

Bolsista: Ricardo Ugliara Mendes Orientadora: Katia Lucchesi Cavalca

## FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

Agencia de fomento: CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

Atuador Magnético - Análise Modal - Excitação Sem Contato - Máquinas Rotativas

### Introdução

Com o desenvolvimento da Indústria surgiu a necessidade de um funcionamento seguro e confiável. Nesse sentido, a manutenção preditiva tem sido amplamente utilizada. A análise modal constitui uma técnica amplamente empregada no estudo dinâmico de estruturas, porém há uma limitação na análise de dinâmica de rotores a altas velocidades, que consiste no excesso de ruído gerado no contato da conexão da fonte de excitação externa com o rotor. Neste sentido, o atuador magnético surge como uma possível solução pois possibilita a excitação do sistema sem contato.

### Metodologia

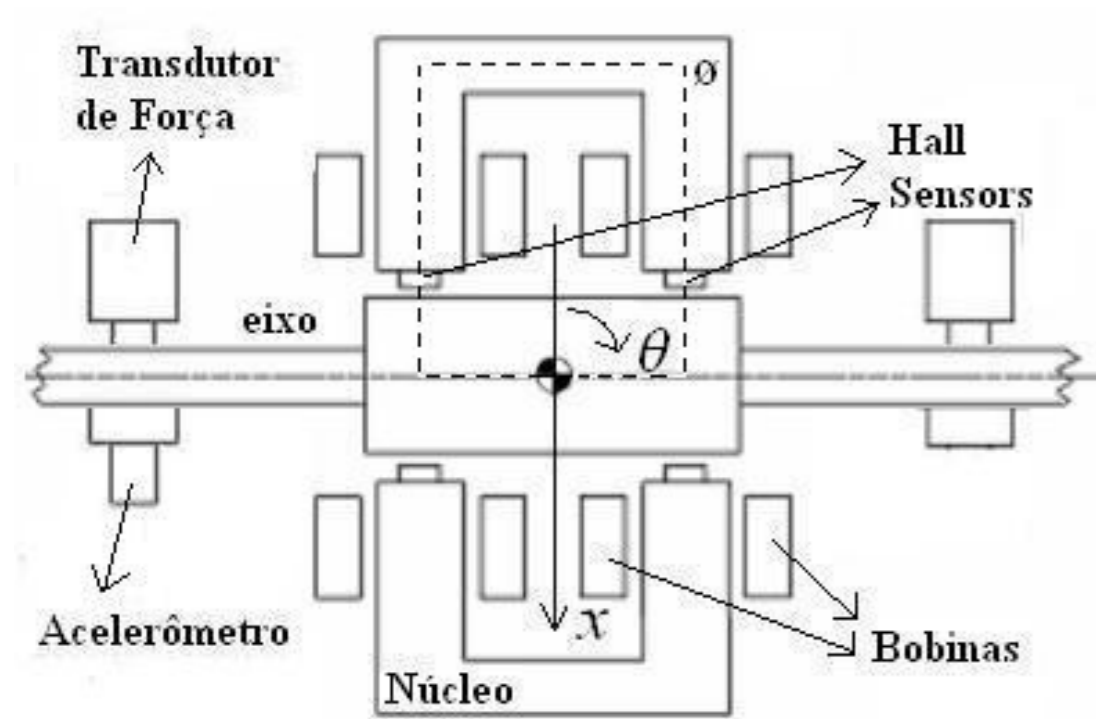


Figura 1 – Esquema do Atuador Magnético

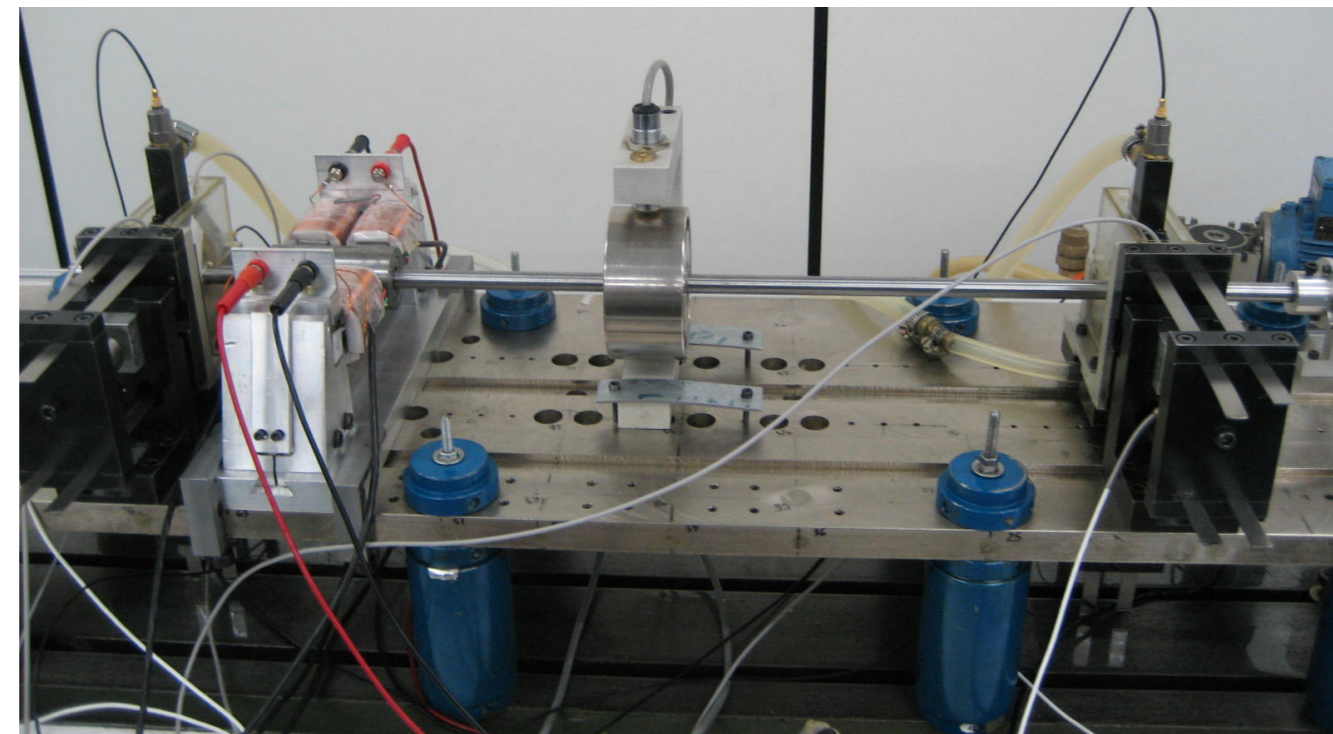


Figura 2 – Bancada utilizada em testes experimentais

A Figura 3 mostra o modelo completo do sistema, com cada um dos sub-sistemas elétrico, magnético e mecânico. Tendo como base os sistemas elétrico e magnético foi calculada a força exercida pelo atuador. Esta força é aplicada ao sistema mecânico com a finalidade de excitar a estrutura.

