

## PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA ADEQUAÇÃO DE FORÇA MOTRIZ CONSIDERANDO O REMANEJAMENTO DOS MOTORES EXISTENTES

Daniela de Carvalho Lopes<sup>1</sup>, José Helvecio Martins<sup>2</sup>, Delly Oliveira Filho<sup>3</sup>, Evandro de Castro Melo<sup>4</sup>

### RESUMO

A conservação de energia elétrica vem sendo bastante incentivada em razão do problema da escassez da energia elétrica no Brasil. Considerando-se que o setor industrial representa, praticamente, metade do consumo de energia elétrica e os motores são responsáveis por, aproximadamente, 49% do consumo deste setor, torna-se evidente a necessidade da adoção de medidas para aumentar a eficiência do processo de operação dos motores, gerando considerável economia de energia e resultando em benefícios para os usuários e para o País. Neste trabalho, desenvolveu-se um sistema computacional como qual pode-se executar a simulação das características técnicas e econômicas do processo de adequação de força motriz para motores elétricos trifásicos, com base em dados reais e considerando a possibilidade de remanejamento dos motores existentes. Com a utilização desse programa pode-se realizar uma análise técnica, com base nos valores do rendimento, da corrente elétrica nas três fases do estator e do índice de carregamento do motor, bem como uma análise econômica, considerando-se as opções de troca para os vários motores cadastrados. O Sistema de Análises Econômica e Técnica para Adequação de Força Motriz (SETMO) foi implementado em linguagem Object Pascal, utilizando-se a plataforma de programação Delphi 5.0.

**Palavras-Chave:** programa computacional, motores elétricos, adequação de força motriz

### ABSTRACT

#### Computational program for driving power adaptation considering the possibility for remangement of available motors

The electric energy saving has been motivated due to the problems with energy scarcity in Brazil. Considering that the industrial sector represents practically half the electric energy consumption and the motors correspond to approximately 49% of the consumption in this sector, it's evident the need for the adoption of measures that would increase the efficiency of the motors operation, so resulting into considerable energy saving and benefits to the users and the country. In this work, a software able to execute the simulation of the technical and economical characteristics of the driving power adaptation process for three-phase electric motors, based on real data as well as considering the possibility for remangement of the available motors was developed. This software executes a technical analysis for the motors operation based on values of the electrical current, efficiency and loads of the motor, and an economical analysis for the possible change options for all registered motors. The software was called SETMO and was implemented in Object Pascal language, by using the programming platform Delphi 5.0.

**Keywords:** software, electric motors, driving force adaptation

---

<sup>1</sup> Cientista da Computação (MS), doutoranda em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola (UFV/DEA), Av. PH Rolfs, s/n, Campus Universitário, CEP: 36570-000, Viçosa, MG. Tel. 3899-1930. E-mail: [danielaclopes@gmail.com](mailto:danielaclopes@gmail.com) (bolsista do Cnpq).

<sup>2</sup> Eng. Agrícola, Professor Titular (Ph.D), Engenheiro Agrícola. UFV/DEA. Tel: 3899-1896. E-mail: [jhmartins@ufv.br](mailto:jhmartins@ufv.br)

<sup>3</sup> Eng. Eletricista, Professor Adjunto (Ph.D), Engenheiro Eletricista. DEA/UFV. Tel: 3899-1897. E-mail: [delly@ufv.br](mailto:delly@ufv.br)

<sup>4</sup> Eng. Agrícola, Professor Adjunto (DS), Engenheiro Agrícola. DEA/UFV. Tel: 3899-1873. E-mail: [Evandro@ufv.br](mailto:Evandro@ufv.br)

## INTRODUÇÃO

A necessidade de se implementar programas de conservação de energia e utilizar, de forma racional, a energia elétrica é muito importante, visto que o insumo eletricidade vem apresentando taxas de crescimento significativas, bem como aumento relativo nas despesas das diversas classes de consumidores.

No Brasil, o setor industrial representa, praticamente, metade do consumo de energia elétrica e os motores são responsáveis por, aproximadamente, 49% do consumo desse setor (PROCEL, 1998).

Na determinação do custo de utilização de um motor, deve ser considerado não apenas o investimento inicial, mas, também, os custos de operação durante toda a sua vida útil. Observando-se as curvas típicas de um motor, verifica-se que quanto menor o seu grau de utilização menor será seu rendimento e fator de potência. Assim, motores mais eficientes (de alto rendimento) fornecem a mesma potência útil que os motores convencionais, porém com menor consumo de energia (WEG, 2001; KOHLBACH, 2002).

