

Tratamento metrológico em ensaios de rendimento de máquinas rotativas

Marcelo Assis de Faria Ribeiro¹

¹ Furnas Centrais Elétricas S.A;

E-mail: mribeiro@furnas.com.br

Resumo: O artigo proposto tem como objetivos principais, apresentar as ferramentas estatísticas e o tratamento metrológico aplicado ao ensaio de “Determinação do Rendimento de Máquinas Rotativas pelo método calorimétrico por perdas segregadas” envolvidas no processo de geração. Os tipos de perdas avaliadas neste ensaio são: perdas por atrito e ventilação, perdas no ferro, mancais e sistema de resfriamento, perdas no cobre do estator/rotor, sistema de excitação e perdas adicionais. Especificamente, esta metodologia, baseada em referências normativas, foi aplicada à Unidade Geradora de número 6 com capacidade nominal de 160 MVA da Usina de Furnas situada em São José da Barra-MG.

Palavras-chave: Eficiência; Separação de perdas; Incerteza das Medições.

Abstract: The main objective of the proposed article is to present the statistical tools and the metrological treatment applied to the test of "Determination of the yield of rotary machines by the calorimetric method for segregated losses" involved in the generation process. The types of losses evaluated in this test are: friction and ventilation losses, losses in the iron, bearings and cooling system, losses in stator/rotor copper, excitation system and additional losses. Specifically, this methodology, based on normative references, was applied to the Generating Unit number 6 with a nominal capacity of 160 MVA of the Furnas Plant located in São José da Barra-MG.

Keywords: Efficiency. Separation of losses. Uncertainty of Measurements.

1. INTRODUÇÃO

O trabalho proposto tem como objetivos principais, apresentar as ferramentas estatísticas e o tratamento metrológico aplicado ao ensaio de “Determinação do Rendimento de Máquinas Rotativas pelo método calorimétrico por perdas segregadas” envolvidas no processo de geração. Os tipos de perdas avaliadas neste ensaio são: perdas por atrito e ventilação, perdas no ferro, mancais e sistema de resfriamento, perdas no cobre do estator/rotor, sistema de excitação e

perdas adicionais. Especificamente, esta metodologia, baseada em referências normativas, foi aplicada à Unidade Geradora de número 6 (UG#06) com capacidade nominal de 160 MVA da Usina de Furnas situada no município de São José da Barra-MG. A avaliação dos resultados experimentais foram comparados com os valores de rendimento fornecido pelo fabricante do gerador por meio do tratamento estatístico destes dados acompanhados da incerteza das medições para uma probabilidade de abrangência de 95,45%. Finalmente, os resultados, compostos do

valor médio do rendimento e da sua respectiva incerteza de medição, serão avaliados tomando-se como referência, os valores da curva de rendimento *versus* carga fornecida pelo fabricante.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O ensaio de rendimento foi realizado de acordo com as normas IEC 60034-2-1, IEC 60034-2-2, IEEE STD-115, NBR-5052 e com o plano de ensaio dos geradores (protocolo 02.00-3-0103-6), contido no manual de comissionamento da Unidade Geradora. O método escolhido foi o Método Calorimétrico por Perdas Segregadas. Os mensurandos avaliados são: as perdas segregadas e o rendimento global da unidade geradora.

O rendimento percentual de um gerador pode ser calculado como a razão entre a sua potência de saída e a soma da potência de saída e suas perdas segregadas, conforme mostra (1).

$$\eta = \frac{P_{saída}}{P_{saída} + \sum_{perdas}} \cdot 100 \quad (1)$$

2.1. Metodologia de análise de dados

Fisicamente, por mais bem feita que seja uma medição, não se pode medir uma grandeza com precisão absoluta. Sempre há uma região de dúvida em torno do valor médio de um resultado experimental caracterizada pela incerteza expandida da medição ($U_{95,45\%}$). Esta componente corresponde à incerteza combinada (u_c) da ação conjunta de todas as fontes de incerteza, multiplicada pelo fator de abrangência (k) da tabela t-Student conforme (2).

$$U_{95,45\%}(y) = k \cdot u_c(y) \quad (2)$$

Onde:

$U_{95,45\%}$ = estimativa da incerteza expandida da medição para cada condição de carga para uma probabilidade de abrangência de 95,45%.

