Análise de Vibrações Magnéticas em Motores Elétricos de Indução Trifásicos

Márcia Tadeu de Almeida
Ricardo Damião Sales Góz
Professores da Escola Federal de Engenharia de Itajubá (Brasil)

resumo

Este artigo apresenta um estudo sobre diagnose de defeitos em motores eléctricos, através da análise espectral de vibrações e da corrente eléctrica no estator. A filosofia e vantagens práticas deste tipo de monitoramento foram comprovadas experimentalmente por várias análises realizadas pelos autores na RHODIA - BRASIL (Almeida [1]).

Magnetic Vibration Analysis in Tree-Phase Induction Electrical Motors

summary

This paper is a study about troubleshooting in electrical motors, using spectral analysis of both vibration and the stator electrical current. The philosophy and practical advantages of this kind of monitoring were comproved experimentaly through various analyses made by the authors to RHODIA-BRASIL - Almeida [1]).

Introdução

Os resultados e casos práticos estudados e apresentados neste artigo verificaram que o monitoramento do espectro de corrente das três fases de um motor de indução assíncrono tem grande aplicabilidade na deteção de barras quebradas na gaiola. O sucesso da diagnose é baseado na combinação da análise de corrente e da vibração na carcaça do motor (Thomson [2]).

A figura 1 apresenta uma foto das partes de um motor de indução trifásico.

Análise de corrente

Observando o circuito simplificado do motor, como representa a figura 2,

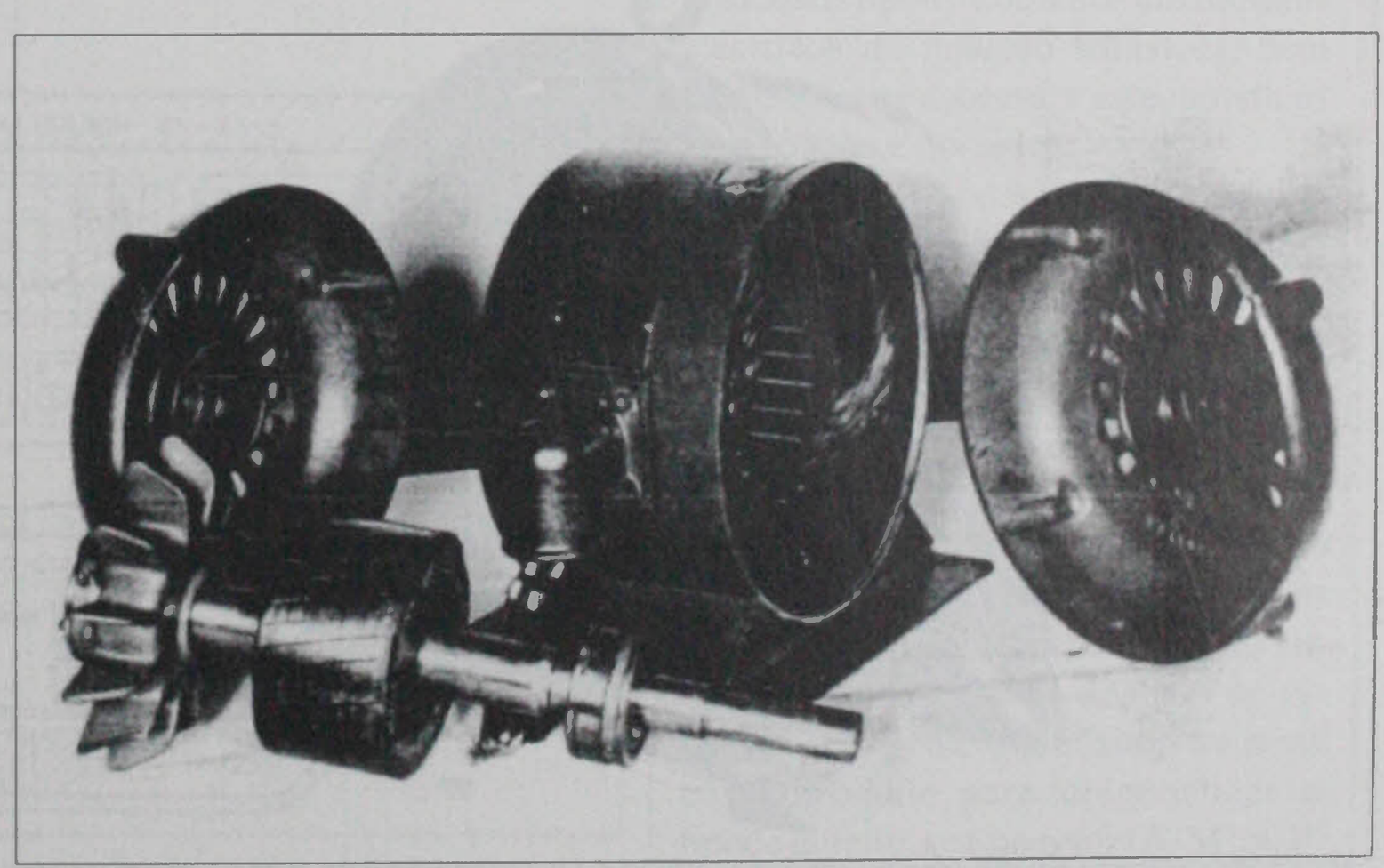

Fig. 1 - Partes de um pequeno motor de indução trifásico com gaiola de esquilo.