A adequação de força motriz combinada à utilização de motores de alto rendimento é prática recente, pois somente em 1990 os fabricantes começaram a produzir motores eficientes. Em 1996, os modelos de alto rendimento representaram, aproximadamente, 1% do total de motores de indução trifásicos vendidos no Brasil (Geller et al., 1997). Atualmente, este índice ainda apresenta-se baixo, principalmente porque, em relação ao mercado, os modelos eficientes fabricados no Brasil têm custo 40% superior aos do tipo comum (Soares & Tabosa, 1996). Todavia, os motores eficientes têm custos efetivos inferiores, quando avaliados pelo valor da energia economizada, da ordem de 0,015 a 0,025 US\$ kWh<sup>-1</sup> (Soares et al., 1996).

Em agroindústrias, como frigoríficos, fábricas de ração ou unidades de beneficiamento de grãos, o principal uso

final da energia elétrica é o acionamento de motores elétricos trifásicos (Zanin et al., 2002). Assim, torna-se evidente a necessidade da adoção de medidas para aumento na eficiência do processo de operação dos motores neste setor, o que gerará considerável economia de energia, resultando em benefícios para os usuários e para o País.

O processo de adequação de força motriz, considerando-se vários motores, envolve, para cada um deles, a análise técnica de seu funcionamento e a análise econômica das possibilidades de troca (Teixeira, 2005). De acordo com Lopes et al. (2005), a análise técnica baseia-se nos valores do rendimento e do índice de carregamento do motor, avaliando o consumo anual de energia e os custos da manutenção, consumo de energia e da demanda de potência, apresentados pelo motor dentro de determinado horizonte de planejamento. Na análise econômica de vida útil geralmente são considerados os seguintes indicadores para análise da viabilidade do investimento: Taxa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Líquido (VPL), Relação Benefício-Custo (RBC) e Tempo de Retorno de Capital (TRC).

Com base no exposto, desenvolveu-se um programa computacional capaz de realizar as análises técnica e econômica para vários motores, diagnosticando a necessidade da adequação de força motriz para cada um deles e fornecendo a possibilidade de remanejamento dos motores existentes, nos casos em que isso seja possível. Este programa, denominado SETMO, possibilita aos consultores, estudantes e profissionais da área a obtenção dos relatórios necessários à aplicação de programas de conservação de energia de forma rápida e confiável.

## MATERIAL E MÉTODOS

O principal objetivo da adequação de força motriz é avaliar se a troca do motor atual trará benefícios para o processo no

qual ele está envolvido e se esta troca é economicamente viável.

No SETMO, as análises são realizadas considerando-se um horizonte de planejamento equivalente a 10 anos. Podem ser cadastrados motores convencionais (*standard*) ou motores de alto rendimento com potências entre 1 e 100 cv, 2 a 8 pólos e com ligação em estrela ou triângulo. Para motores convencionais (*standard*), são analisadas as seguintes possibilidades de troca: motor atual por um motor convencional adequado à condição de carga; motor atual por motor de alto rendimento, de mesma potência; motor atual por motor de alto rendimento, adequado à condição de carga, e motor atual por motor existente, com potência nominal menor que a potência atual e maior que a potência adequada. Para motores de alto rendimento, são avaliadas a possibilidade de troca por motor de alto rendimento, adequado à condição de carga e a possibilidade de troca por motor existente, com potência nominal menor que a potência atual e maior que a potência adequada. Além dos dados de placa do motor, deverão ser fornecidos também o número de motores a serem analisados, a taxa de juros considerada (% ao ano), o custo unitário da energia elétrica (R\$/kWh), o custo unitário de demanda de energia elétrica (R\$/kW), o aumento da energia acima da inflação considerado (% ao ano), o custo médio de manutenção em relação ao preço do motor (%), o valor do motor ao final de sua vida útil, em relação ao motor novo (%), os valores de corrente elétrica medidos nas três fases de tensão (A), o tempo de uso do motor (anos), o número de horas de funcionamento anual do motor e o tipo de tarifa de energia elétrica adotada.

O programa computacional para adequação de força motriz (SETMO) foi desenvolvido no ambiente de programação Delphi 5.0, facilitando a entrada e saída de dados e possibilitando a geração de relatórios escritos e gráficos.

O processo da análise técnica inicia-se com a determinação do índice de carregamento do motor em função da média das correntes elétricas medidas nas três

fases do estator do motor, trabalhando em plena carga. O índice de carregamento de um motor está relacionado a seu grau de utilização e pode ser representado por um polinômio de sexto grau (Equação 1), cujos coeficientes variam para cada motor, dependendo de seu tipo, potência nominal, número de pólos e tensão de alimentação. No SETMO, estes coeficientes foram obtidos por meio de modelagem das curvas características dos motores e armazenados em um banco de dados, ativado a partir dos dados de entrada do programa computacional. Geralmente, um motor está bem dimensionado quando apresenta um valor de índice de carregamento entre 75% e 100%. Esta situação proporciona economia de energia, elevado rendimento e elevado fator de potência (PROCEL, 1998).

$$I_C = a_1 x^6 + b_1 x^5 + c_1 x^4 + d_1 x^3 + e_1 x^2 + f_1 x + g_1 \quad (1)$$

em que,  $I_C$  é o índice de carregamento do motor (%);  $x$  é a média da corrente elétrica medida nas três fases do estator (A) e  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $c_1$ ,  $d_1$ ,  $e_1$ ,  $f_1$  e  $g_1$  são os coeficientes que variam para cada motor.

