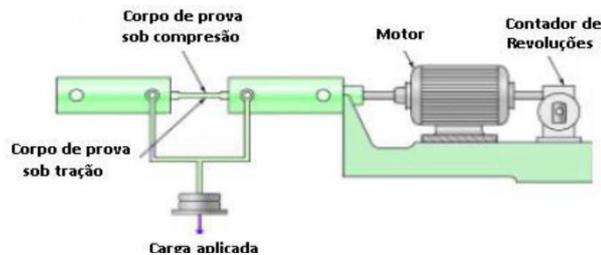
Atualmente o mercado industrial está cada vez mais exigente para com os produtos e serviços, para satisfazer estas necessidades, algumas indústrias costumam testar novos produtos ou até mesmo melhorar os já existentes. Uma das maneiras de buscar soluções é a utilização de testes simulados ou testes em laboratório. Desta forma surge a necessidade de se testar, através de bancadas de teste, a fadiga de eixos em flexão.

Diante deste contexto o presente trabalho teve como objetivo projetar e confeccionar uma bancada de testes de fadiga para eixos em flexão. Posteriormente foram feitas análises e comparações entre os resultados obtidos nos testes com amostras de eixos em Aço ABNT 1020, Aço ABNT 1045, Aço inoxidável ABNT 304 e Alumínio Comercial.

## Material e Métodos

O esquema cinemático da máquina de fadiga por flexão rotativa foi escolhido tendo em vista os requisitos iniciais de projeto e o número de ciclos na pior situação, ou seja, no estado mais crítico. A Figura 1 mostra o esquema de um equipamento utilizado no teste de fadiga por flexão rotativa.

**Figura 1 – Esquema de uma máquina de ensaio de fadiga rotativa.**



Fonte: Autores.

A máquina utilizada nos ensaios foi confeccionada de maneira simples, porém objetiva, seguindo as necessidades que o ensaio sugere. Assim foram utilizados os seguintes processos convencionais de fabricação: corte, soldagem, usinagem (torneamento e furação) e pintura. A Figura 2 mostra o equipamento confeccionado e utilizado nos ensaios.

**Figura 2 – Equipamento de Ensaio de Fadiga por flexão utilizado nos ensaios.**



Fonte: Autores.

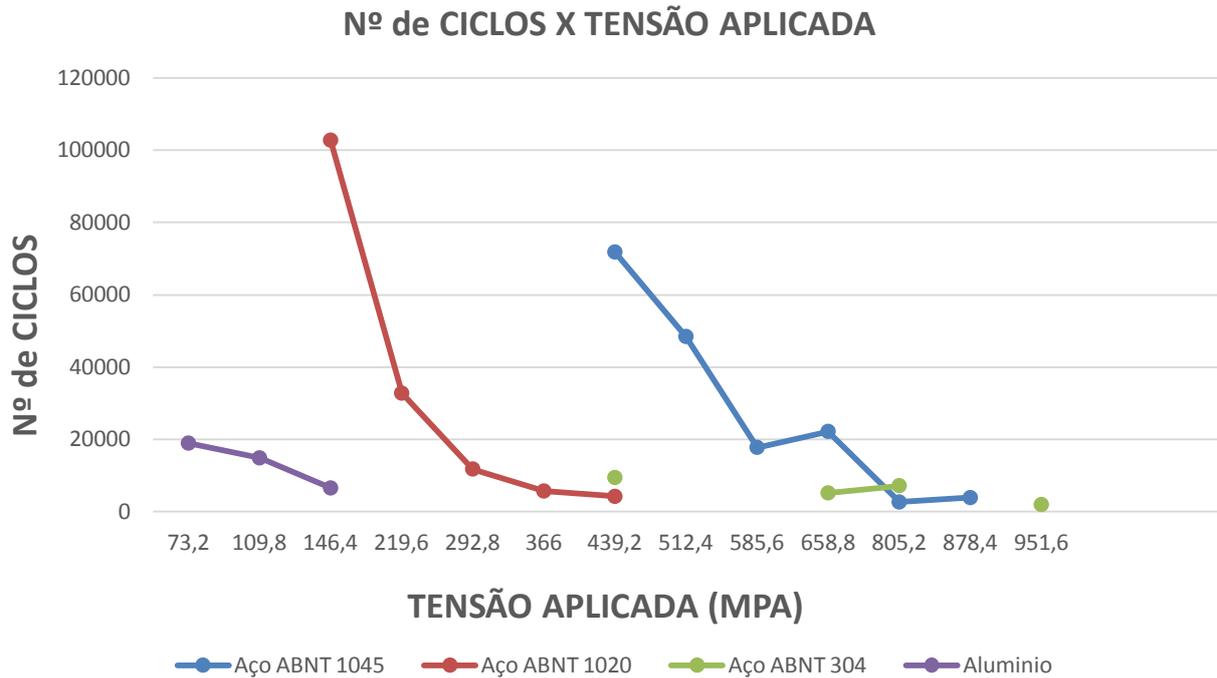
Os corpos de prova (CPs) utilizados nos ensaios de fadiga por flexão são geralmente de dois tipos: cilíndrico com seção de teste de perfil reto e cilíndrico com seção de teste definida por um raio de concordância. Para a realização dos ensaios de fadiga foram confeccionados doze CPs, sendo três de cada material, com medida de 3/8" ou 9,52mm, os mesmos foram confeccionados através do processo de usinagem seguindo padrões estipulados na norma ASTM-606-04.