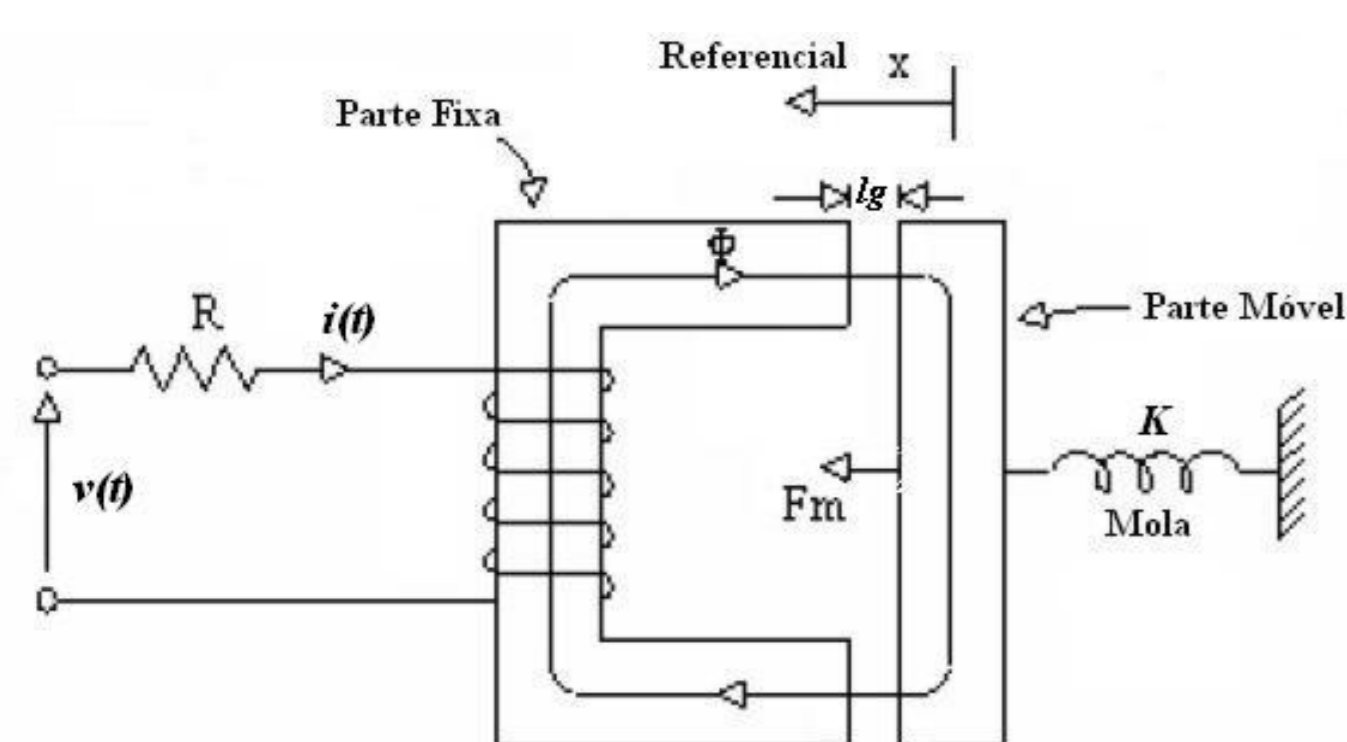


Figura 3 – Modelo do atuador magnético

Aplicando a Lei de Kirchhoff no sistema elétrico:

$$L \cdot \frac{di(t)}{dt} + Ri = V(t)$$

Empregando-se a Lei de Ampère no sistema magnético:

$$F = \frac{dW}{dg} = \frac{B^2 \cdot A}{\mu_g}$$

$$B = \frac{\mu_g \cdot N \cdot i}{2 \cdot l_g}$$

E a partir do sistema mecânico, utilizando a Lei de Newton:

$$M \ddot{x} + K \cdot x = F_m$$

Foi criado um modelo em elementos finitos do atuador utilizando-se o software Ansys. Com este modelo foi possível realizar estudos sobre a localização da bobina, a densidade de campo magnético e o valor da força magnética obtida. O modelo permite o cálculo da força por dois métodos: Tensor de Tensões de Maxwell (T.T.M.) e Princípio do Trabalho Virtual (P.T.V.).

A simulação do atuador magnético a partir dos modelos dos sub-sistemas foi feita em MatLab – Simulink. Em seguida foi utilizado um controlador proporcional para verificar sua influência no sistema.

### Resultados e Discussões

A Figura 4a mostra a densidade de campo magnético obtido com o atuador contendo uma bobina com N=830 espiras, localizada no braço direito do material magnético. A Figura 4b traz a mesma bobina, porém, distribuída igualmente nos dois braços do material magnético. Podemos observar que na Figura 4b a obtenção da força magnética ocorre de maneira uniforme, minimizando efeitos de momento em relação ao centro do atuador.