De posse do valor do índice de carregamento do motor, é possível obter o valor de seu rendimento, utilizando-se também um polinômio de sexto grau (Equação 2), cujos coeficientes foram armazenados na base de dados do SETMO, após a modelagem das curvas características dos motores elétricos. Estes coeficientes também variam para cada motor, dependendo de seu tipo, potência nominal, número de pólos e tensão de alimentação.

$$R = a_2 I_C^6 + b_2 I_C^5 + c_2 I_C^4 + d_2 I_C^3 + e_2 I_C^2 + f_2 I_C x + g_2 \quad (2)$$

em que,  $R$  é o rendimento do motor (%) e  $a_2$ ,  $b_2$ ,  $c_2$ ,  $d_2$ ,  $e_2$ ,  $f_2$  e  $g_2$  são os coeficientes que variam para cada motor.

A etapa seguinte da análise técnica da adequação de força motriz consiste na verificação da potência adequada do motor existente, o que é feito utilizando-se a Equação 3:

$$P_a = \frac{P_n I_C}{100} \quad (3)$$

em que,  $P_a$  é a potência adequada do motor (cv) e  $P_n$  é a potência nominal do motor (cv).

Observa-se que o valor real da potência adequada ao motor deverá ser igual, ou imediatamente superior, ao valor de potência nominal disponível no mercado. Assim, após definir a potência adequada comercial, o índice de carregamento do motor adequado à condição de carga deverá ser calculado, por meio da Equação 4:

$$I_{Cr} = \frac{P_n I_C}{P_C} \quad (4)$$

em que,  $I_{Cr}$  é o índice de carregamento real, obtido com a adequação de força motriz (%) e  $P_C$  é potência comercial do motor adequada à condição de carga (cv).

A próxima etapa consiste no cálculo do consumo anual de energia do motor, seu custo anual de energia e seu custo anual de demanda de energia, obtidos por meio das Equações 5, 6 e 7, respectivamente.

$$C_A = 0,736 \left[ \frac{(H_{FP} + H_P) P_n I_C}{\eta_M} \right] \quad (5)$$

$$C_E = \frac{7}{12} (C_{AP} C_{PS} + C_{AF} C_{FS}) + \frac{5}{12} (C_{AP} C_{PU} + C_{AF} C_{FU}) \quad (6)$$

$$C_D = 0,736 \left[ \frac{12(C_{DP} + C_{DF}) P_n I_C}{\eta_M} \right] \quad (7)$$

em que,  $C_A$  é o consumo anual de energia (kWh);  $H_{FP}$  é o período de funcionamento no horário fora de ponta (h/ano);  $H_P$  é o horário de funcionamento no horário de ponta (h/ano);  $\eta_M$  é o rendimento do motor (%);  $C_E$  é o custo da energia (R\$/ano);  $C_{AP}$  é o consumo anual de energia no horário de ponta (kWh);  $C_{PS}$  é o custo unitário para consumo de energia no período seco (R\$/kWh);  $C_{AF}$  é o consumo anual de energia no horário fora de ponta (kWh);  $C_{PU}$  é o custo unitário para consumo de energia no horário de ponta e período úmido (R\$/kWh);  $C_{FU}$  é o custo unitário para consumo de energia no horário fora de ponta e período úmido (R\$/kWh);  $C_D$  é o custo de demanda anual de energia (R\$/ano);  $C_{DP}$  é o custo unitário da demanda no horário de ponta (R\$/kW) e  $C_{DF}$  é o custo unitário da demanda no horário fora de ponta (R\$/kW).

Nesta análise, avalia-se, também, o custo anual da manutenção. Este parâmetro baseia-se no horizonte de planejamento e no percentual médio de manutenção fornecido pelo usuário com relação ao preço do motor novo, sendo estimado por meio da Equação 8:

$$(M_p)_i = \left( \frac{2}{100} \right) \left( \frac{V_M C_M}{N} \right) i \quad (8)$$

em que,  $M_p$  é o custo da manutenção (R\$/ano);  $V_M$  é o valor do motor (R\$);  $C_M$  é o custo médio da manutenção em relação ao motor novo (%);  $N$  é o horizonte de planejamento (ano);  $i$  é o ano considerado ( $i = 1, \dots, N$ ).