A análise dos resultados foi realizada tomando-se como valor de referência os fornecidos pelo fabricante para as condições de carga de 100, 120 e 160 MVA. O resultado final do rendimento para cada condição de carga (η_i) será apresentado da seguinte forma:

$$\eta_i = \bar{\eta}_i \pm U_{95,45\%} \quad (3)$$

Avaliou-se também a contribuição individual do instrumental utilizado na incerteza por cada tipo de perda jólica.

3. RESULTADOS

Para efeito de avaliação dos resultados, foram tomados como referência os valores de rendimento fornecidos pelo fabricante, quais sejam: 98,00%, 98,27%, para as condições de carga de 120 e 160 MVA, respectivamente. Os resultados serão apresentados utilizando-se das seguintes nomenclaturas:

Giro 1 - Giro com velocidade nominal sem excitação, para obtenção das perdas por atrito e ventilação.

Giro 2 - Giro com velocidade nominal em vazio e excitada a tensão nominal, para obtenção das perdas no ferro.

Giro 3 - Giro com velocidade nominal, com terminais de saída do estator curto-circuitados, excitada até a corrente do estator nominal, para obtenção das perdas no cobre no estator e perdas adicionais.

3.1. Resultados para o Giro 1

A figura 1 sintetiza a contribuição percentual e individual dos instrumentos utilizados para avaliação das perdas por atrito e ventilação.

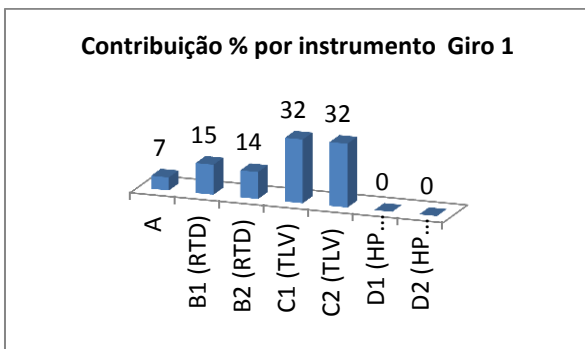


Figura 1 – Contribuição percentual da incerteza final por instrumento nas perdas por atrito e ventilação no Giro 1.

Tabela 1 – Rendimento para condição de carga 100 MVA.

Símbolo	Valor	$U_{95,45\%}$	Resultado
Perdas Totais (W)	2049762	11841	(2,05 ± 0,12) MW
P. de Entrada (W)	105872840	589044	(105,87 ± 0,59) MW
η %	98,064	0,016	(98,064 ± 0,016)%
η % teórico	-	-	-

3.2. Resultados para o Giro 2

Além das perdas do Giro 1 (perdas por atrito e ventilação), a figura 2 sintetiza as perdas no circuito de campo por tipo de instrumento do Giro 2 para condição de carga de 120 MVA.

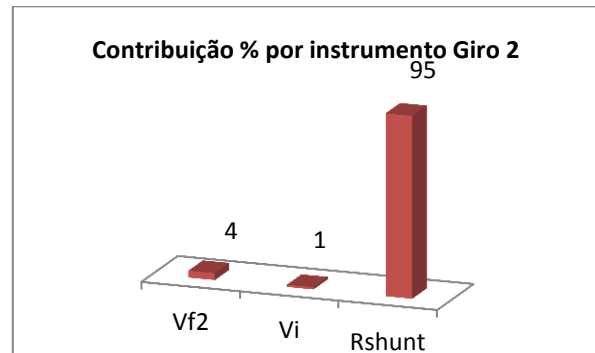


Figura 2 - Contribuição percentual da incerteza final por instrumento nas perdas no circuito de campo no Giro 2.

Tabela 2 – Rendimento para condição de carga 120 MVA.

Símbolo	Valor	U_{exp} (W)	Resultado
Perdas Totais (W)	2126309	26543	(2,13 ± 0,26) MW
P. de Entrada (W)	119731451	670178	(119,73 ± 0,67) MW
η %	98,224	0,024	(98,224 ± 0,024)%
η % teórico	98,000	-	-

3.3. Perdas Totais e Rendimento

A tabela 3 contém os valores dos rendimentos para a condição de carga de 160 MVA com velocidade nominal com excitação, para obtenção das perdas por atrito e ventilação e perdas no circuito de campo.

Tabela 3 – Rendimento para condição de carga 160 MVA.