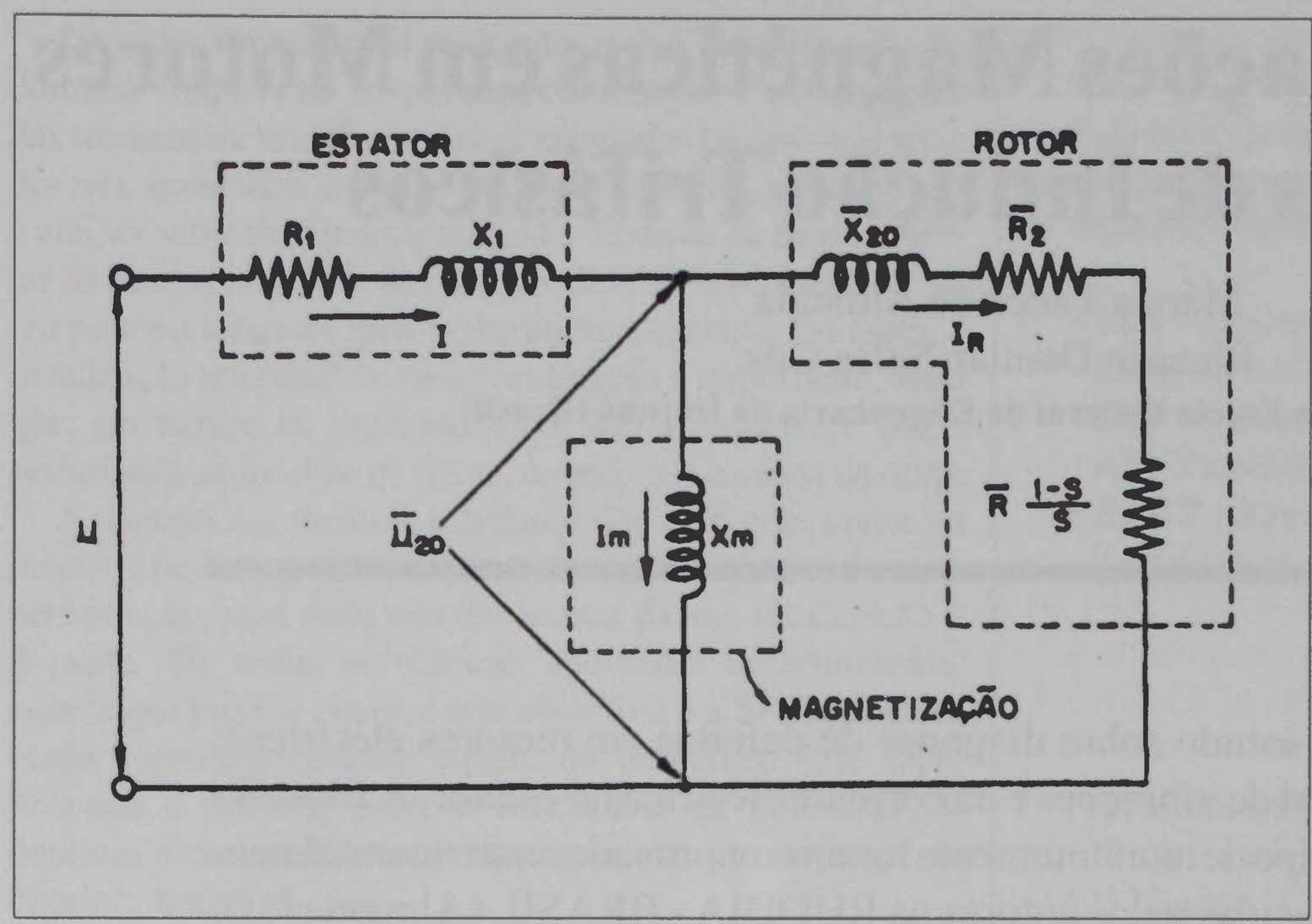

Fig. 2 - Circuito simplificado do motor.

U - Tensão do estator
U_{20} - Tensão no rotor
I - Corrente do estator
R_1 - Resistência do estator
X_1 - Reatância do estator
X_{20} - Reatância do rotor
R_2 - Resistência do rotor
I_2 - Corrente no rotor
X_m - Reatância de magnetização
I_m - Corrente de magnetização
S - Escorregamento unitário

