

# DETERMINAÇÃO DE DANOS POR FADIGA EM UM AÇO SAE/AISI 8620

## **Tanius Rodrigues Mansur**

CDTN/CNEN, Rua Prof. Mário Werneck, s/n, Cidade Universitária, Pampulha, Caixa Postal 941, CEP 30123-970, Belo Horizonte, Minas Gerais, e-mail: [tanius@cdtn.br](mailto:tanius@cdtn.br)

## **Álvaro Alvarenga Jr.**

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - PUC Minas – Mestrado em Engenharia Mecânica. Belo Horizonte, Minas Gerais, e-mail: [alvarengajr@yahoo.com.br](mailto:alvarengajr@yahoo.com.br)

## **Silvério F. da Silva Jr.**

CDTN/CNEN, Rua Prof. Mário Werneck, s/n, Cidade Universitária, Pampulha, Caixa Postal 941, CEP 30123-970, Belo Horizonte, Minas Gerais, e-mail: [silvério@cdtn.br](mailto:silvério@cdtn.br)

## **Ernani Sales Palma**

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - PUC Minas – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica. Av. Dom José Gaspar, 500 – Coração Eucarístico  
Belo Horizonte, Minas Gerais, e-mail: [palma@pucminas.br](mailto:palma@pucminas.br)

**Resumo:** *A medição do dano é de fundamental em aplicações onde o problema de fadiga é determinante. Neste caso, todas as vezes que a tensão alternada externa for superior ao limite de resistência à fadiga, ocorrerá um dano no material, o qual é irrecuperável e acumulativo. O objetivo deste trabalho é a medição de danos através do sinal Barkhausen. Palavras-chave: Danos, fadiga, efeito Barkhausen, durabilidade.*

**Palavras Chave:** *fadiga, dano, ensaios não destrutivos, Barkhausen, falha de material*

## **1. INTRODUÇÃO**

No contexto da mecânica do contínuo, dano em materiais é definido como uma propriedade que diminui a resistência do componente, podendo inclusive provocar a sua falha. O processo de criação de danos consiste na nucleação de descontinuidades superficiais (microtrincas) e/ou volumétricas (vazios ou micro poros) no material (Collins, 1993, Alvarenga Jr. et al, 2001 e Lemaitre et al, 1987)

Componentes mecânicos de uma maneira geral sofrem danos durante a sua vida útil, sempre que as solicitações externas ultrapassarem as tensões admissíveis. Aplicações onde o problema de fadiga é determinante, a medição do dano é de fundamental importância. Neste caso, todas as vezes que a tensão alternada externa for superior ao limite de resistência à fadiga, ocorrerá um dano no material, o qual é irrecuperável e acumulativo (Lemaitre et al, 1987 e Dieter, 1983).

Existem várias técnicas distintas para medição de danos. Cada uma destas técnicas apresenta vantagens e desvantagens em função das suas aplicações (Lemaitre et al, 1987). O efeito Barkhausen pode ser utilizado para determinar tensões residuais e em consequência o dano provocado no material sob tensão. Quando um aço é colocado sob a influência de um campo magnético, ele torna-se magnetizado, ou seja, são criados pólos magnéticos na sua superfície. Os momentos magnéticos em seu interior tendem a se

$$H_{\sigma} = \frac{3\lambda_s}{2\mu_0} \frac{\sigma}{M_s} = C \frac{\sigma}{M_s} \quad (1)$$

O objetivo deste trabalho é a medição de danos através do sinal Barkhausen. Especificamente, foi determinado o dano de corpos de prova de aço SAE/AISI 8620 submetidos à fadiga por flexo-rotação com tensão média nula. Os danos impostos aos corpos de provas foram determinados através da medição do sinal Barkhausen durante a sua vida útil.

## 2.1 Materials

## 2.2 Ensaios Mecânicos

Os ensaios de tração foram realizados em uma máquina INSTRON com velocidade do travessão igual a 0,002m/min, à temperatura ambiente (22 °C), segundo a norma ASTM E-23. Os ensaios de dureza Vickers foram realizados conforme a norma ASTM E-92 em uma máquina Wolpert.

usando um penetrador de diamante com base piramidal quadrada (ângulo igual a  $136^0$ ) e força de 196N.

