



COTEQ-204

**VARIÁVEIS QUE INFLUENCIAM OS RESULTADOS DO  
ENSAIO DE MATERIAIS FERROMAGNÉTICOS PELA  
ANÁLISE DO RUÍDO MAGNÉTICO BARKHAUSEN**

Silvério Ferreira da Silva Júnior<sup>1</sup>, Donizete Anderson de Alencar<sup>2</sup>,  
Miguel Mattar Neto<sup>3</sup>

*Copyright 2007, ABENDE, ABRACO e IBP*

*Trabalho apresentado durante a 9ª. COTEQ – Conferência Internacional sobre Tecnologia de Equipamentos, em Salvador/BA, no mês de junho de 2007.*

*As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).*

## **Sinopse**

---

A análise do ruído magnético Barkhausen pode ser utilizada para o estudo de diversas características de um material ferromagnético, como aspectos de sua microestrutura, a presença de tensões residuais e de tensões devidas a carregamentos externos. Entretanto, é grande o número de variáveis que afetam os resultados obtidos durante a realização deste tipo de ensaio. Neste trabalho é apresentado um estudo sobre as principais variáveis que influenciam este método de ensaio e métodos utilizados para minimizar o efeito das variáveis indesejáveis.

## **1. Introdução**

---

O espectro do ruído magnético Barkhausen gerado em materiais ferromagnéticos durante o processo de magnetização, apresenta uma forte dependência da microestrutura destes materiais, sendo fortemente afetado pela sua composição química, processamento mecânico, presença de impurezas e defeitos na rede cristalina, orientação cristalina e pela presença de tensões (1). Esta dependência apresenta como vantagem a possibilidade de se utilizar a análise do ruído magnético Barkhausen para avaliar estas características destes materiais. Entretanto, para essa finalidade, é necessária a realização de uma calibração cuidadosa do sistema de ensaio, de forma a maximizar a influência das características que se deseja avaliar, minimizar o efeito das demais e limitar a influência de variáveis como a geometria sonda/material, a direção de realização das medições no material, o seu acabamento superficial, bem como determinar os valores mais adequados para o campo magnético de excitação. O efeito dessas variáveis é quantificado e analisado, de forma a avaliar a sua influência nos resultados de ensaio

## **2. Metodologia**

---

### *2.1 Material*

Para a realização deste estudo, foram retiradas amostras de uma chapa de aço ASTM A 515, a partir das quais foram preparados corpos de prova apropriados para avaliar o efeito de cada uma das variáveis estudadas, ou seja, o afastamento da sonda à superfície do material, a rugosidade superficial do material, a direção em que o campo magnético de excitação é aplicado ao material, assim como para a determinação do valor ótimo do campo magnético de excitação.

1 DSc, Pesquisador, Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN

2 DSc, Pesquisador, Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN

3 DSc, Pesquisador, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN

## 2.2 Equipamento

O sistema de testes utilizado na realização dos experimentos, Stresstest 20.04, pode ser observado na Figura 1 (a). A sonda utilizada na excitação do material e na detecção do ruído magnético Barkhausen pode ser observada na Figura 1 (b).



(a)



(b)

Figura 1 - Equipamento Stresstest 20.04 (a) e sonda de ensaio (b).

A sonda é constituída por um eletroímã e uma bobina de detecção. O eletroímã é responsável pela aplicação do campo magnético de excitação ao material, com uma frequência definida. A bobina de detecção é responsável pela detecção do ruído magnético Barkhausen, originado em diferentes profundidades no material. A frequência do campo magnético de excitação utilizada foi de 100 Hz e as frequências utilizadas para filtrar o ruído magnético Barkhausen gerado no material foram 500 Hz, 2 kHz, 8 kHz e 32 kHz.

## 2.3 Determinação do valor mais adequado para o campo magnético de excitação

A determinação do valor mais adequado do campo magnético de excitação foi realizada experimentalmente, excitando-se o material com campos magnéticos de diferentes amplitudes, selecionando-se então o valor do campo magnético para o qual a taxa de variação do ruído magnético Barkhausen com o campo aplicado apresentasse o maior valor. Para as amostras de aço ASTM A 515 estudadas, este valor foi obtido excitando-se o eletroímã com uma corrente de 1650 mA. Nesta condição, o campo magnético gerado, medido entre um dos pólos do eletroímã e a bobina sensora, apresentou um valor de 420 A/m.