Após os ensaios determinou-se os micromecanismos de falhas nos CPs fraturados através da microscopia óptica linear. Além disso foram feitas também medições da rugosidade lateral por meio de um rugosímetro de contato mecânico.

## Resultados e Discussão

Foram realizados testes de fadiga em quatro materiais diferentes: Aço ABNT 1045, Aço ABNT 1020, Aço ABNT 304 e Alumínio Comercial. Após a realização dos ensaios, registrou-se o número de ciclos que cada material suportou até a ruptura. Os resultados são mostrados no gráfico da Figura 3.

**Figura 3 – Média do número de ciclos realizados em função da tensão aplicada.**



Fonte: Autores.

Os ensaios de fadiga para o aço ABNT 1045 foram divididos em três séries de ensaios para as cargas de 60 e 70 N. Para as cargas de 80, 90, 110 e 120 N o material fadigou na primeira série de ensaios. Observou-se que para uma tensão acima de 805,2 MPa o Aço ABNT 1045 alcança  $10^3$  ciclos, para tensão entre 658,8 e 585,6 MPa os ciclos estão na ordem de  $10^4$ , enquanto que para tensões abaixo desta, os ciclos chegam a ordem de  $10^5$ .

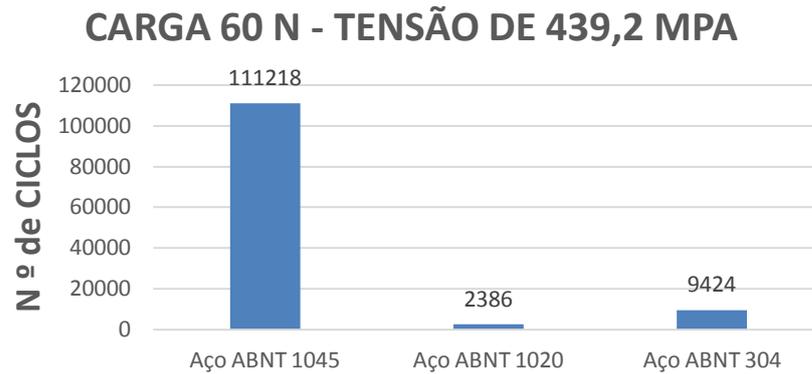
Seguindo o mesmo padrão, os ensaios de fadiga para o Aço ABNT 1020 foram divididos em três séries de ensaios para as cargas de 50 e 60 N. Para as cargas de 20, 30 e 40 N não foram realizados os ensaios dois e três, por se tratar de uma carga baixa, levando a um ensaio de fadiga tendendo ao infinito. Através do gráfico da Figura (3) observa-se que os valores de tensão variaram de aproximadamente 150 MPa a 440 MPa, os valores das tensões aplicadas foram menores em função das propriedades mecânicas do material, devido ao seu baixo teor de carbono (0,18% a 0,23%).