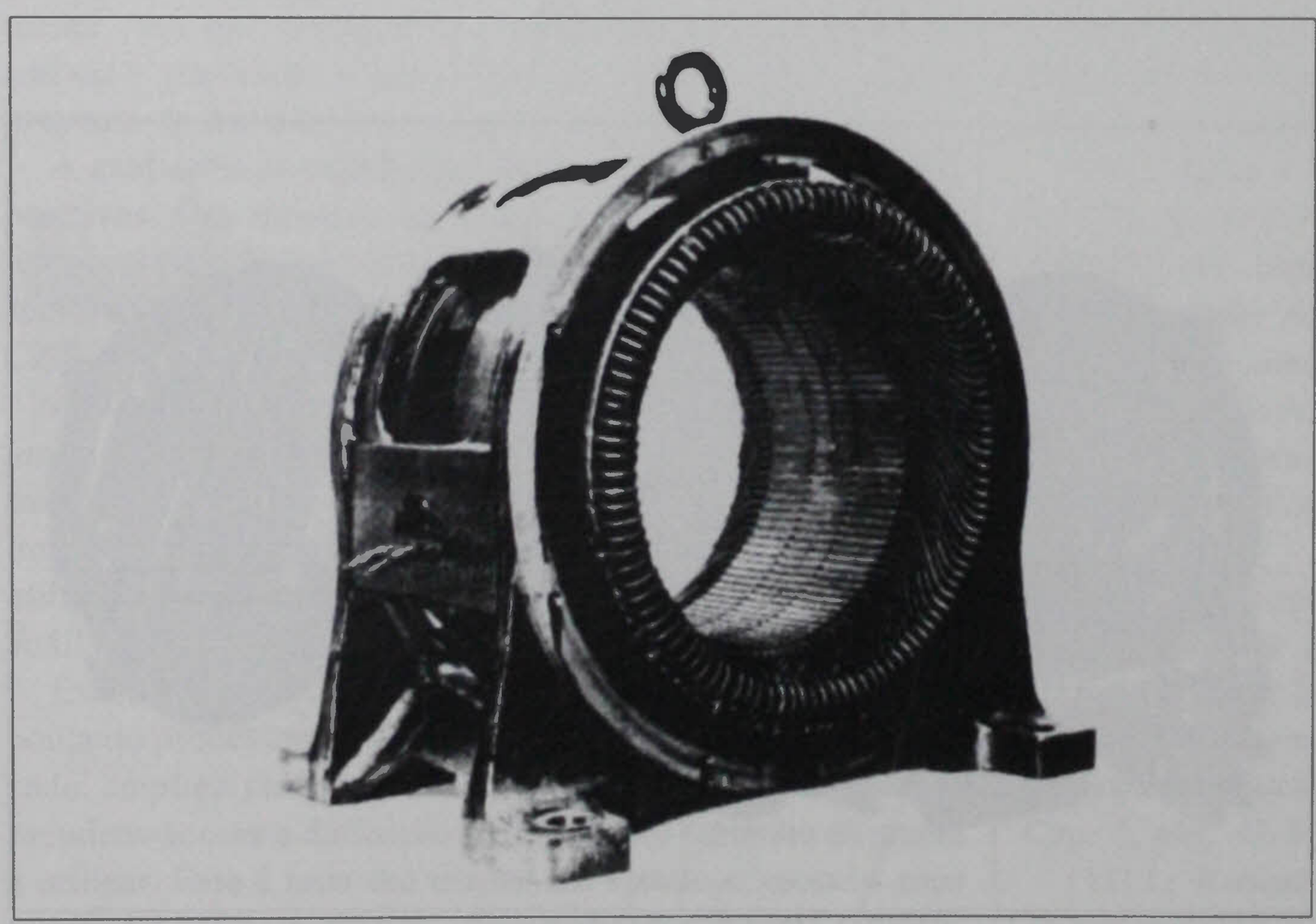

Fig. 3 - Estator de um motor de indução de tamanho médio.

pode-se concluir que se for mantida a tensão U no estator, a corrente I no estator será perturbada (modulação) se ocorrer variação em qualquer uma das impedâncias equivalentes do circuito (Cameron) [3].

Deste estudo pode-se concluir:

a) Problemas no **estator** (Fig. 3), tais como desbalanceamento de forças magnéticas (curtocircuito em rolamentos), variam a impedância equivalente do estator Z_E e consequentemente o sinal da corrente I.
b) Problemas na **indução magnética** (Fig. 4), tais como variações no gap de ar (folga) provocadas por excentricidade do rotor e estator ovalizado, variarão a impedância magnética equivalente Z_M e consequentemente a forma do sinal da corrente I.
c) Problemas no **rotor** (fig. 5), tais como barras da gaiola quebradas ou trincadas, alterarão a impedância equivalente do rotor Z_R e consequentemente o sinal correspondente a corrente no estator I.

Portanto, medindo e analisando as oscilações (modulações em torno da frequência fundamental da rede (60 Hz no Brasil) na corrente do estator I é possível diagnosticar defeitos nos elementos do motor. Posteriormente, será visto que estas alterações na corrente induzem desequilíbrio nas forças magnéticas dentro do motor; a resultante destas forças, por sua vez, interage com a estrutura do motor elétrico (carcaça), que responde na forma de vibração mecânica. Baseando-se nestas hipóteses, a análise espectral da vibração na carcaça ou mancais do motor e análise espectral do sinal da corrente no estator são ferramentas poderosas para um **Programa de Manutenção Preditiva de Motores Eléctricos**. A figura 6 mostra o esquema para medida da corrente e de vibração num motor.

