

ENERGIA NA AGRICULTURA

ESTUDO COMPARATIVO DE MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DO CARREGAMENTO E RENDIMENTO DE MOTORES ELÉTRICOS PARA AUDITORIA ENERGÉTICA

Saulo Campana¹, Dely Oliveira Filho², Antônio Alves Soares³ & Rubens Alves de Oliveira⁴

RESUMO

Este artigo investiga a precisão de três métodos indiretos para a determinação do índice de carregamento e rendimento de motores elétricos. Determinou-se o erro da estimativa do índice de carregamento e rendimento de motores elétricos pela média aritmética e geométrica das correntes e pela média aritmética dos fatores de potência. Mostrou-se, também, a importância da determinação do decréscimo do rendimento de motores elétricos, decorrente da variação de tensão da rede elétrica. Verificou-se que a estimativa do índice de carregamento e do rendimento dos motores elétricos por meio da medição do fator de potência médio aritmético apresentou resultados com maiores erros percentuais, 24,5% e 2%, respectivamente; já estas estimativas apresentaram, pelos métodos da corrente média aritmética e média geométrica, resultados semelhantes entre si e com erros percentuais significativamente inferiores aos resultados anteriores, ou seja, 6,2% e 1%, respectivamente.

Palavras-chave: auditoria energética, rendimento, índice de carregamento e motores elétricos

COMPARATIVE STUDY FOR ESTIMATION OF THE LOAD AND PERFORMANCE OF ELECTRIC MOTORS FOR ENERGY AUDIT

ABSTRACT

This article investigates the precision of methods for the load and efficiency estimate of electric motors. The error was determined by the estimate of load and efficiency of electric motors using the arithmetic and geometric average of the currents and the arithmetic average of the power factor in each phase. The importance was shown of the determination of the decrease in the electric motors' performance due to the variation of feeder tension, when the motors' load and performance evaluation in the load condition is performed. It was verified that the estimate of the electric motors' load and performance by the arithmetic average power factor, presented results with larger errors, that is, 24.5% and 2%, respectively. These estimates by the arithmetic and geometric average current method presented similar results to each other and with percentage errors significantly inferior to the previous results, that is, 6.2% and 1%, respectively.

Key words: energy audit, performance, load and electric motors

Recebido em 19/10/1999, Protocolo 120/99

¹ Engenheiro Agrícola, M.Sc. em Energia na Agricultura, Depto. de Eng. Agrícola Universidade Federal de Viçosa. CEP 36.571 - 000, Viçosa, MG

² Professor DEA UFV, PhD. Fone (031) 899 2734. E-mail: dely@mail.ufv.br

³ Professor DEA, UFV, PhD.

⁴ Professor DEA, UFV, D.S.

INTRODUÇÃO

Atualmente, o fornecimento de energia elétrica brasileiro no horário de ponta, é deficitário, haja vista que a margem de segurança de oferta de energia é 50% inferior à observada no restante do mundo. Os fatores preponderantes para este quadro são os baixos investimentos, tanto em geração quanto em transmissão e distribuição de energia elétrica. Para suprir a demanda reprimida, até o ano de 2007 seria necessário aumentar a potência instalada, a valores superiores a 3.600 MW ano⁻¹; para tal, seriam necessários investimentos da ordem de oito bilhões de dólares anuais. Na tentativa de se adiar esses investimentos e reduzir os prejuízos sociais e ambientais decorrentes do gerenciamento do lado do suprimento, apresenta-se o uso racional da energia elétrica do lado da demanda ou gerenciamento do lado da demanda, GLD (CONFEA, 1999).

Segundo PROCEL (1998a) dos 262,52 TWh de energia consumidos no Brasil em 1997, os setores industrial, residencial e comercial responderam por 44, 27 e 14%, respectivamente, sendo que outros setores são responsáveis pelos restantes 15%. No que diz respeito ao setor industrial observou-se em Minas Gerais, entre 1985 e 1998, acréscimo de 27,5% na participação deste setor na demanda global de energia consumida, sendo o acionamento de força motriz responsável por 49% deste total (CEMIG 1987; ELETROBRÁS, 1999). A gama de fatores comprova o grande potencial de economia de energia elétrica a nível nacional, a partir do implemento de programas, como a adequação de força motriz que, atualmente, se encontram inseridas dentro do programa de eficiência energética do GLD.