## 2.3 Influência do afastamento da sonda à superfície do material

Este experimento foi realizado posicionando-se a sonda na superfície do material e determinando-se o valor RMS do ruído magnético Barkhausen gerado no material. Em seguida foram colocados filmes com espessuras conhecidas, entre a sonda e a superfície do material, de modo a simular um afastamento da sonda à superfície de forma controlada. O valor RMS do ruído magnético Barkhausen, adquirido utilizando-se filtros de 500 Hz, 2 kHz, 8 kHz e 32 kHz, foi registrado em cada distância da sonda à superfície utilizada. Os resultados podem ser observados na Figura 2.

## 2.4 Dependência direcional

As propriedades magnéticas dos materiais ferromagnéticos variam conforme a direção em que são medidas (2). A verificação da dependência direcional do valor RMS do ruído magnético Barkhausen para o aço ASTM A 515 foi avaliada utilizando-se a montagem que pode ser observada na Figura 3. O dispositivo utilizado para posicionar a sonda na superfície do material possibilita a realização de uma varredura de 180° ao redor de um determinado ponto, em intervalos de 15°. A curva representando os valores RMS do ruído magnético Barkhausen obtidos em função da direção

de aplicação do campo magnético de excitação pode ser observada na Figura 4. O ângulo de 90° corresponde à direção de laminação da chapa examinada.

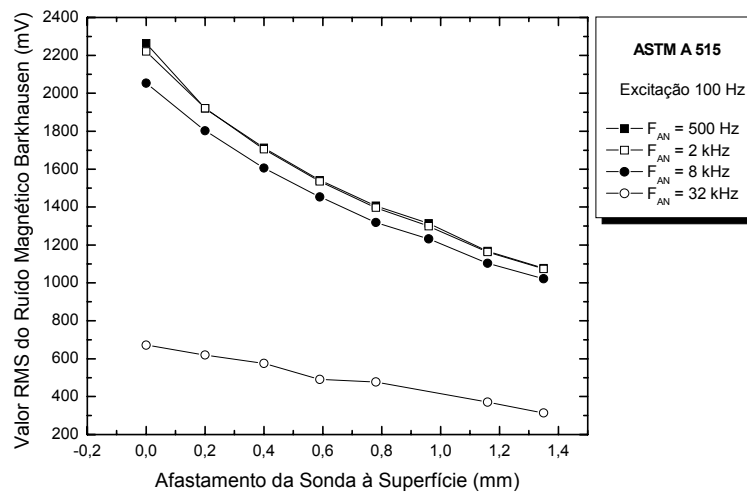


Figura 2 - Valor RMS do RMB em função da distância da sonda à superfície do material - frequência do campo magnético de excitação 100 Hz e frequências de detecção de 500 Hz, 2 kHz, 8 kHz e 32 kHz .



Figura 3 - Montagem para a verificação da dependência direcional do ruído magnético Barkhausen.

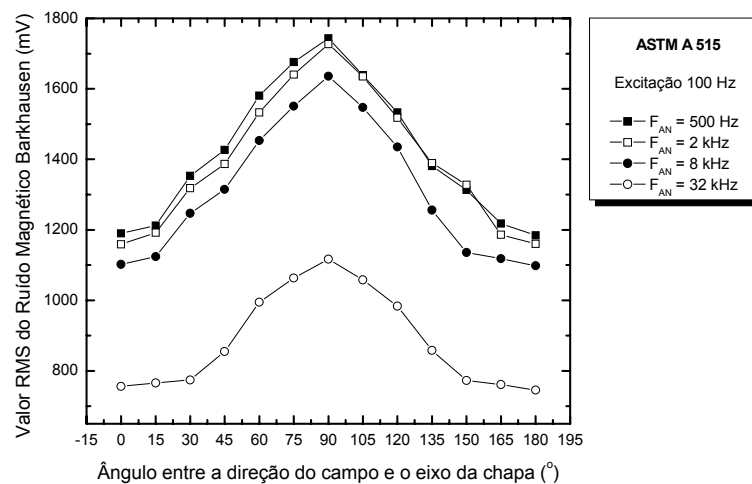


Figura 4 - Valor RMS do RMB em função da direção de aplicação do campo magnético de excitação de 100 Hz para as frequências de detecção de 500 Hz, 2 kHz, 8 kHz e 32 kHz.

## 2.5 Influência do acabamento superficial

A influência do acabamento superficial foi avaliada obtendo-se diferentes valores de acabamento na superfície do material e medindo-se, para cada condição de acabamento, o valor RMS do ruído magnético Barkhausen. Os resultados podem ser observados na Figura 5.