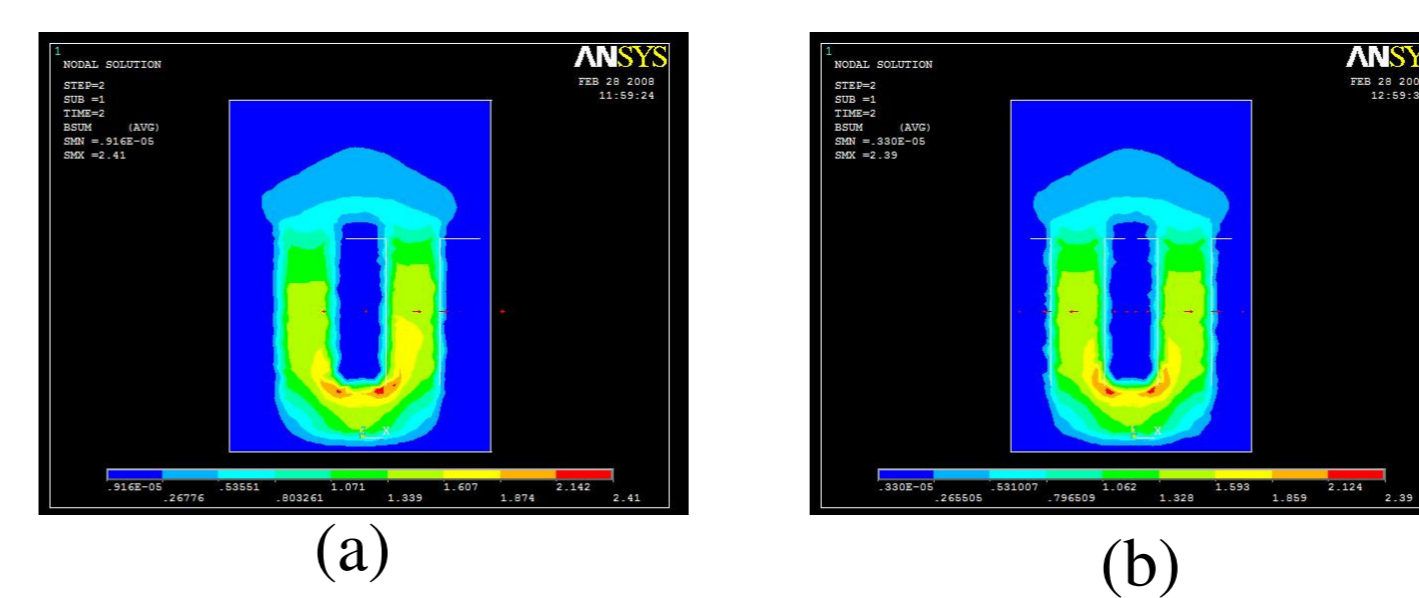


Figura 4 – Densidade de campo magnético: (a) bobina localizada no braço direito; (b) bobina igualmente distribuída em ambos os braços do núcleo.

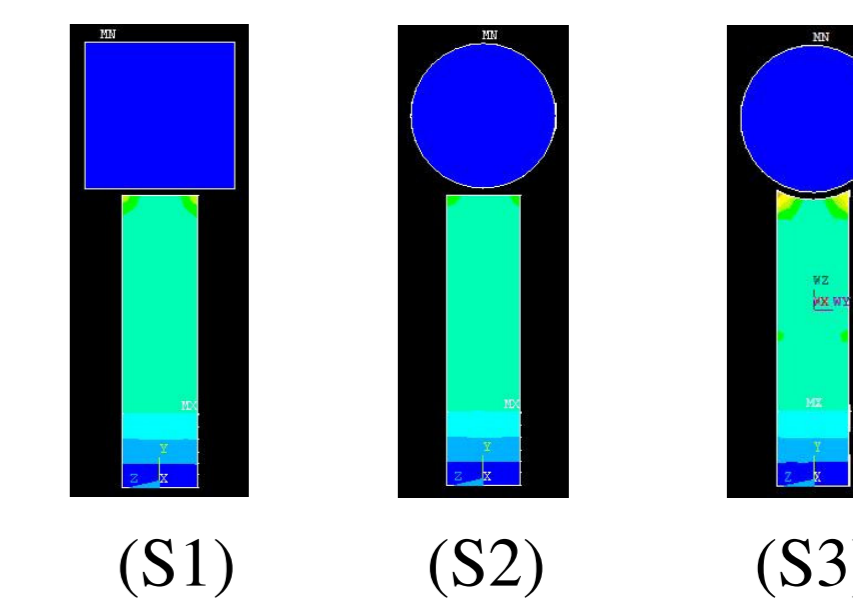


Figura 5 - Três diferentes condições de superfícies no cálculo da força magnética: (S1) plana – plana, (S2) plana – circular e (S3) circular – circular .

Tabela 1 - Influência do Perfil do Pólo no cálculo da força resultante

Geometria	(S1)	(S2)	(S3)
Força (N) - T.T.M.	219,21	94,33	178,99
Força (N) - P.T.V.	196,38	102,44	187,64
Força (N) - Equação	160,97	143,16	181,23

O caso (S3) apresentou melhor estimativa da força magnética, empregando-se a equação, quando comparada aos valores obtidos na simulação numérica.