Motores elétricos são equipamentos que, dentro de certos limites técnicos, fornecem a quantidade de energia mecânica demandada pela carga (Fitzgerald, 1977; Dorf 1993); isto significa que o rendimento do motor poderá ser insatisfatório e seu funcionamento pode ser otimizado. Dentre os fatores que afetam o desempenho dos motores elétricos citam-se o dimensionamento de motores elétricos e a variação da tensão de alimentação em relação à nominal, além do desequilíbrio de tensão entre fases .

Dimensionamento de motores elétricos

Segundo Weg (1998) quando o regime de trabalho for contínuo, especificar-se-á o motor para operar entre 75 e 100% da potência nominal, o que corresponde à faixa de melhor rendimento. No dimensionamento de motores elétricos deve-se considerar o torque de partida da carga e o regime de funcionamento (número de partidas por hora) haja vista que, em algumas situações, é necessário o uso de motores de maior potência para suprir as características da carga. Num universo de 3.425 motores, 28,75% estavam superdimensionados atribuindo-se, a este fato: (1) o desconhecimento das características da própria carga; (2) os sucessivos fatores de segurança nas diversas etapas de projeto; (3) a expectativa de futuro aumento da carga; e (4) a falta de informações sobre métodos de dimensionamento mais adequados. Como conseqüência do superdimensionamento do motor elétrico citam-se, dentre outros, a redução do fator de potência e do rendimento e o aumento da corrente de partida (Campana et al., 1999).

Variação da tensão

As alterações da amplitude de tensão em motores de indução trifásicos são atribuídas, geralmente, a transformadores e/ou cabos subdimensionados e ao baixo fator de potência. Segundo a NBR 7094/1996 da ABNT, para que o motor elétrico opere com temperaturas e correntes dentro do permitido e torques de partida e de regime satisfatórios, faz-se necessário que a rede de alimentação opere com variações de tensões de no máximo mais ou menos 10% da tensão nominal (PROCEL, 1998b). Perdas de rendimento, fator de potência e corrente solicitada decorrentes da variação da amplitude de tensão, acima ou abaixo da nominal, para um motor de 7,5 cv operando a plena carga, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Perdas em função da variação do nível de tensão para um motor de 7,5 cv operando a plena carga

Tensão de alimentação	90%	100%	110%
Rendimento (%)	82,93	83,50	79,82
Fator de potência (decimal)	0,877	0,822	0,755
Corrente demandada (A)	22,45	21,09	21,78

Fonte: PROCEL (1998b)

Avaliação da adequação de força motriz

Para a avaliação da adequação de força motriz, deve-se medir ou estimar o rendimento do motor elétrico na condição de carga. A medida direta do rendimento de motores em funcionamento nem sempre é uma tarefa simples, e isto se deve à necessidade de equipamentos caros e sofisticados, como células de carga e bancadas de teste específicas; geralmente, a avaliação do rendimento é feita de forma indireta. Dentre os parâmetros que podem ser considerados para a adequação de força motriz, citam-se: (1) potência de entrada; (2) corrente; (3) escorregamento; e (4) fator de potência. Nesses casos, a avaliação do índice de carregamento e por conseqüência do rendimento é feita por meio das curvas características dos motores.

Segundo Shindo & Soares (1998) o melhor método para a determinação do carregamento de motores de indução trifásicos é a medição da potência de entrada. Comparando-se os resultados de avaliação do índice de carregamento pelos métodos do escorregamento, da corrente de linha e da medição da potência de entrada, verificou-se que em 78% dos motores estudados a medição da potência de entrada apresentou precisão superior aos demais métodos, incorrendo num erro máximo de 5%. É importante salientar que no estudo a corrente de linha foi calculada a partir das seguintes metodologias: (1) ajuste de curva por mínimos quadrados (equação do 2º grau) para quatro pontos de operação do motor; (2) linearização da curva de conjugado em função da velocidade de rotação para a região de operação do motor; e (3) circuito equivalente do motor.