Os ensaios de fadiga realizados no aço inoxidável austenítico ABNT 304 foram divididos em três séries de ensaios para as cargas de 130, 110 e 90 N. Para a carga de 60 N não foram realizados os ensaios dois e três, por se tratar de tensões baixas. Observou-se que o nível de tensão aplicada promoveu a redução do número de ciclos limites.

Por outro lado, os valores de tensões aplicadas nos ensaios com o Alumínio Comercial variaram de aproximadamente 73 MPa a 150 MPa, estes valores são bem menores que os valores das tensões aplicadas nos ensaios anteriores, isso ocorreu em função do alumínio ser um material muito dútil e nesta composição apresentar resistência mecânica relativamente baixa.

Em uma comparação feita entre os resultados obtidos na primeira série de ensaios para os aços: ABNT 1020, ABNT 1045 e ABNT 304; submetidos a uma tensão média de 439,2 MPa e uma carga de 60 N, observou-se que a performance do Aço ABNT 1045 foi superior aos outros aços, tais resultados podem ser vistos no gráfico da Figura 4.

**Figura 4** – Resultado comparativo para materiais para carga de 60N (Tensão de 439,2 MPa).



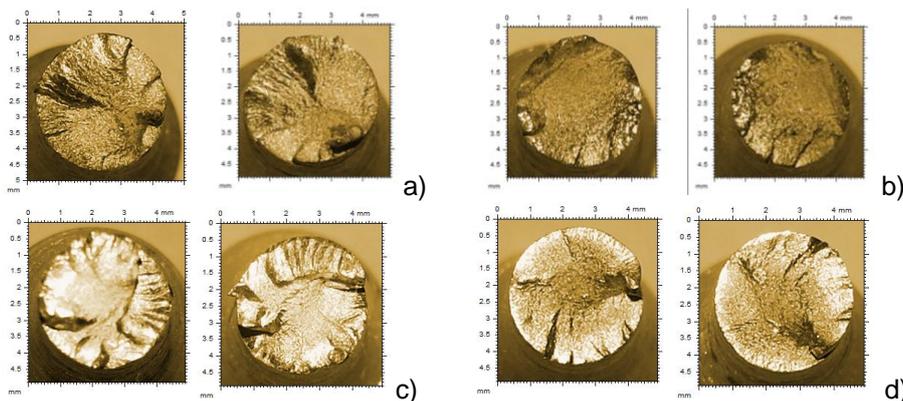
**Fonte:** Autores.

Como mostra o gráfico da Figura (4), o Aço ABNT 1045 suportou mais de 110 mil ciclos. Este fato comprova a grande eficiência deste material na fabricação de eixos de máquinas e equipamentos, elementos estes que sofrem este tipo de influência ao longo de sua vida útil.

O Aço ABNT1045 apresentou resistência a fadiga 45 vezes maior que o Aço ABNT 1020 e 10 vezes maior que o Aço inox 304. O maior percentual de carbono na sua composição química (0,43% a 0,50% C), é o que lhe confere melhores propriedades mecânicas em comparação aos aços: ABNT 1020 e 304.

Através das imagens adquiridas por microscopia óptica linear, observou-se que os materiais apresentaram marcas de estrias. Em algumas situações pode se observar também marcas de fenda ou marcas de catraca, que são características deste tipo de falha (fratura), as tradicionais “marcas de praia”. A Figura 5 mostra as imagens das faces de fraturas.

**Figura 5** – Imagem do microscópio óptico após fratura. (a) Aço ABNT 1020, (b) Aço ABNT 1045, (c) Alumínio Comercial, (d) Aço Inox ABNT 304.