Os ensaios de fadiga para medição do dano foram realizados em um equipamento servo-hidráulico Instron, à temperatura ambiente ( $22^{\circ}\text{C}$ ). A aplicação da força foi realizada usando-se sinal senoidal com razão  $R=0$  e frequência de 40 Hz. Os ensaios de fadiga para a determinação da curva S-N foram realizados em uma máquina de flexo-rotação com tensão média nula. O limite de resistência à fadiga foi determinado usando o método stair case (Collins, 1993). Em cada experimento foram utilizados 15 corpos de prova.

O sinal Barkhausen foi medido utilizando-se um equipamento Stresstest 2004, Metalelektro® (Metalelektro, Budapest, Hungary). Este equipamento constitui-se de uma unidade magnetizadora, um sensor, uma unidade de tratamento de sinais e uma unidade de armazenamento de sinais. Foi desenvolvido um sistema especial para fixação dos corpos de provas, como mostrado na Fig. 2. Utilizou-se como medida do dano o sinal Barkhausen RMS.

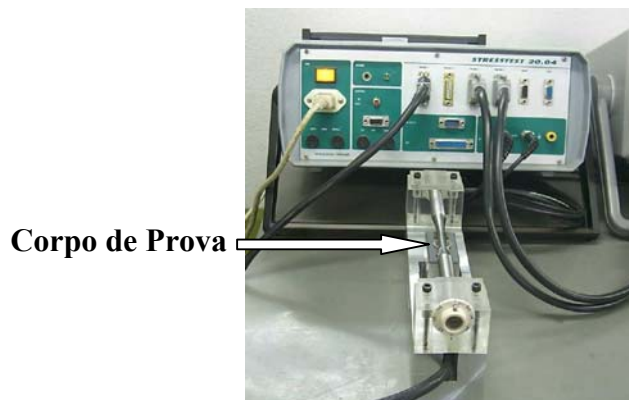


Figura 2. Equipamento Barkhausen e dispositivo de fixação do corpo de prova

### 3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

As propriedades mecânicas do aço AISI 8620 estão mostradas na Tab. 1.

Tabela 1. Propriedades Mecânicas do aço AISI 8620

Limite de Resistência - $\sigma_R$	Limite de Escoamento ( $\sigma_{0.2}$ )	Dureza	Redução de Área
$596 \pm 24 \text{ MPa}$	$370 \pm 10 \text{ MPa}$	$206 \pm 10 \text{ HV}$	$39 \pm 1 \%$

O limite de resistência à fadiga no material virgem (sem dano prévio) foi obtido através de ensaios “Up-and-Down”, como mostrado na Fig. 3. Obteve-se um valor de limite de resistência à fadiga  $S_e = 194 \pm 5 \text{ Mpa}$  para uma vida de  $2 \times 10^6$  ciclos e confiabilidade  $R = 99\%$  (Probabilidade de falha  $P = 1\%$ ). A curva S-N com confiabilidade de 99% está mostrada na Fig. 4.