Observa-se carência de informações que indiquem que método indireto para determinação do índice de carregamento e rendimento de motores elétricos apresenta maior precisão para a realização de auditorias energéticas. Assim, o presente trabalho tem como objetivo comparar diferentes métodos indiretos para determinação do carregamento e rendimento de motores elétricos.

MATERIAL E MÉTODOS

A avaliação da forma de aquisição de dados para adequação de força motriz foi feita em seis motores de indução trifásicos

Tabela 2. Variação de tensão na rede de alimentação dos motores elétricos estudados e potência dos motores elétricos em uso nas fazendas

Intervalos de Variação (%)	Fazendas/Potências dos Motores Elétricos					
	Coronel Pacheco (20 cv)	Turvolândia (60 cv)	Francisco Sá (30 cv)	Carandaí (75 cv)	Janaúba (15 cv)	Maria da Fé (50 cv)
Máxima	8,5	5,8	-1,17*	5,8	10,0	2,7
Média	9,7	7,5	0,53	7,5	10,8	4,2
Mínima	11,0	9,1	2,30	9,1	11,7	5,8

Fonte: CEMIG/UFV/PROCEL (1996)

* Variação de tensão máxima inferior à nominal

“standard”, do tipo curto circuitado. Os dados elétricos foram obtidos em motores elétricos utilizados para o bombeamento d’água, em sistemas de irrigação por aspersão convencional e pivô central localizados no Estado de Minas Gerais (CEMIG/UFV/PROCEL, 1996). As potências dos motores elétricos e suas respectivas localizações (Fazendas) são apresentadas na Tabela 2.

Os dados elétricos medidos foram de corrente, potência e fator de potência, em cada uma das fases, e efetuadas para condições de carregamento correspondentes às cargas máxima, média e mínima. A avaliação do carregamento e rendimento dos motores elétricos foi feita pela: (1) média aritmética das correntes, (2) média geométrica das correntes, (3) média aritmética dos fatores de potência, e (4) pela potência elétrica ativa total consumida (potência de entrada) considerada como o método padrão (Shindo & Soares, 1998).

Avaliação do carregamento e rendimento pelas médias aritmética e geométrica das correntes

O carregamento dos motores foi estimado pela curva característica de corrente, utilizando-se, como dados de entrada, as médias aritmética e geométrica das correntes lidas em cada uma das fases; já os rendimentos dos motores foram obtidos a partir dos valores de carregamento estimados na curva característica de rendimento (Weg, 1999; Eberle, 1999; Kohlback, 1999).

Avaliação do carregamento e rendimento pelo fator de potência médio

Neste método, o carregamento dos motores foi estimado pela curva característica de fator de potência utilizando-se, como dados de entrada, o fator de potência médio aritmético das fases, enquanto os rendimentos dos motores foram obtidos a partir dos valores de carregamento estimados anteriormente, na curva característica de rendimento, isto é, como no método anterior.

Avaliação do carregamento e rendimento pela potência elétrica de entrada

Inicialmente, calculou-se a curva da potência elétrica útil dos motores em função do índice de carregamento, considerando-se as curvas características de rendimento, o que se deve ao fato de que a curva característica de rendimento dos motores elétricos é geralmente elaborada considerando-se a relação rendimento versus índice de carregamento, e não rendimento versus potência elétrica útil; depois, foram calculados tanto os rendimentos quanto os índices de carregamento para os valores de potências máximas, médias e mínimas medidas em cada uma das fases (CEMIG/UFV/PROCEL 1996).

O método de avaliação do índice de carregamento e rendimento dos motores elétricos pela medição da potência

elétrica útil foi considerado base, haja vista que estudos realizados indicaram ser este o método indireto mais preciso de avaliação da condição de carga (Shindo & Soares, 1998).