Vibrações Magnéticas em Motores de Indução

A vibração causada por problemas eléctricos é normalmente o resultado de

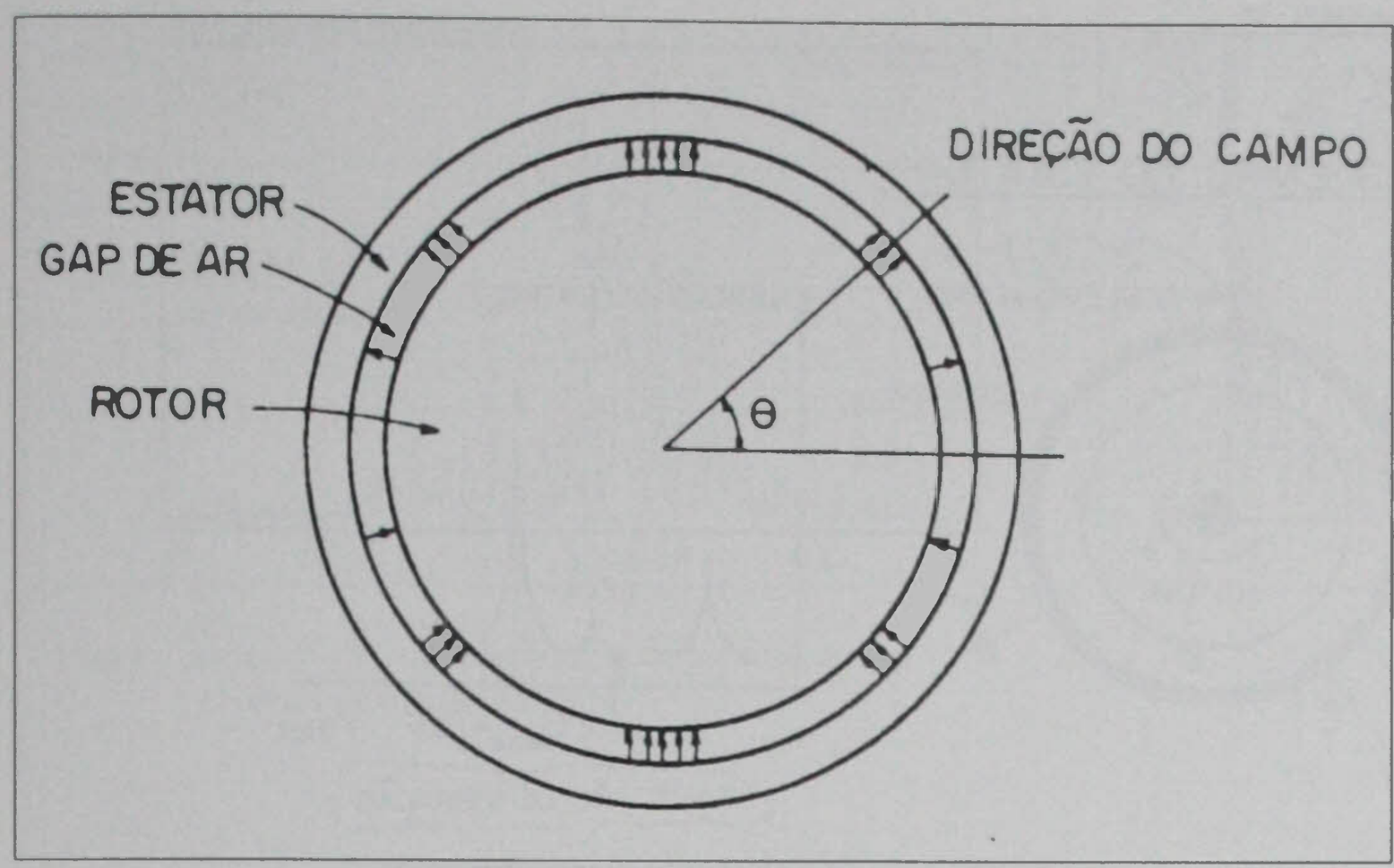

Fig. 4 - Gap de ar entre rotor e estator.