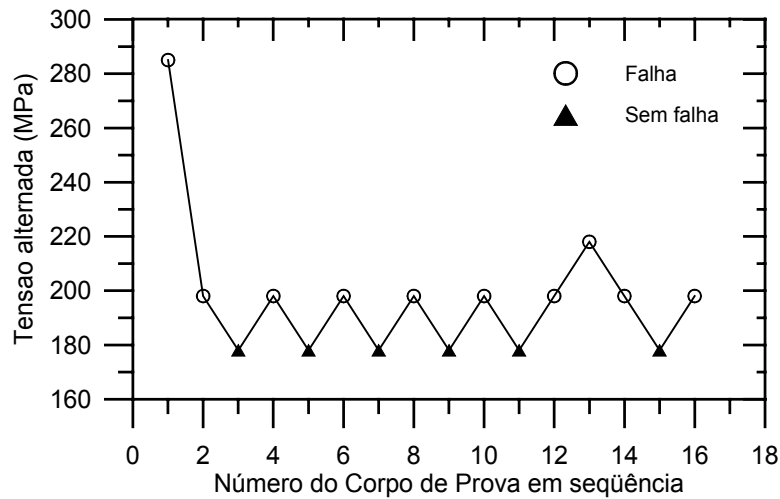


Figura 3. Ensaio de fadiga em corpos de prova virgens

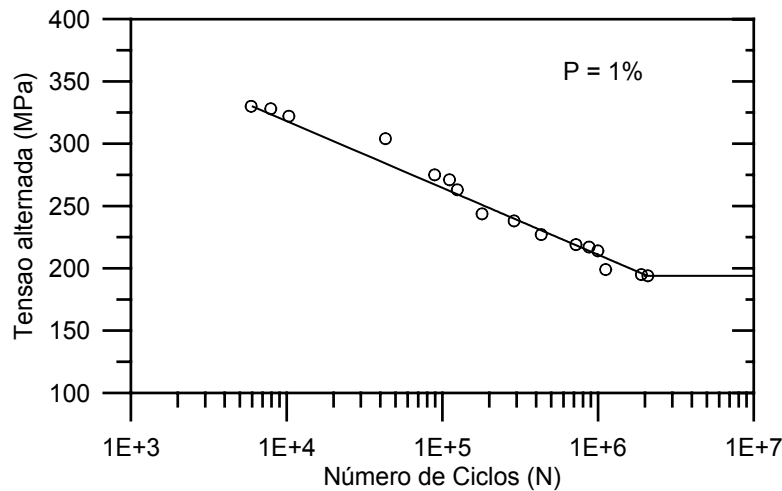


Figura 4. Curva S-N de corpos de prova virgens

A influência do dano introduzido no material sobre as propriedades mecânicas do aço estudado está mostrada na Fig. 5. Todas as propriedades mecânicas dos materiais danificados são inferiores aos valores do material virgem. Além disto, pode-se observar nesta figura que corpos de provas submetidos a tensões crescentes apresentam maiores reduções de suas propriedades mecânicas que aqueles submetidos a tensões decrescentes.

O dano introduzido no material foi determinado através da medição do sinal Barkhausen em função do número de ciclos, para três valores distintos de tensões alternadas, como mostrado na Fig. 6 para a tensão alternada de 217 Mpa. O sinal Barkhausen aumenta rapidamente no início do ensaio, nos estágios iniciais da vida de fadiga, decrescendo posteriormente.

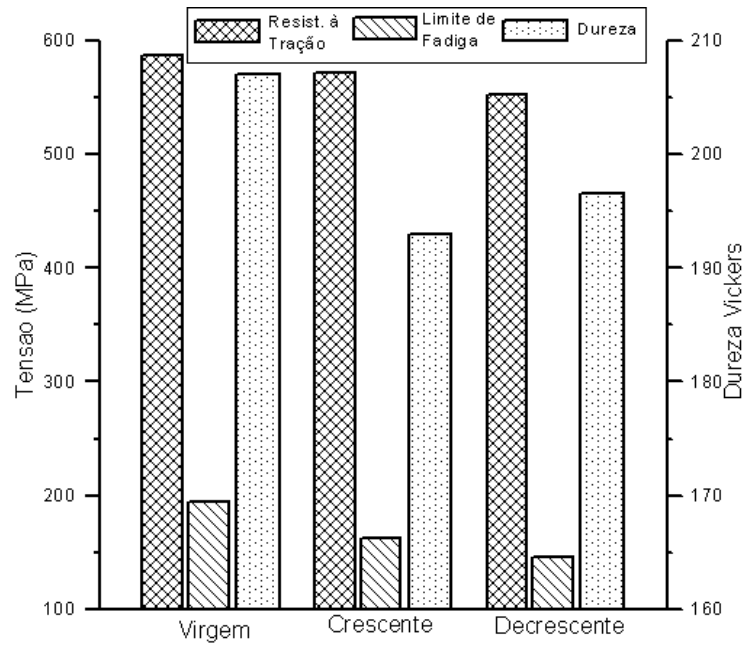


Figura 5. Influência do dano de fadiga nas propriedades mecânicas do aço AISI 8620