A análise econômica inicia-se com a construção do fluxo de caixa para os motores existentes e para os motores

candidatos a troca. O fluxo de caixa é a representação das contribuições monetárias (entradas e saídas de dinheiro), ao longo do período equivalente ao horizonte de planejamento. O ano zero representa o investimento inicial com o motor. Os outros valores são obtidos por meio da Equação 9:

$$F_i = - (C_E + C_D) \left(1 + \frac{k}{100}\right)^i - (M_p)_i \quad (9)$$

em que,  $F_i$  é o fluxo de caixa do ano  $i$  (R\$) e  $k$  é o índice de aumento da energia acima da inflação (%).

O valor do investimento apresentado na análise, realizada com a utilização do SETMO, pode considerar a compra de mais de um motor. Isto acontece porque neste trabalho estimou-se que um motor terá vida útil de 10 anos, caso funcione 6000 horas por ano. Assim, motores que trabalham mais de 6000 horas por ano deverão ser trocados mais de uma vez, dentro do horizonte de planejamento estabelecido. Na análise realizada, considera-se ainda que os motores existentes, que não sejam reaproveitados ou mantidos, serão vendidos por um preço depreciado, que será 10% menor que o preço depreciado utilizado para o reaproveitamento. A forma de depreciação utilizada foi a linear que, segundo Camargo (1988), é a mais simples das formas de cálculo aceitas pela Receita Federal.

A viabilidade de cada opção de troca é analisada por meio do fluxo de caixa líquido, que é a diferença entre os fluxos de caixa dos motores (Frizzone & Silveira, 2000). De acordo com esta diferença, é possível determinar os valores referentes ao valor presente líquido, taxa interna de retorno, tempo de retorno de capital e relação benefício-custo para cada opção de troca possível.

O valor presente líquido (VPL), expresso pela Equação 10, corresponde à soma algébrica dos valores presentes envolvidos no fluxo de caixa, ou seja, é a soma dos desembolsos e receitas de um investimento, referentes ao instante inicial da análise.

$$VPL = V_0 + \sum_{i=1}^N \left[ (F_L)_i \left(1 + \frac{j}{100}\right)^{-i} \right]$$

(10)

em que, VPL é o valor presente líquido (R\$);  $V_0$  é o valor do investimento inicial para a troca do motor (R\$);  $F_L$  é o fluxo de caixa líquido (R\$) e  $j$  é a taxa anual de juros (%).

Como a análise econômica realizada neste trabalho é uma análise incremental, ou seja, avalia o que pode ser feito com o excedente do dinheiro não investido no projeto mais caro, o VPL também será incremental (Camargo, 1988). Isto significa que a troca de um motor em uso por outro será viável, caso o VPL seja maior que zero. No caso de duas opções de troca com VPL maior que zero, aquela que apresentar o maior VPL será considerada melhor.

A Relação Benefício-Custo (RBC) é definida como o quociente entre a soma dos benefícios e dos custos, descontados pela taxa de juros adotada. Quando a opção de troca apresenta necessidade de investimento e o fluxo de caixa líquido apresenta perdas ao longo do horizonte de planejamento, a RBC não converge. Isto acontece, também, quando a opção de troca gera um lucro inicial e o fluxo de caixa líquido apresenta ganhos ao longo do horizonte de planejamento. Quando a RBC não converge, não pode ser considerada como parâmetro na avaliação da opção de troca considerada. Nos casos em que existe a necessidade de investimento, mas o fluxo de caixa apresenta ganhos ao longo do horizonte de planejamento, a RBC pode ser calculada por meio da Equação 11 e, nos casos em que a opção gera um lucro inicial e o fluxo de caixa líquido apresenta perdas ao longo do horizonte de planejamento, a RBC pode ser calculada por meio da Equação

12. Quanto maior a Relação Benefício-Custo, maior será a viabilidade da troca. A opção de troca será considerada viável caso  $RBC > 1$ .

$$RBC = \left| \frac{VPL - |V_0|}{|V_0|} \right| \quad (11)$$

$$RBC = \left| \frac{V_0}{|VPL| - V_0} \right| \quad (12)$$

em que, RBC é a relação benefício-custo (adimensional).