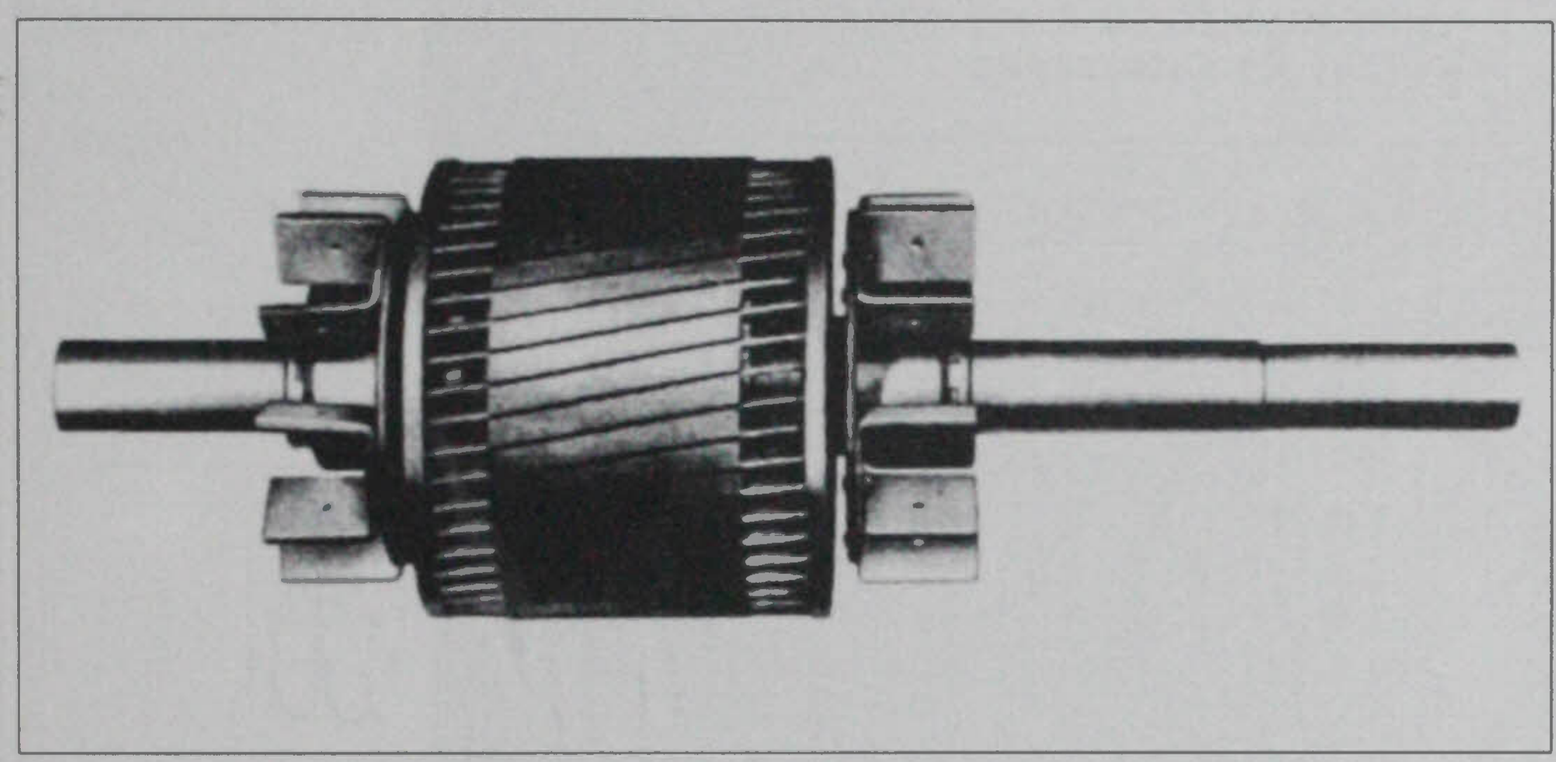

Fig. 5 - Rotor em gaiola de esquilo com barras profundas.

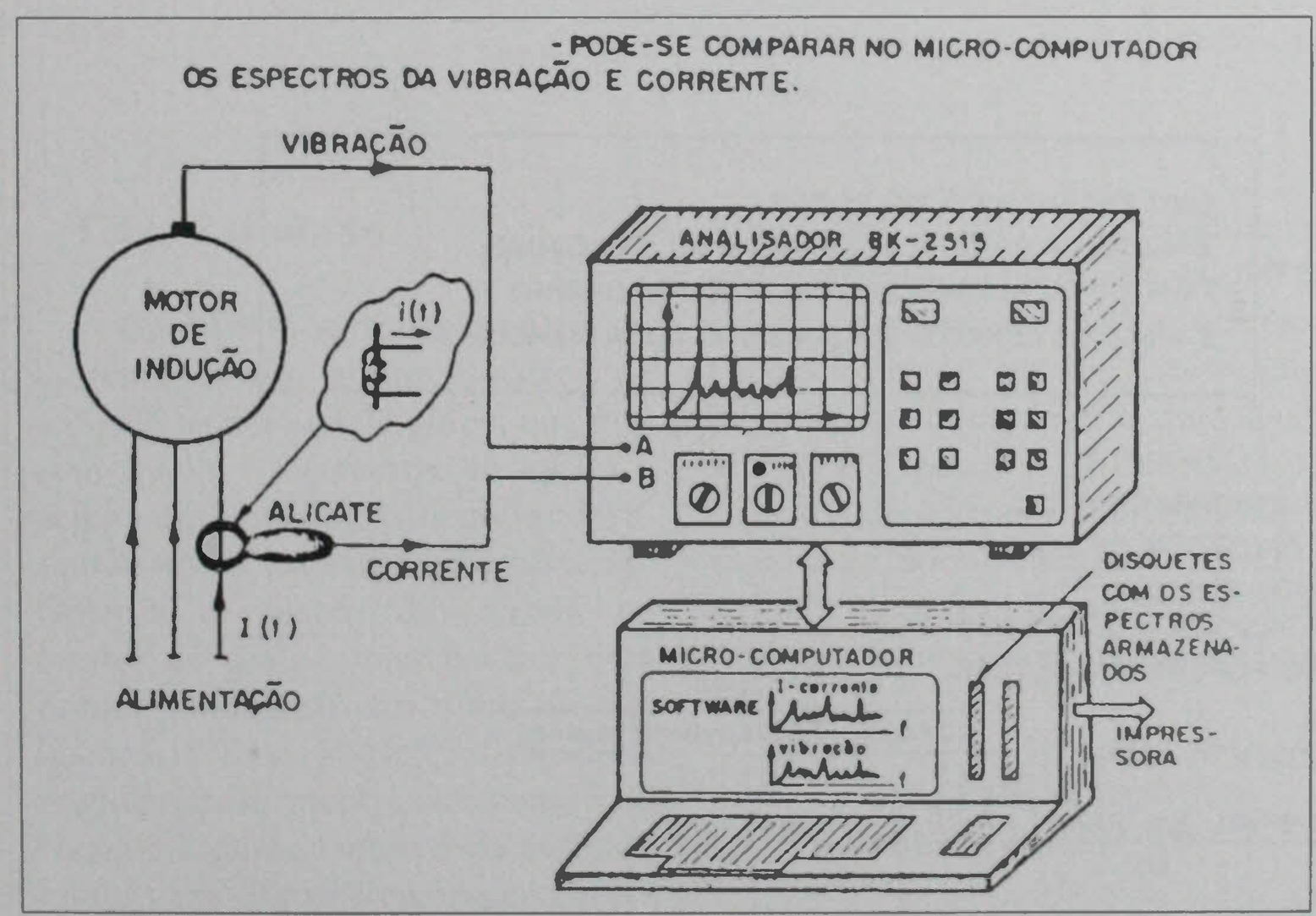

Fig. 6 - Esquema para análise de vibrações em motor eléctrico através dos espectros de vibração e corrente.

forças magnéticas desequilibradas, que agem sobre o rotor ou estator. Esse desbalanceamento das forças magnéticas pode ser devido a:

1) Mancais do eixo do rotor de excêntricos.
2) Rotor e estator desalinhado (isto é, o rotor não centrado no estator).
3) Furo do estator elíptico.
4) Barras da gaiola trincadas ou quebradas.
5) Curtocircuito nos enrolamentos do estator.