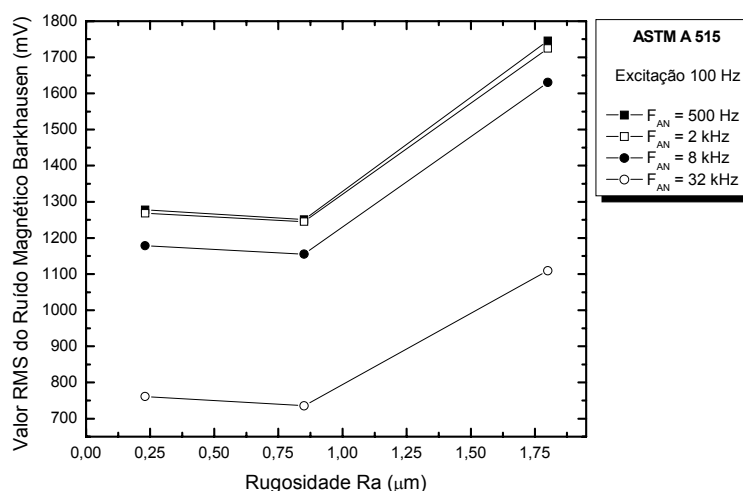


Figura 5 - Valor RMS do RMB em função do acabamento superficial do corpo de prova de aço ASTM A 515 - campo magnético de excitação de 100 Hz e frequências de detecção de 500 Hz, 2 kHz, 8 kHz e 32 kHz.

## 2.6 Discussão dos Resultados

O valor RMS do ruído magnético Barkhausen apresentou uma forte dependência do valor do campo magnético de excitação aplicado ao material, da distância da sonda à superfície examinada, da direção de realização das medições e do acabamento superficial do material.

A sensibilidade apresentada por este método de teste pode apresentar variações significativas em função do valor do campo magnético de excitação, havendo uma faixa estreita de valores do campo que permitem a maximização dessa sensibilidade. Na medição de tensões, por exemplo, as tensões aplicadas ao material promovem alterações na estrutura dos domínios magnéticos presentes no material similares, em alguns aspectos, àquelas produzidas por um campo magnético (3). Assim, quando se utiliza um determinado valor do campo aplicado que possibilita uma alta sensibilidade ao ensaio, as variações na estrutura de domínios produzidas por variações de tensões mecânicas aplicadas ao material promoverão alterações significativas no padrão do ruído magnético Barkhausen gerado. Essa condição possibilitará a detecção e a quantificação de pequenas variações no estado de tensões presente no material (4).

A distância da sonda à superfície também apresentou uma influência significativa no valor RMS do ruído magnético Barkhausen. Neste experimento, um afastamento da sonda à superfície do material de cerca de 1,4 mm reduziu o valor RMS do ruído a aproximadamente 50% de seu valor inicial.

A direção de aplicação do campo magnético de excitação e realização das medições do ruído magnético Barkhausen apresentou variações importantes. Os valores mais elevados do ruído magnético Barkhausen foram observados com a sonda posicionada de forma que a direção de aplicação do campo magnético de excitação fosse aproximadamente paralela à direção de laminação. Já os valores mínimos foram observados na direção perpendicular à de laminação. Este efeito foi mais significativo para a frequência de detecção de 32 kHz, correspondente ao ruído proveniente de uma distância de 0,1 mm da superfície do material.

A última variável avaliada, o acabamento superficial, também apresentou uma influência importante no valor RMS do ruído detectado, indicando que o processo de preparação da superfície, quando necessário, deve ser levado em consideração na execução dos ensaios.

## **Conclusões**

---

Pelos resultados apresentados, pode-se observar que o ensaio de materiais baseado na análise do ruído magnético Barkhausen deve ser realizado sob condições padronizadas, mantendo-se constante o valor do campo magnético de excitação aplicado ao material, o afastamento da sonda à superfície examinada, a direção de realização das medições e o acabamento da superfície do material. A preparação da superfície dos corpos de prova para a calibração do sistema de ensaio deve ser a mesma que a utilizada para preparar a superfície a ser examinada, a posição relativa da sonda à superfície do material deve ser mantida constante e a direção de realização das medições cuidadosamente observada, de forma a assegurar a confiabilidade dos resultados obtidos durante o ensaio.

## **Referências bibliográficas**

---

1. JILES, D. C. *Introduction to Magnetism and Magnetic Materials*. 2.ed. Londres: Chapman & Hall, 1998.
2. CULLITY, B.D. *Introduction to Magnetic Materials*. Londres: Addison-Wesley Publishing Company, 1972.
3. DEVINE, M. K., The magnetic Detection of Material Properties. *JOM*, P. 24-29, October 1992.
4. SILVA JR., S.F. **Determinação de Tensões em Materiais Estruturais pelo Ensaio Magnetoelástico**, Tese de Doutorado. USP. 2005.