O Tempo de Retorno de Capital (TRC) é o tempo necessário para que o valor investido na troca do motor seja recuperado. No caso em que o fluxo líquido avaliado apresentar valores de investimento e benefícios com sinais iguais e positivos ou investimento inicial positivo (em que o sinal positivo representa ganho), conclui-se que o retorno de capital na opção em questão é imediato. Caso contrário, o cálculo do TRC divide-se em anos e meses em que o investimento inicial será recuperado. O número de anos para que o investimento seja recuperado é obtido, iterativamente, aplicando-se a Equação 13, para cada ano dentro do horizonte de planejamento, até que o resultado obtido seja maior que o montante investido no motor. Em seguida, determina-se o ano referente ao retorno do capital por meio da Equação 14. O número de meses necessários para que o investimento seja recuperado é obtido por meio das Equações 15 e 16. O investimento será viável, caso o valor obtido pela combinação de  $A_r$  (Equação 14) e  $M_r$  (Equação 16) seja menor que o horizonte de planejamento (10 anos).

$$(V_p)_i = (V_p)_{i-1} + \frac{(F_L)_i}{\left(1 + \frac{j}{100}\right)^i} \quad (13)$$

$$A_r = A_s - 1 \quad (14)$$

$$V_r = \frac{(F_L)_{A_s}}{12 \left(1 + \frac{j}{100}\right)^{A_s}} \quad (15)$$

$$M_r = \frac{|V_0| - (V_p)_{A_r}}{V_r} \quad (16)$$

em que  $V_p$ , é o valor anual parcial recuperado (R\$);  $i$  é o ano ( $i=0, 1, \dots, N$ );  $A_r$  é o ano de recuperação do capital (adimensional);  $A_s$  é o ano em que o valor parcial recuperado é maior que o investimento na troca de motores analisada (adimensional);  $V_r$  é o valor mensal parcial recuperado (R\$);  $M_r$  é o mês de recuperação do capital (adimensional) e 12 é um fator equivalente aos 12 meses do ano analisado.

A taxa interna de retorno (TIR) é a taxa de juros que torna nulo o VPL, ou seja, a taxa para a qual a soma dos benefícios torna-se igual à soma dos custos. Em uma análise incremental, a TIR é exatamente o valor de juros em que a viabilidade da troca passa a ser inviável. Por isto, para que uma opção de troca seja viável, a TIR deverá ser maior que a taxa de juros considerada na análise ( $TIR > j$ ). No caso de duas opções viáveis, deve ser considerada melhor aquela que apresentar maior TIR. Existem casos em que a TIR não converge. Isto acontece quando o VPL é sempre positivo ou sempre negativo, mesmo modificando-se o valor da taxa de juros. Nesses casos, a TIR não pode ser considerada como parâmetro para

determinar a viabilidade do investimento.

Para adequação da força motriz é obtido o valor da TIR, por meio de interpolação inversa. Isto é feito em duas etapas. Inicialmente, os valores de VPL para a opção de troca em questão são testados, até que se obtenham valores com sinais opostos. Ou seja, o valor de VPL igual a zero está entre estes dois pontos (Camargo, 1998). O valor inicial de taxa de juros utilizado para os testes, neste trabalho, será zero e os valores

seguintes serão obtidos por incrementos lineares de 0,05. Por meio desses valores, será criado um conjunto de pontos  $[X_i, Y_i]$  em que  $i$  varia de 1 a 4,  $X$  representa as taxas de juros e  $Y$  os valores presentes líquidos (2 valores positivos e 2 negativos). O valor da TIR poderá ser obtido, então, utilizando-se equações baseadas nos polinômios de Lagrange (Gerald & Weatley, 1994), que são mostradas a seguir:

$$\text{Termo}_1 = X_1 \left[ \frac{-Y_2 Y_3 Y_4}{(Y_1 - Y_2)(Y_1 - Y_3)(Y_1 - Y_4)} \right] \quad (17)$$

$$\text{Termo}_2 = X_2 \left[ \frac{-Y_1 Y_3 Y_4}{(Y_2 - Y_1)(Y_2 - Y_3)(Y_2 - Y_4)} \right] \quad (18)$$

$$\text{Termo}_3 = X_3 \left[ \frac{-Y_2 Y_1 Y_4}{(Y_3 - Y_2)(Y_3 - Y_1)(Y_3 - Y_4)} \right] \quad (19)$$

$$\text{Termo}_4 = X_4 \left[ \frac{-Y_2 Y_3 Y_1}{(Y_4 - Y_2)(Y_4 - Y_3)(Y_4 - Y_1)} \right] \quad (20)$$

$$\text{TIR} = 100(\text{Termo}_1 + \text{Termo}_2 + \text{Termo}_3 + \text{Termo}_4) \quad (21)$$

em que, TIR é a taxa interna de retorno (%);  $\text{Termo}_i$  são equações baseadas nos polinômios de Lagrange ( $i = 1, 2, 3, 4$ );  $X_i$  é a taxa de juros considerada para o termo  $i$  e  $Y_i$  é o VPL considerado para o termo  $i$ .