Geralmente, a frequência de vibração relacionada com defeitos no rotor, quando a **resultante das forças magnéticas gira**, é 1 vezes a rotação nominal do rotor, e quase sempre ladeada por bandas laterais com um espaçamento igual a 2 vezes a frequência de escorregamento do rotor (sinal em ***Amplitude Modulada***). Já os problemas relacionados com defeitos no estator, quando a **resultante das forças magnéticas não gira**, aparece numa frequência que é duas vezes a frequência da rede, ou seja, 120 Hz no Brasil (Fig 7):

2 x frequência de escorregamento = = n.º polos x escorregamento em Hz

escorregamento em Hz =
= (rotação síncrona rpm - rotação nominal rpm)/60

Na figura 7 tem-se um esquema dos principais tipos de defeitos em motores eléctricos de indução trifásicos, bem como os seus espectros característicos de vibração e corrente.

Quando temos desequilíbrio magnético no motor, em que a resultante magnética gira, barras quebradas por exemplo, a corrente no estator *I* (cuja frequência é 60 Hz) fica modulada por uma frequência duas vezes a frequência de escorregamento (Fig. 8), portanto, o espectro da corrente será de A. M. ou F. M., ou seja, um componente central em 60 Hz e duas ou mais bandas laterais em 2 x F_s. Combinando as análises de vibração e corrente poderemos ter mais confiabilidade para diagnosticar o tipode defeito, se é no rotor (A. M. ou F. M.) ou se é no estator (120 Hz) – veja Figura 7.

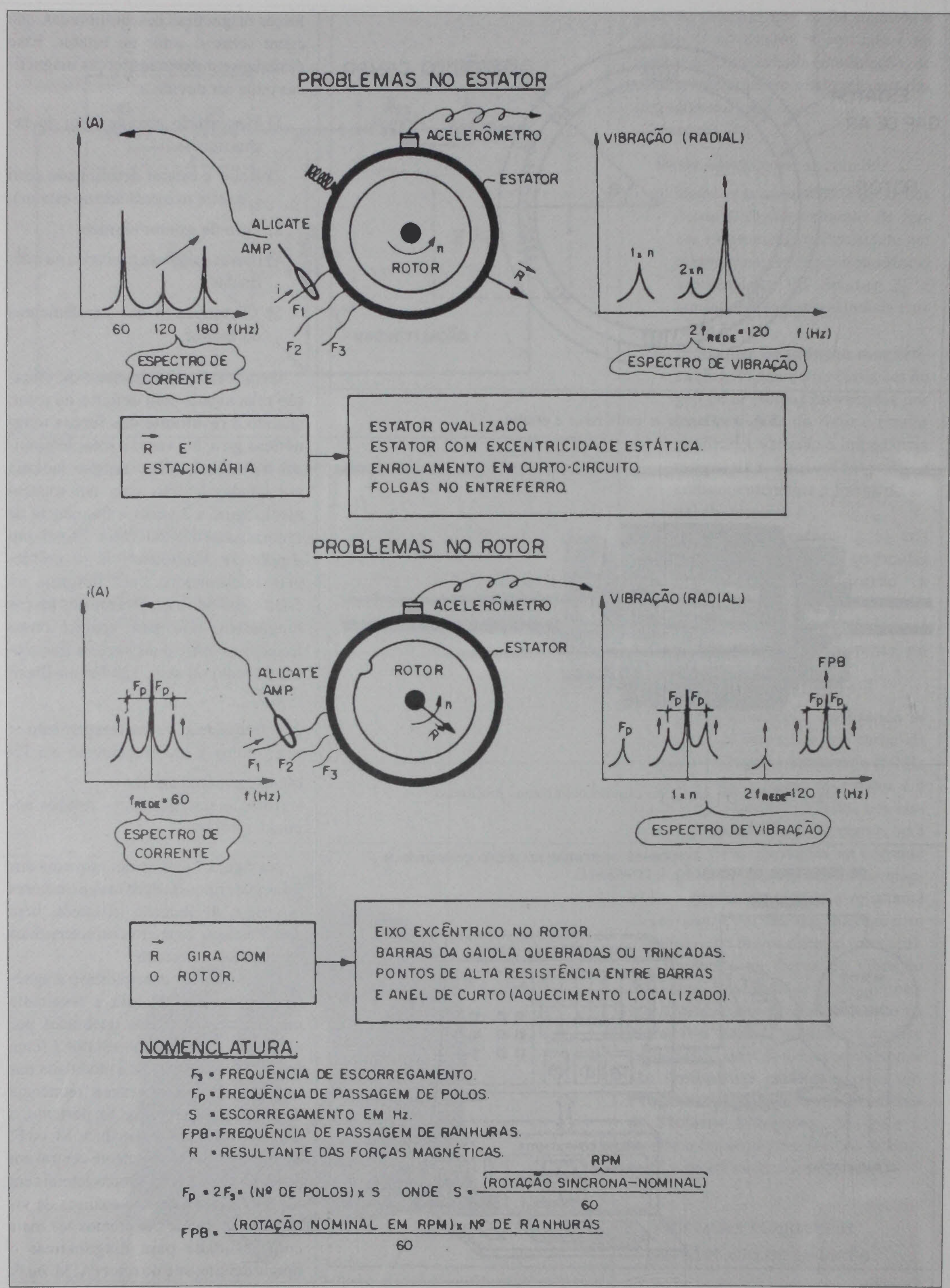

Fig. 7 - Principais fontes de vibrações em motores de indução assíncronas e seus respectivos espectros.