Comparação dos métodos para determinação do carregamento e rendimento de motores elétricos

Para identificação do método mais preciso para determinação do carregamento e rendimento de motores elétricos, calculou-se o erro percentual tendo-se como base o método da potência elétrica útil. Nas análises de rendimento considerou-se o decréscimo causado pela variação de tensão na rede elétrica, Eqs. 1 e 2.

$$e_{i(\eta)} = \frac{\eta_i - \eta_{base}}{\eta_{base}} \cdot 100 \quad (1)$$

$$e_{i(ic)} = \frac{Ic_i - Ic_{base}}{Ic_{base}} \cdot 100 \quad (2)$$

em que:

- $e_{i(\eta)}$ - erro do rendimento quando se utilizam os métodos da corrente e fator de potência, %
- $e_{i(ic)}$ - erro do índice de carregamento quando se utilizam os métodos da corrente e fator de potência, %
- η_i - rendimento obtido pelos métodos da corrente e fator de potência – catálogo eletrônico do fabricante, %
- η_{base} - rendimento calculado pelo método da potência elétrica – caso base, %
- Ic_i - índice de carregamento obtido pelos métodos da corrente e do fator de potência – catálogo eletrônico do fabricante, %
- Ic_{base} - índice de carregamento calculado pelo método da potência elétrica – caso base, %.

Correção do rendimento de motores devido à variação de tensão

São apresentadas, abaixo, as três etapas para a correção do rendimento de motores, devido à variação de tensão nos métodos estudados de avaliação do rendimento dos motores elétricos.

a) Primeiramente, utilizando-se os valores de tensão máxima, média e mínima, medidos em cada uma das fases (Tabela 2) calculou-se a variação da tensão média aritmética em relação à nominal (Eqs. 3 e 4).

b) Em segundo, lugar obtiveram-se as Eqs. 5 e 6 (polinômios do sexto grau) que relacionam as perdas de rendimento dos motores elétricos para flutuações de tensão em relação à nominal (127 V) a partir de curva elaborada pelo PROCEL (1998); para tal, utilizou-se o software SACRID, específico para a obtenção de

coordenadas reais de imagens digitais (Santos & Ramos, 1997). A regressão foi feita no software EXCEL.

c) Por último, de posse das equações de perdas e dos valores de tensão estimados anteriormente, estimou-se a correção do rendimento de motores devido à variação de tensão, utilizando-se as Eqs. 5 e 6.

$$\Delta_p = \left(\frac{V_a + V_b + V_c}{3} \right) - V \tag{3}$$

$$\Delta_n = \left(\frac{V_a + V_b + V_c}{3} \right) - V \tag{4}$$

$$P_{\Delta p} = [(-1,19071 \cdot 10^{-6} \Delta p^6 - 1,3314 \cdot 10^{-5} \Delta p^5 + 4,85251 \cdot 10^{-4} \Delta p^4 + 1,10529 \cdot 10^{-3} \Delta p^3 + 6,88837 \cdot 10^{-2} \Delta p^2 + 0,262686 \Delta p + 0,00417152) + 100] \eta_c \tag{5}$$

$R^2 = 0,9997$

$$P_{\Delta n} = [(7,91177 \cdot 10^{-6} \Delta n^6 + 1,45994 \cdot 10^{-5} \Delta n^5 - 1,19950 \cdot 10^{-4} \Delta n^4 + 1,79767 \cdot 10^{-3} \Delta n^3 - 1,08659 \cdot 10^{-2} \Delta n^2 + 0,16816 \Delta n + 0,23204) - 100] \eta_c \tag{6}$$

$R^2 = 0,9986$

em que:

$P_{\Delta p}$, $P_{\Delta n}$ - perda de rendimento do motor elétrico devido a variação de tensão na linha ser superior e inferior à nominal, respectivamente (decimal)

Δ_p , Δ_n - variação da tensão na linha para tensão superior e inferior à nominal, respectivamente, %

η_c - rendimento do motor para as correntes e índices de carregamento medidos nas fases obtidos nos catálogos do fabricante, %

V_a , V_b e V_c - tensão medida nas três fases de alimentação do motor, Volts

V - tensão nominal, (127 V).

De forma a facilitar o entendimento da metodologia adotada são apresentadas na Figura 1, as curvas características de desempenho de um motor trifásico de 10 cv 2 polos “standard” (Weg, 1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de índice de carregamento dos motores elétricos estimados por meio dos métodos são: (1) médias aritméticas das

correntes; (2) médias geométricas das correntes; (3) fator de potência médio aritmético; e (4) potência elétrica ativa medida, são apresentados na Tabela 3. A Tabela 4 apresenta o erro percentual entre os métodos de determinação de índice de carregamento e rendimento de motores elétricos, em relação ao caso-base (método da potência elétrica ativa). Para maior precisão na determinação do erro no rendimento pelos métodos, levaram-se em consideração as variações na tensão nas fases de alimentação do motor elétrico. Ressalta-se que o decréscimo dos rendimentos dos motores em função da variação de tensão foi obtido a partir das Eqs. 5 e 6, aplicadas aos dados apresentados na Tabela 2.