O programa computacional foi validado e testado, a fim de garantir a confiabilidade dos resultados gerados. Cada função disponível ao usuário (por meio de menus e botões), em cada módulo, foi verificada, confirmando seu correto funcionamento. Os dados de entrada, utilizados nas simulações foram obtidos de catálogos de fabricantes de motores e auditorias energéticas realizadas na Fábrica de Ração da Universidade Federal de Viçosa e na empresa frigorífica Pif Paf Alimentos, localizada em Visconde do Rio Branco, MG. Vários estudos de casos foram simulados no SETMO, abrangendo diversas situações. Avaliaram-se os resultados gerados no relatório final, apresentado pelo programa computacional, realizando-se análise paralela por meio de planilha eletrônica, a partir dos mesmos dados de entrada fornecidos ao programa. Também, uma versão teste do programa computacional foi disponibilizada a um grupo de usuários, que realizaram simulações utilizando o SETMO, os quais apresentaram sugestões e críticas. Esses dados foram analisados e incorporados ao sistema, gerando sua versão final.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 1, 2 e 3, apresentam-se as telas de entrada de dados do SETMO. Nestas telas, o usuário poderá informar todos os parâmetros necessários à realização das análises envolvidas na adequação de força motriz.

Nas Figuras 4 e 5, apresentam-se as telas com os resultados da adequação de força motriz. A divisão do relatório escrito em duas áreas, tanto em nível de apresentação quanto para gravar e imprimir, possibilita uma separação das sugestões quanto às melhores opções de troca, que incluem as conseqüências dessas escolhas e os resultados parciais obtidos nos cálculos efetuados. Assim, o usuário poderá verificar

os detalhes do processo da adequação de força motriz, que incluem os índices avaliados técnica e economicamente para cada motor cadastrado e, em uma área reservada, avaliar as sugestões que o sistema apresenta, filtrando os dados que deseja imprimir e gravar. O relatório gráfico é uma forma visual de exibir os dados existentes no relatório escrito, ajudando o usuário a compreender melhor o que está sendo apresentado como solução do processo de adequação de força motriz.

O programa computacional SETMO contém ainda outras telas como, por exemplo, telas de ajuda e uma tela em que são exibidos preços de motores de acordo com suas configurações.

Os conjuntos de dados utilizados nas análises, realizadas no SETMO, no período de validação, foram comparados com análises realizadas por meio de planilhas eletrônicas, sendo encontrados os seguintes resultados: (i) os valores de VPL individual, obtidos com a utilização do SETMO, para os vários motores analisados, apresentaram erro máximo de R\$ 0,70; (ii) os valores de VPL total, obtidos por meio da soma dos valores de VPL individuais com a utilização do SETMO, apresentaram erro máximo de R\$ 1,14; (iii) o erro máximo apresentado para valores de TIR, obtidos com a utilização do SETMO, foi de 1,46%. (iv) os valores de consumo de energia, obtidos com a utilização do SETMO, apresentaram erro máximo de 3 kWh/ano, enquanto os valores de custo de energia, manutenção e demanda apresentaram erros inferiores a R\$ 0,05 e (v) os valores de RBC e TRC, obtidos com a utilização do programa SETMO, não apresentaram diferenças significativas, quando comparados aos resultados obtidos com utilização de planilha eletrônica.

Nos conjuntos de dados obtidos nas auditorias energéticas, realizadas na Fábrica de Ração da Universidade Federal de Viçosa e na empresa frigorífica Pif Paf Alimentos, onde todos os motores em funcionamento eram convencionais (tipo Standard), os resultados indicaram que 7,9% dos motores estavam operando abaixo da potência adequada (com índices de carregamento superiores a 100%), 15,8% dos motores estavam adequados à condição



de carga e 15,8% estavam operando acima da potência adequada (com índices de carregamento inferiores a 75%) e 60,5% estavam operando com índice e carregamento abaixo de 50%, tal como está mostrado no gráfico exibido na Figura.6.

Considerando-se apenas os motores que estavam adequados à condição de carga, as análises indicaram que 33,3% deles deveriam ser mantidos enquanto 66,7% deveriam ser trocados por motores de alto rendimento.

Para o conjunto de motores com potência nominal abaixo da potência adequada à condição de carga, foi indicada a troca por motores de alto rendimento, com potência nominal igual à atual, em 66,7% dos casos e o reaproveitamento de motores do tipo convencional adequados em 33,3% dos casos. Quando esta situação é identificada, sugere-se que seja diminuída a carga e que sejam repetidos os testes. Motores que

trabalham com índice de carregamento superior a 100% têm vida útil menor, devido ao desgaste proporcionado pelo excesso de carga, sendo aconselhável que tais condições ocorram apenas em ocasiões em que ocorram picos de carga.

Para o conjunto de motores com potência nominal acima da potência adequada, foi indicada a troca por motores de alto rendimento em 37,9% dos casos; a troca por motores convencionais novos em 10,3%; a troca por motores convencionais existentes em 3,4% dos casos; bem como o reaproveitamento de motores existentes com valores de potência nominal entre o valor da potência atual e o valor da potência adequada, em 48,3% dos casos.