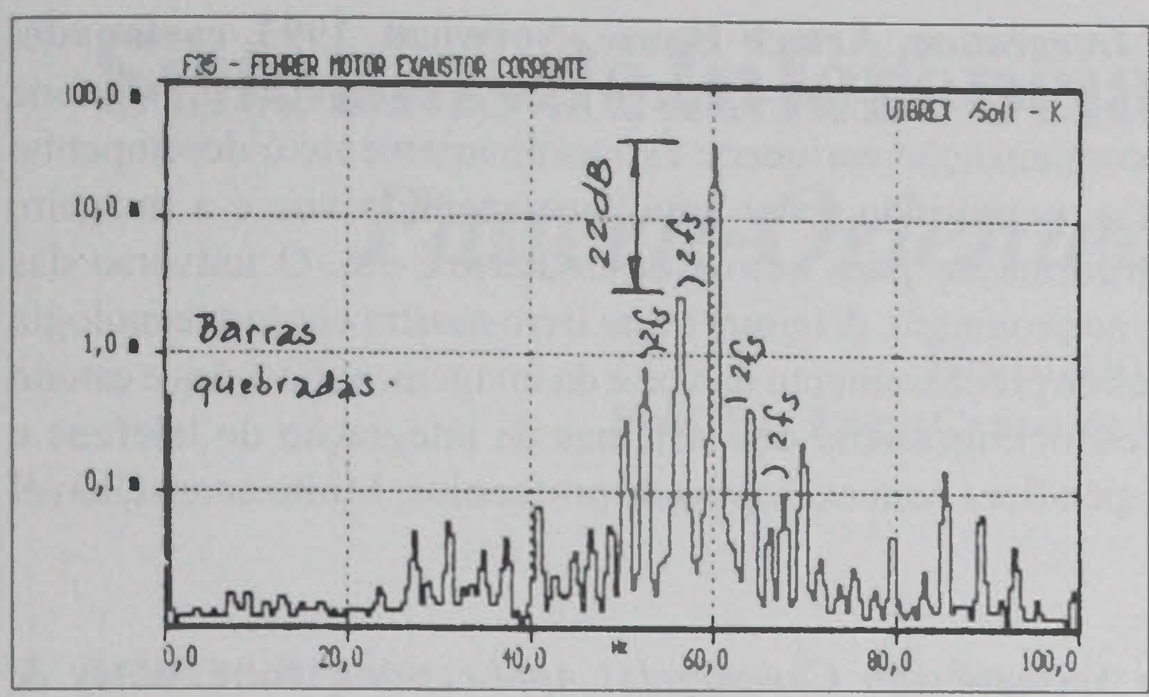

Fig. 8 - Espectro de corrente indicando modulação em F. M. - barras quebradas na gaiola .

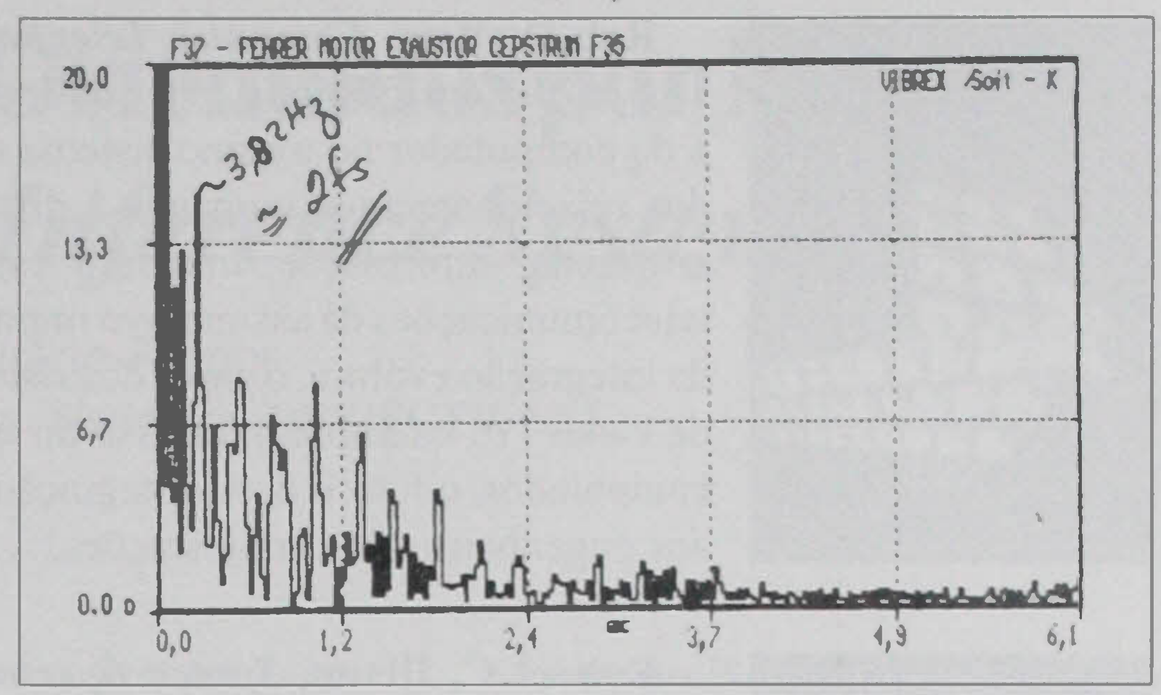

Fig. 9 - CEPSTRUM do espectro de corrente confirmando a família de bandas laterais.