A análise das Tabelas 3 e 4 permite afirmar-se que:

(1) de modo geral, a estimativa do índice de carregamento dos motores elétricos por meio da medição do fator de potência médio aritmético, apresentou resultado com maior erro percentual tanto na determinação do índice de carregamento quanto do rendimento (Tabela 4); isto pode estar relacionado ao seguinte fato: para se calcular o fator de potência, é necessária a medição do ângulo de defasagem entre o sinal da corrente e o da tensão, o que é fonte de erro em maior magnitude que a medida do índice de carregamento e rendimento pelo método da corrente, isto é, para a determinação do índice de carregamento e rendimento pelo método do fator de potência, é necessária a medição de dois parâmetros para cada uma das fases; já pelo método da corrente, faz-se oportuno a medição de apenas um parâmetro, corrente de cada uma das fases;

(2) a estimativa do índice de carregamento dos motores elétricos por meio da medição do fator de potência médio aritmético apresentou, para a média das correntes, um erro de 24,5%; já os métodos da corrente média aritmética e geométrica apresentaram resultados semelhantes e com erro percentual significativamente inferior; para a média das correntes, o erro foi de, aproximadamente, 6,2%;

(3) a estimativa do rendimento dos motores elétricos por meio da medição do fator de potência médio aritmético apresentou, para a média das correntes, um erro de 2%; já os métodos da corrente média aritmética e geométrica apresentaram resultados semelhantes, e com erro percentual significativamente inferior; para a média das correntes, o erro foi de aproximadamente 1,1%;

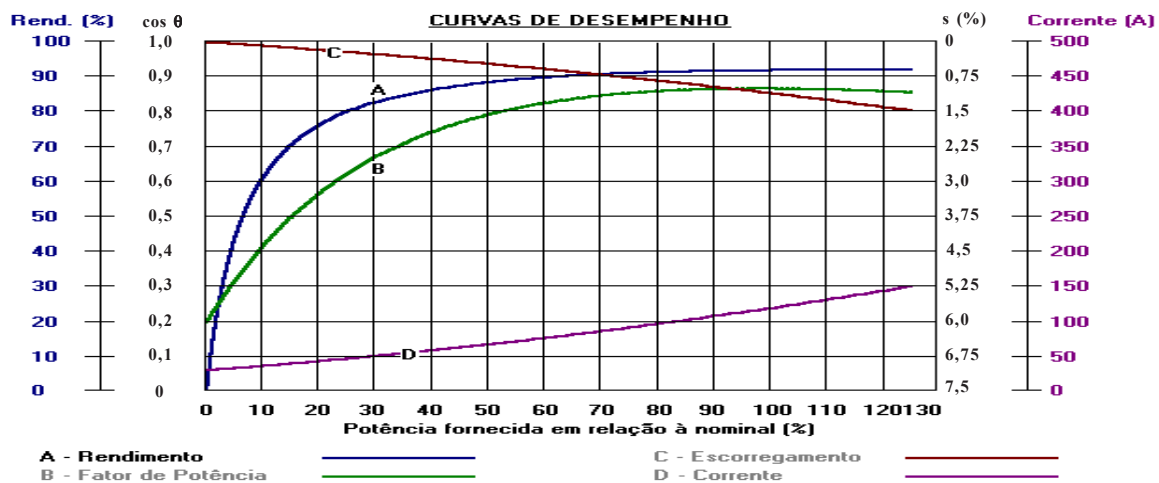


Figura 1. Curva característica de desempenho de um motor trifásico de 10 cv 2 polos “standard”

Tabela 3. Índice de carregamento dos motores elétricos obtido nos catálogos eletrônicos dos fabricantes