Na Figura 7, exhibe-se um histograma de distribuição das recomendações, apresentadas no relatório do SETMO, para se obter maior eficiência energética na região de Visconde do Rio Branco-MG.

**Figura 1.** Entrada de dados inicial do SETMO

**SETMO - Sistema de Análises Econômica e Técnica para Adequação de Força Motriz**

Sair Preços dos Motores Ajuda

Classe do Consumidor (Tensão de Alimentação)

A1 (Superior ou igual a 230 kV)       A3a (30 a 44 kV)

A2 (88 a 138 kV)       A4 (2,3 a 25 kV)

A3 (69 kV)       AS (2,3 a 25 kV - subterrâneo)

Valores das tarifas

Consumo no horário de ponta e período seco ..... 0,075720 R\$/ kWh

Consumo no horário de ponta e período úmido ..... 0,066230 R\$/ kWh

Consumo no horário fora de ponta e período seco ..... 0,053580 R\$/ kWh

Consumo no horário fora de ponta e período úmido ..... 0,045520 R\$/ kWh

Demanda no horário de ponta ..... 13,300000 R\$/ kW

Demanda no horário fora de ponta ..... 2,790000 R\$/ kW

Tarifas relativas à CEMIG, resolução nº 176 de 04/04/2002, não considerando a incidência de ICMS.

**Figura 2.** Entrada de dados para os custos com tarifas de energia elétrica no programa SETMO

**SETMO - Sistema de Análises Econômica e Técnica para Adequação de Força Motriz**

Sair Preços dos Motores Obter dados de arquivo texto Ajuda

**DADOS DO MOTOR 1**

Tipo de motor

Standard

AltoRendimento

Número de pólos

2

4

6

8

Potência (cv)

1       5       15       50

1,5       6       20       60

2       7,5       25       75

3       10       30       100

4       12,5       40

Tipo de ligação

Triângulo

Estrela

Tensão de alimentação (V)

220/380

380/660

Corrente (A)

Fase A : 85

Fase B : 88

Fase C : 80

Operação do motor no horário de ponta: 500 horas/ano      Operação do motor no horário fora de ponta: 1000 horas/ano