A densidade de campo magnético foi obtida utilizando sensores de efeito hall. Para analisar a influência da posição dos sensores, foi feito um mapeamento do pólo magnético. Em todas as geometrias foi observado o efeito de borda. Na geometria S2 o fluxo magnético é maior no centro do pólo pois nessa região o air-gap é menor. Como a geometria S3 foi utilizada, uma análise realizada no centro de seu pólo revelou que o erro máximo na estimativa da força utilizando o maior e o menor valor para o campo magnético foi de aproximadamente 12%.

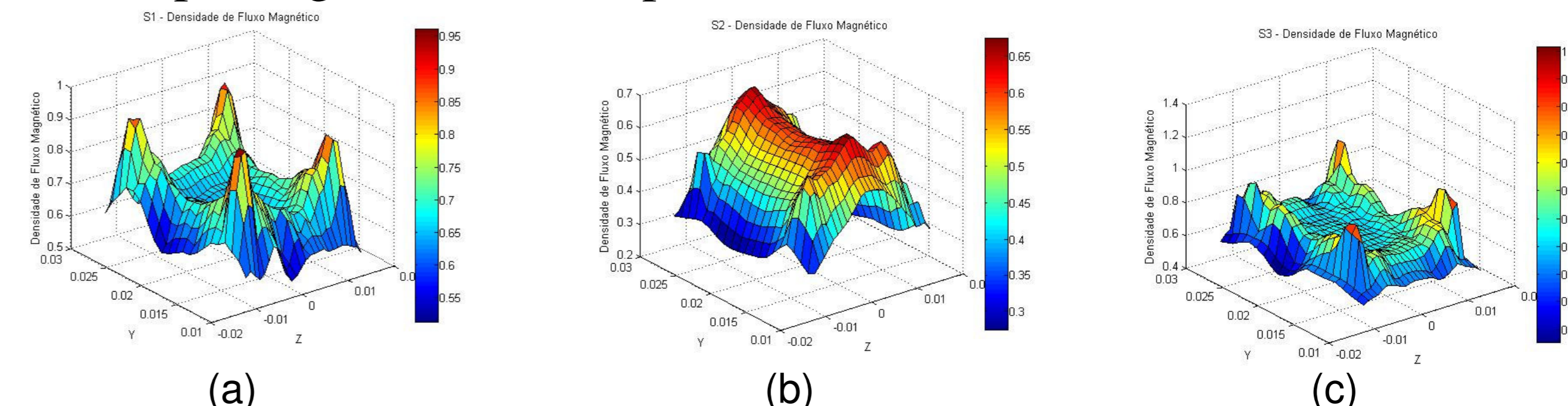


Figura 6 – Mapeamento da densidade de fluxo magnético para as 3 geometrias simuladas: (a) Geometria S1, (b) Geometria S2, (c) Geometria S3.

O modelo em MatLab – Simulink obteve uma banda de passagem de 112 Hz. O controlador proporcional melhorou parâmetros de desempenho do sistema como tempo de subida, tempo de acomodação e erro estacionário.

### Conclusões

Os resultados simulados mostram que a disposição das bobinas e o formato do pólo do atuador têm grande influência no cálculo da força magnética. O mesmo pode ser dito para a região de medição do campo magnético. Neste sentido, o sistema que apresentou melhores resultados foi o atuador com as bobinas distribuídas igualmente em ambos os lados e a configuração circular-circular para a interação pólo do atuador e luva. Além disso, há indicação de que a região central do pólo é a localização mais indicada para o posicionamento do sensor hall para medição do campo magnético. O controlador se mostrou importante na medida em que melhora sensivelmente o desempenho do sistema, principalmente se o atuador magnético for utilizado em operações de frequência muito elevada.

### Referências Bibliográficas

- CASTRO, H.F., FURTADO, R.M., CAVALCA, K.L., PEDERIVA, R., BUTZEK, N. and NORDMANN, R., 2007. “Experimental Performance Evaluation of Magnetic Actuator used in Rotating Machinery Analysis. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Science & Engineering. January-March 2007, Vol. XXIX, No. 1/93.
- CHIBA, Akira et al., 2005. “Magnetic Bearings and Bearingless Drives”. Oxford: Elsevier.