Método de Avaliação do Índice de Carregamento	Corrente (A)	Índice de Carregamento, IC(%)					
		Potência dos Motores (cv)					
		15	20	30	50	60	75
I_a^1	Máxima	91,0	104,0	90,0	103,0	86,0	100,0
	Média	90,0	102,0	85,0	101,0	84,0	98,0
	Mínima	88,0	98,0	80,0	100,0	77,0	96,0
I_g^2	Máxima	91,0	104,0	77,0	103,0	83,0	99,0
	Média	90,0	102,0	65,0	101,0	84,0	100,0
	Mínima	88,0	98,0	58,0	100,0	77,0	98,0
F_p^3	Máxima	100,0	64,0	90,0	71,0	100,0	64,0
	Média	100,0	60,0	85,0	61,0	100,0	60,0
	Mínima	100,0	60,0	80,0	57,0	80,0	55,0
P_e^4	Máxima	85,1	95,2	88,2	103,1	80,1	92,2
	Média	85,1	91,3	82,7	101,3	79,2	89,7
	Mínima	82,8	87,3	75,3	99,1	71,0	86,9

¹ Média aritmética das correntes máximas nas fases de alimentação do motor elétrico

² Média geométrica das correntes máximas nas fases de alimentação do motor elétrico

³ Média aritmética dos fatores de potência nas fases de alimentação do motor elétrico

⁴ Potência elétrica do motor (caso-base ou referência)

Tabela 4. Erro percentual dos métodos de aquisição de dados para adequação de força motriz, levando-se em consideração as variações na tensão nas fases de alimentação do motor elétrico

Comparação dos Métodos em Relação ao Caso Base	Corrente (A)	Potência dos Motores, (cv)												Erro Médio	
		15		20		30		50		60		75		$E_{m(\eta)}$ ⁷	$E_{m(IC)}$ ⁸
		E_η ¹ (%)	E_{IC} ² (%)	E_η (%)	E_{IC} (%)	E_η (%)	E_{IC} (%)	E_η (%)	E_{IC} (%)	E_η (%)	E_{IC} (%)	E_η (%)	E_{IC} (%)		
I_a^3 versus P_e^6	Máxima	1,8	6,9	1,5	9,3	0,4	2,0	0,5	0,0	0,0	7,4	1,8	8,5	1,0	5,7
	Média	2,0	5,7	2,4	11,8	0,0	4,1	0,6	0,3	0,0	6,1	1,8	9,3	1,1	6,2
	Mínima	2,7	6,3	2,8	12,3	0,0	6,2	1,1	0,9	0,3	8,5	2,1	10,5	1,5	7,5
I_g^4 versus P_e	Máxima	1,8	6,9	1,5	9,3	0,4	2,0	0,5	0,0	0,0	7,4	1,8	7,4	1,0	5,7
	Média	2,0	5,7	2,4	11,8	0,0	4,1	0,6	0,3	0,0	6,1	1,8	11,5	1,1	6,2
	Mínima	2,7	6,3	2,8	12,3	0,0	6,2	1,1	0,9	0,3	8,5	2,1	12,8	1,5	7,5
F_p^5 versus P_e	Máxima	3,2	5,7	1,8	32,7	0,0	12,7	0,0	31,1	0,2	12,4	2,7	30,6	1,3	20,9
	Média	3,2	5,7	3,2	34,3	0,7	20,4	2,7	39,8	0,2	13,6	2,2	33,1	2,0	24,5
	Mínima	4,4	3,9	3,7	31,3	1,1	22,9	3,6	42,5	7,2	15,6	2,7	36,7	3,8	25,5

¹ Erro do rendimento do motor elétrico em relação ao caso-base

² Erro do índice de carregamento do motor elétrico em relação ao caso-base

³ Média aritmética das correntes máximas nas fases de alimentação do motor elétrico

⁴ Média geométrica das correntes máximas nas fases de alimentação do motor elétrico

⁵ Média aritmética dos fatores de potência nas fases de alimentação do motor elétrico

⁶ Potência elétrica, medida quando do funcionamento do motor elétrico

⁷ Erro médio do rendimento para os casos em estudo

⁸ Erro médio do índice de carregamento para os casos em estudo

(4) os erros médios (para as correntes máximas, médias e mínimas) da estimativa do índice de carregamento e rendimento, pelos métodos da corrente média aritmética e média geométrica, e pelo fator de potência, foram aproximadamente de 14,3% e 1,6%, respectivamente;

(5) observa-se que, para todos os motores em estudo, as estimativas de rendimento a partir das correntes mínimas, entre as fases, apresentaram erros superiores aos demais, devido às maiores variações entre as tensões das fases, conforme a Tabela 2.