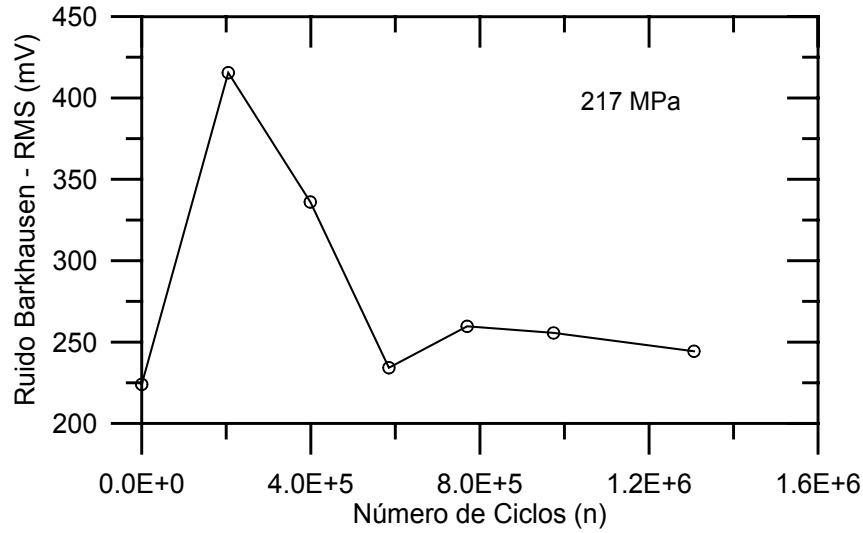


Figura 6. Sinal Barkhausen em função do número de ciclos

Para comparar o dano introduzido em corpos de prova submetidos a tensões distintas, o ruído Barkhausen foi normalizado dividindo-se o valor RMS do sinal medido em um número de ciclos  $n$  ( $V_n$ ) pelo valor do sinal do corpo de prova virgem ( $V_o$ ). O número de ciclos ( $n$ ) também foi normalizado dividindo-o pelo número de ciclos que produziria a falha na tensão atuante ( $N$ ). A vida  $N$  é calculada usando-se a curva S-N do material (Fig. 4). Finalmente, para cada nível de tensão atuante, parâmetro normalizado ( $V_n/V_o$ ) foi somado, obtendo-se o parâmetro acumulado ( $BN_{SUM}$ ) conforme a Eq. (2):

$$BN_{SUM} = \sum_{n=0}^{n=N} \left( 1 - \frac{V_n}{V_o} \right) \quad (2)$$

A influência do número de ciclos sobre o parâmetro acumulado está mostrada na Fig. 7. O ruído Barkhausen aumenta com o número de ciclos e com a tensão aplicada. Como a tensão alternada  $\sigma_a=217\text{MPa}$  é muito próxima do limite de fadiga do material ( $S_e = 194 \text{ MPa}$ ), espera-se que ocorram poucas alterações microestruturais no material, ou seja, o dano é relativamente pequeno. Aumentos dos valores das tensões aplicadas provocam maiores variações na microestrutura do material, e em consequência, no aumento do sinal Barkhausen.

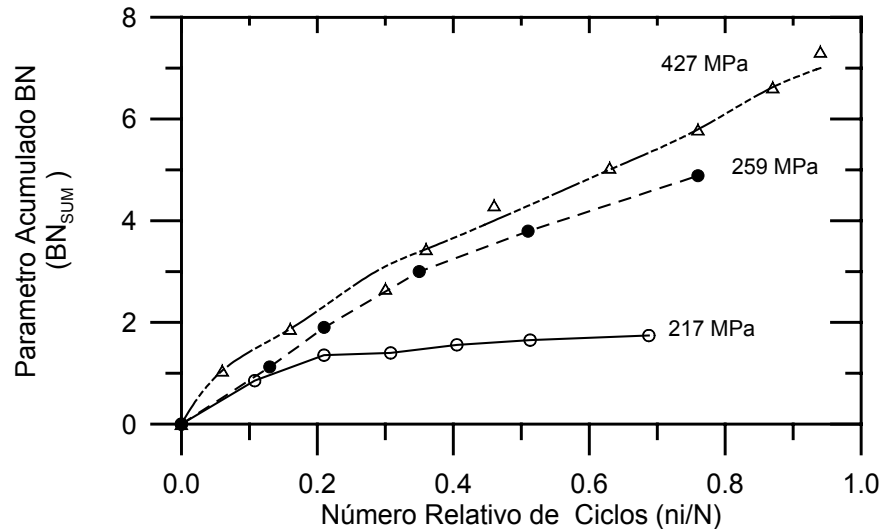


Figura 7. Sinal Barkhausen acumulado em função do número de ciclos

O sinal Barkhausen é muito sensível à variações microestruturais (Furuya et al, 1992, Endo et al, 1989 e Sipahi, 1993). Fadiga provoca alterações na microestrutura do material, levando à nucleação e propagação de trincas e em consequência dano no material. Assim, o sinal Barkhausen obtido é uma medida da extensão do dano ocorrido no material.