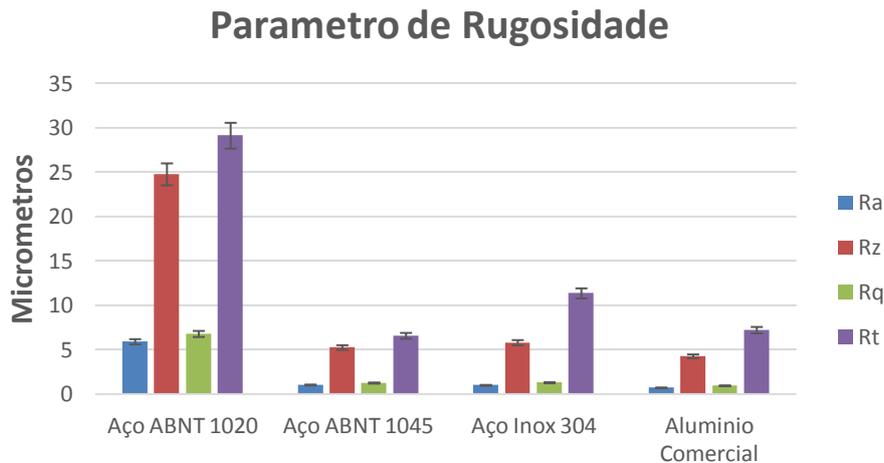


**Fonte:** Autores.

Em alguns casos as fraturas por fadiga não apresentam “estrias” ou “marcas de praia”, que não ocorreu nos ensaios realizados, pois esta situação se apresenta com maior frequência em ligas de elevada dureza e resistência mecânica, as quais não formam estrias durante o estágio de propagação da trinca, isso se dá em consequência da baixa ductilidade destes materiais.

Assim como descrito na literatura, uma trinca pode nuclear na superfície do material que está sob ação de carregamento cíclico. Para investigar este fato, foi realizado a medição de parâmetros de rugosidade na superfície dos CPs, tais resultados podem ser vistos no gráfico da Figura 6.

**Figura 6** – Resultados dos parâmetros de rugosidade Ra, Rz, Rq e Rt dos CPs de alumínio, aço ABNT 1020, aço ABNT 1045 e aço inoxidável ABNT 304.



**Fonte:** Autores.

Através do gráfico da Figura 6 observa-se que o material que apresentou o pior acabamento superficial foi o Aço ABNT 1020. Além de apresentar um acabamento superficial bem inferior comparado aos outros materiais analisados (Aço Inox 304, Aço ABNT 1045 e Alumínio Comercial), o Aço ABNT 1020 apresentou resultados inesperados nos ensaios anteriormente realizados. Desta forma levantou-se a hipótese de que o material passou por um processo de fabricação (torneamento) de baixa qualidade, provavelmente associado ao afiamento da ferramenta de aço rápido ou à uma baixa velocidade de avanço, fator este influenciou diretamente nos resultados obtidos.

## Conclusões

- Devido às seleções realizadas durante o projeto, onde foram consideradas todas as variáveis atuantes no sistema, a funcionalidade do equipamento foi limitada a uma carga máxima de 100 N, sendo considerada uma tensão de 800 MPa atuante no corpo de prova.
- De uma forma geral observou-se pelos resultados que os ensaios foram validados, pois obteve-se uma quantidade de ciclos e carga maior para romper o Aço ABNT 1045, comparado aos outros materiais, visto que isso se comprova na prática.
- Na análise do comportamento do aço ABNT 1020 observou-se o papel preponderante do acabamento superficial do CP solicitado por flexão e rotação simultaneamente, uma vez que o mesmo apresentou resultados bem inferiores dos esperados.

## Agradecimentos

À empresa Du Pont Pioneer Unidade Itumbiara.

## Referências Bibliográficas

- CALLISTER JR, W. D., 2002; Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. 5ª ed. Rio de Janeiro, LTC.
- DE OLIVEIRA, F.; Ferreira, J.L., Araújo, J. A., 2004; Determinação da Resistência à Fadiga do Aço ASTM A743 – CA6NM, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília.
- MARQUES, F. C., Arevalos M., 2011; Rodrigo, Modernização da Máquina de Fadiga por Flexão Rotativa do Laboratório de Ensaios de Materiais. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília.
- MEYERS, M. A., Chawla, K.K., 1998; Mechanical behavior of Materials, 1ª ed., Prentice Hall.
- SHIGLEY, J. E., Mischke, C. R., Budynas, R.G., 2005; Projeto de Engenharia Mecânica, 7ª ed. Porto Alegre, Bookman.