CONCLUSÕES

1. Para estimativa do rendimento e do índice de carregamento de motores elétricos, em auditorias energéticas, os métodos que utilizam a corrente elétrica medida na linha (média aritmética e geométrica) apresentaram melhores resultados que o método do fator de potência médio.

2. Para determinação do rendimento e do índice de carregamento de motores elétricos, a média aritmética ou a geométrica das correntes apresentou resultados similares, ficando a critério do auditor a escolha do método.

3. Já o método do fator de potência médio apresentou, na maioria dos casos, resultados pouco precisos quando comparados com o método da potência elétrica de entrada, considerada referência (caso base).

4. A determinação das perdas de rendimento decorrente da variação de tensão na rede elétrica é de grande importância em projetos de auditoria energética, contribuindo de maneira efetiva para maior precisão nos estudos técnicos desses projetos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMPANA, S.; OLIVEIRA FILHO, D.; SOARES, A.A.; OLIVEIRA R.A. Racionalização da potência de motores elétricos em sistemas de irrigação por aspersão convencional e pivô central. Engenharia na Agricultura, Viçosa, 1999. (No prelo).
- CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. Uso da energia elétrica no setor industrial de Minas Gerais. Belo Horizonte: 1987. 23p.

- CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS, UFV- UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA, PROCEL - PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Estudo de otimização energética em irrigação por aspersão convencional das seguintes fazendas e municípios, respectivamente: Centro Nacional de Pesquisa de Gado e Leite – CNPGL (Coronel Pacheco), Lote No 16 PADSUL (Turvolândia), Gameleira (Francisco Sá), Vieira Ribeiro (Carandaí), Lote 1721 – Gorotuba (Janaúba) e Tijuco Preto (Maria da Fé). Belo Horizonte, 1996. 30p.
- CONFEA - CONSELHO FEDERAL DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E AGRONOMIA. Jornal do CONFEA, Brasília, v.4, n.26, p.4-7, 1999.
- DORF, R.C., The electrical engineering handbook. Boca Raton: The Institute of the Electrical and Electronic Engineering, 1993. 2661p.
- EBERLE. Catálogo eletrônico de produtos. Caxias do Sul: 1999 (<http://www.eberle.com.br>).
- ELETOBRÁS - CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. Plano decenal de expansão 1999-2008. Rio de Janeiro: 1999. 344p.
- FITZGERALD, A.E.; KINGSLEY JÚNIOR, C.; KUSKO, A. Máquinas elétricas - conversão eletromecânica da energia - processos, dispositivos e sistemas. São Paulo: McGraw-Hill, 1977. 554p.
- KOHLBACH. Catálogo eletrônico de produtos. Caxias do Sul: 1999 (<http://www.kohlbach.com.br>)
- PROCEL - PROGRAMA DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ENERGIA ELÉTRICA. Motor de alto rendimento. Guia técnico. Rio de Janeiro: 1998a, v.1. 18p.
- PROCEL - PROGRAMA DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ENERGIA ELÉTRICA. Guia operacional de motores elétricos. Guia técnico. Rio de Janeiro: 1998b, v.1. 161p.
- SANTOS, W.L.; RAMOS, M.M., SACRID - Software para Aquisição de Coordenadas Reais de Imagens Digitais. Versão 1.01. Viçosa: UFV, 1997. (<http://www.ufv.com.br>)
- SHINDO R.; SOARES G.A., Avaliação da precisão de métodos práticos de determinação do carregamento de motores de indução trifásicos. In: CONFERÊNCIA DE APLICAÇÕES INDUSTRIAIS, 1998, São Paulo. Anais...São Paulo: Tec Art, 1998, v.1. p. 175-180.
- WEG. Economia de energia em motores elétricos. Jaraguá do Sul: v.1, 1998. 24p.
- WEG. Catálogo eletrônico de produtos. Jaraguá do Sul: 1999 (<http://www.weg.com.br>)