Símbolo	Valor	U_{exp}	Resultado
Perdas Totais (W)	2492755	30253	(2,49 ± 0,30) MW
P. Entrada (W)	157101326	880249	(157,10 ± 0,88) MW
η %	98,413	0,021	(98,413 ± 0,021)%
η teórico	98,270	-	-

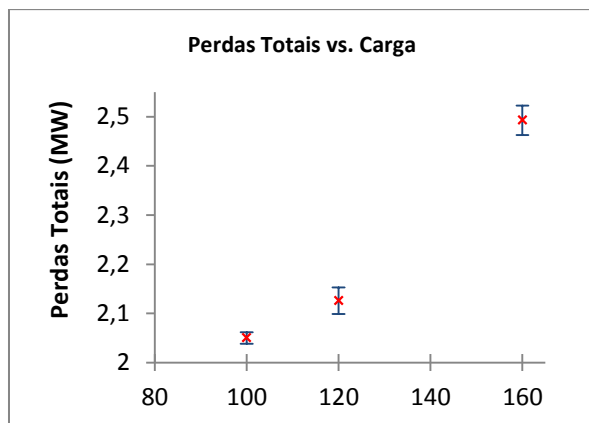


Figura 3 - Contribuição percentual por instrumento nas perdas no circuito de campo no Giro 3.

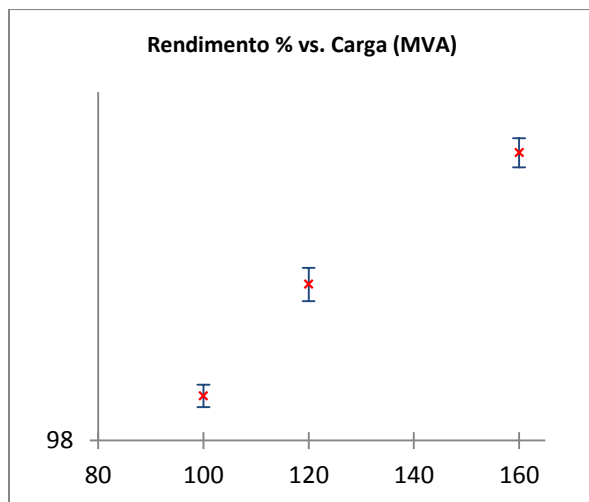


Figura 4 – Rendimento da UG por condição de carga.

4. CONCLUSÃO

Para determinação do rendimento pelo método das perdas segregadas, recomenda-se do ponto metrológico, que os termômetros de líquido em vidro (TLV) sejam substituídos por outro sistema de medição de temperatura, preferencialmente por medidores digitais com alta resolução (contagens) e boa classe exatidão. Por se tratar de um instrumento analógico, a resolução deste artefato contribui de maneira majoritária no processo de medição e do cálculo de incerteza

propriamente dito. O resistor *shunt*, utilizado para medição indireta da corrente do circuito de campo, possui alto coeficiente de sensibilidade. Portanto, pequenas variações na leitura da diferença de potencial, provocam um aumento significativo na contribuição de incerteza. Antes da tomada a decisão de substituir o método de medição indireta, é necessário realizar um estudo mais criterioso, a menos que esteja disponível um sistema de medida direta da corrente de campo com exatidão superior ao utilizado atualmente. A segregação das perdas para o método calorimétrico permite que sejam realizadas análises criteriosas sobre a condição de funcionamento da unidade geradora sob ensaio. A partir do armazenamento do resultado de um ensaio realizado, é possível analisar, em avaliações futuras, se houve alguma mudança significativa em algum tipo específico de perda e atuar preventivamente na manutenção do equipamento.

5. REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5383-1: Máquinas elétricas girantes. Parte 1: Motores de Indução trifásicos – Ensaio, Rio de Janeiro, 2002.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, IEC 60034-2-2:2010: Part 2-2 - Specific methods for determining separate losses of large machines from tests - Supplement to IEC 60034-2-1, Genebra – Suíça, 2010. de to the expression of uncertainty in measurement, 2008. <http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/gum_final.pdf>. Acesso em: jun. de 2017.

KOSOW, Irwing L. Máquinas elétricas e transformadores, Tradução de Felipe Luiz Ribeiro Daiello e Percy Antonio Pinto Soares, 14 ed, – São Paulo: Globo, 2000. Título original Electric Machinery and Transformers.