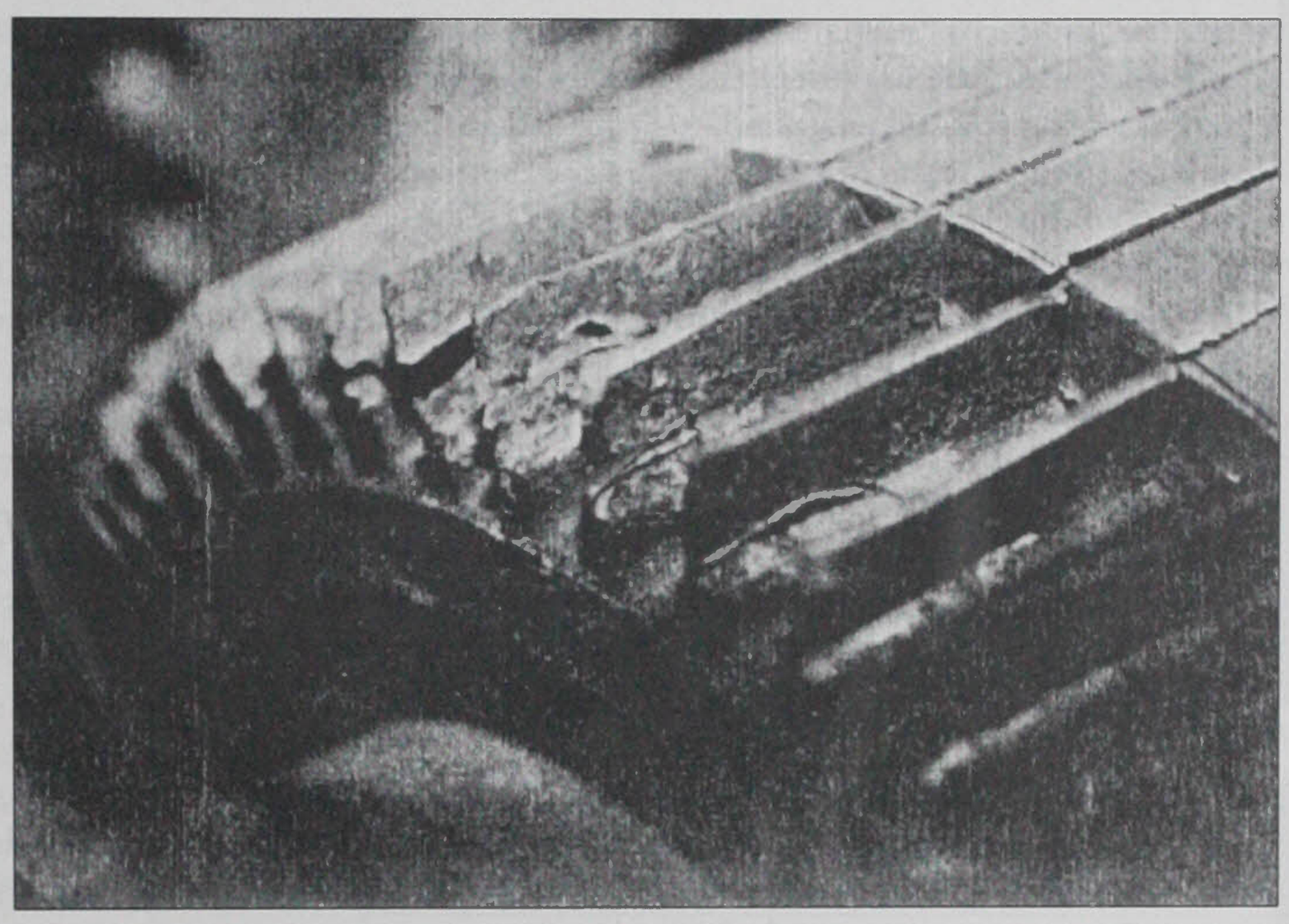

Fig. 10 - Aspecto do rotor, mostrando as barras danificadas.

Caso Estudado

A figura 8 mostra um espectro de corrente de um motor eléctrico de indução trifásico de 4 pólos, que gira com 29,03 Hz (medida no local) e aciona um exaustor. Este motor apresentou níveis excessivos de vibração. Obtendo o espectro de corrente no estator do motor, encontramos uma grande modulação em torno da frequência da rede (60 Hz). A frequência moduladora foi identificada como 3,88 Hz, que é igual ao número de pólos do motor vezes o escorregamento em Hz do motor: $2f_s = 4\ (30 - 29{,}03) = 3{,}88$ Hz. O problema foi diagnosticado como sendo no rotor e provavelmente seriam barras quebradas na gaiola. O motor foi aberto na oficina e foram encontradas 16 barras danificadas (algumas quebradas outras trincadas). A figura 9, mostra o CEPSTRUM do espectro de corrente, confirmando a família de modulações em 3,88 Hz, e a figura 10 mostra uma fotografia do rotor do motor com as barras quebradas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] M.T. Almeida, R.D.S. Góz, *"Curso de Vibrações em Motores Eléctricos"*, FUPAI (1992), Itajubá, MG.

[2] W.T. Thompson, D. Raning, *"On line current monitoring fault diagnosis in hv induction motors - Case histories and cost savings in offshore installations"*, Offshores Europe 87, Aberdeen, U.K., September, 1987.

[3] J. R. Cameron, *"Vibration and current monitoring for on-line detection of air-gap eccentricity in induction motors"*, Ph D. Thesis (CNAA), Robert Gordon's Institute of Technology, March 1987, England. ■