#### 4. CONCLUSÕES

Baseados nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- O dano provocado pela fadiga causa uma diminuição das propriedades mecânicas do material.
- O sinal Barkhausen aumenta com o número de ciclos e com a tensão aplicada.
- O sinal Barkhausen pode ser utilizado como medida do dano sofrido pelo material submetido à fadiga.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o apoio financeiro da Fundação de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarenga Jr., A., Mansur, T. R. e Palma, E. S., 2001, “Influência do Dano de Fadiga sobre as Propriedades do Aço 8620”, Anais do XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica - COBEM, Vol. 12, pp.209-216.
- Collins, J. A., 1993, “Failure of Materials in Mechanical Design”, John Wiley & Sons, 2. Ed. pp. 654.
- Dieter, G. E., 1998, “Mechanical Metallurgy”, McGraw-Hill Books Company, SI Edition,, pp.331

- Silva Jr., S.F. 1998, “Determinação de Tensões Residuais em Materiais Ferromagnéticos pelo efeito Barkhausen”, Dissertação de Mestrado, UFMG, Belo Horizonte-MG.
- Endo, K., Yoshinaga, A., Nakano, M. and Okazaki, Y., 1989, “Detection of Bending Fatigue Life of Steel by Magnetic Method” Journal of the Japanese Society for Non-Destructive Inspection (J. JNDI), Vol. 8, No. 38, pp.671-677.
- Furuya, Y., Shimada, H., Yamamoto, K. and Suzuki, T., 1992, “Estimation of Low cycle Fatigue Process and Life by the Measurement of Magnetic Barkhausen Noise”, Journal of the Japanese Society for Non-Destructive Inspection (J. JNDI), Vol. 4, No. 41, pp.215-219.
- Lemaite, J. and Dufailly, J., 1987, “Damage Measurements”, Engineering Fracture Mechanics. Vol. 28, N. 516, pp 643-661.
- Sipahi, L.B., Jiles, D.C. and Chandler D., 1993, “Comprehensive Analysis of Barkhausen Emission Spectra using Pulse Height Analysis, Frequency Spectrum, and Pulse Wave Form analysis”, Journal of Applied Physics, Vol. 10, No. 73, pp.5623-5625.
- Yuan, L. Q. and Longxiu, Z. M., 1996, “Evaluating the Fatigue Damage of Material by using Barkhausen Noise Method”, Proceedings of the 14<sup>th</sup> World Conference on Non-Destructive Testing, December 8-13, Vol. 3, pp.1611-1614 (publisher: Ashgate Publishing Company).

## 7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho..

## FATIGUE DAMAGE ASSESSMENT IN A SAE/AISI STEEL

### **Tanius Rodrigues Mansur**

CDTN/CNEN, Rua Prof. Mário Werneck, s/n, Cidade Universitária, Pampulha, Caixa Postal 941, CEP 30123-970, Belo Horizonte, Minas Gerais, e-mail: tanius@cdtn.br

### **Álvaro Alvarenga Jr.**

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - PUC Minas – Mestrado em Engenharia Mecânica. Belo Horizonte, Minas Gerais, e-mail: alvarengajr@yahoo.com.br

### **Silvério F. da Silva Jr.**

CDTN/CNEN, Rua Prof. Mário Werneck, s/n, Cidade Universitária, Pampulha, Caixa Postal 941, CEP 30123-970, Belo Horizonte, Minas Gerais, e-mail: silvério@cdtn.br

**Abstract:** *Basically, operation at any cyclic stress amplitude will produce fatigue damage. There are several ways to measure this damage in a component. Among others, the Barkhausen effect can be used to determine the fatigue damage in stressed components. The goal of this work is to determine the fatigue damage in specimens of commercial AISI 8620 steel using the Barkhausen noise effect.*

**Keywords:** *Damage, fatigue, Barkhausen noise, durability.*