Tempo que o motor está em operação: 2 anos

Identificação do motor (código ou aplicação): Motor01

**Figura 3.** Cadastro dos motores no programa SETMO

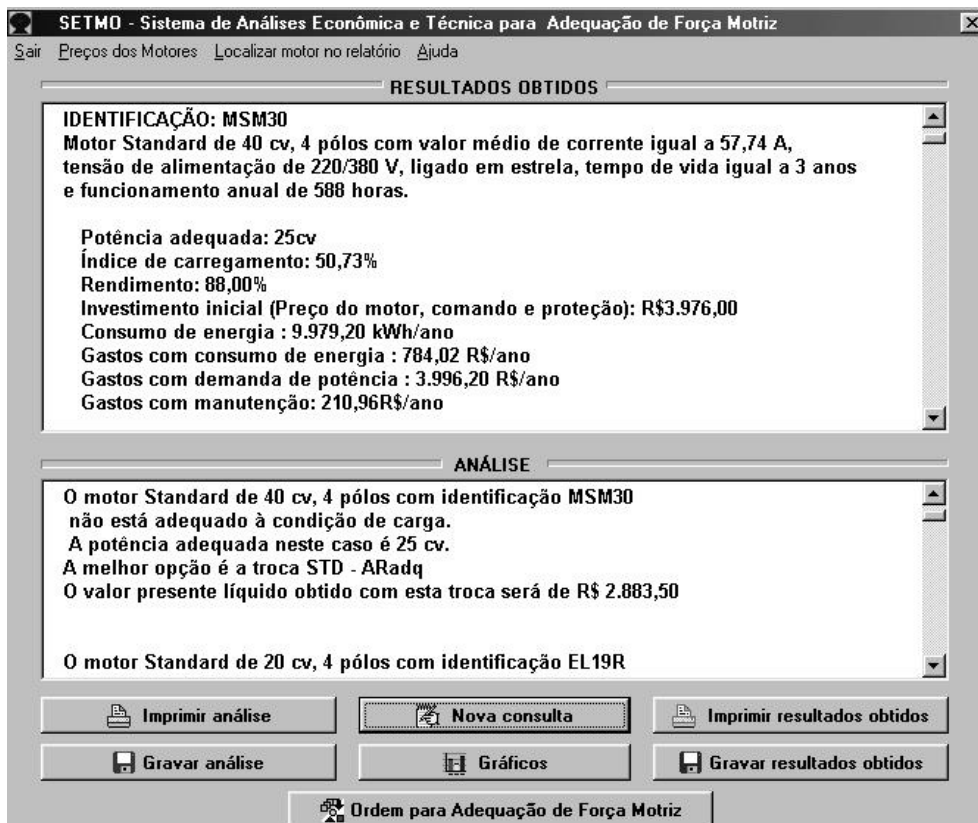


Figura 4. Relatório escrito gerado pelo programa SETMO

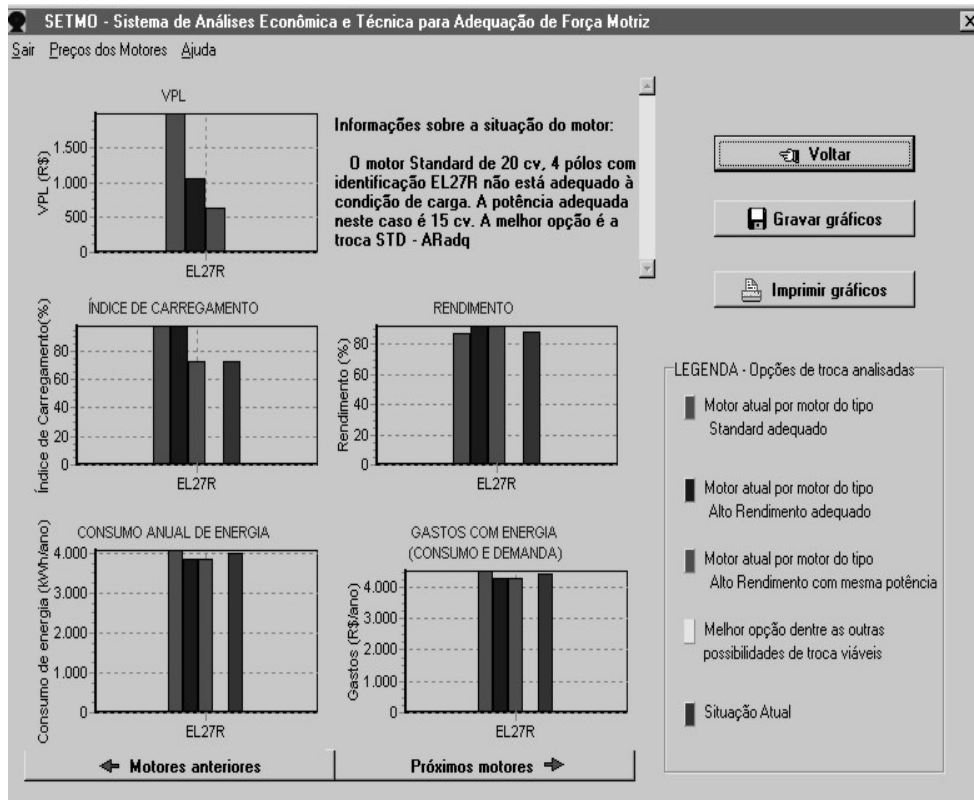
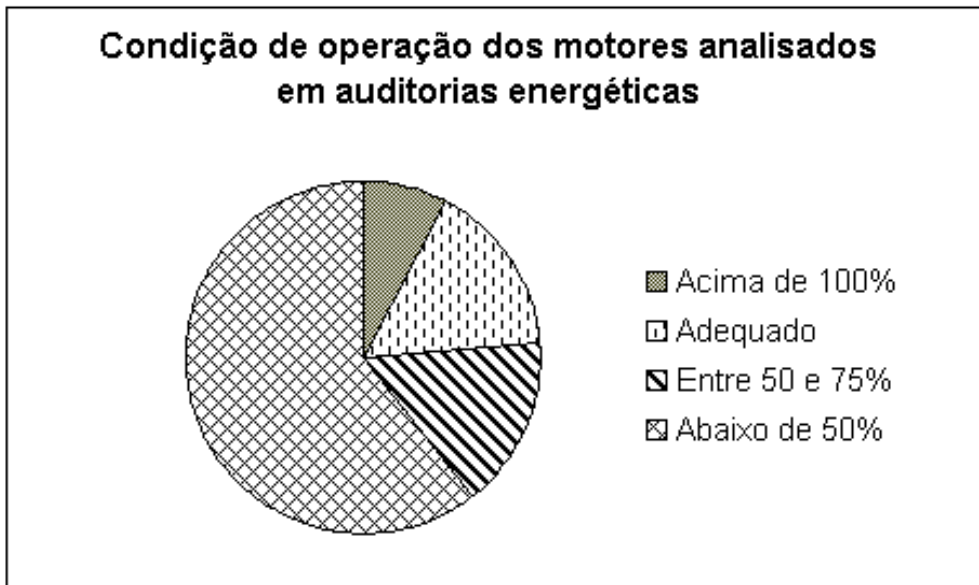
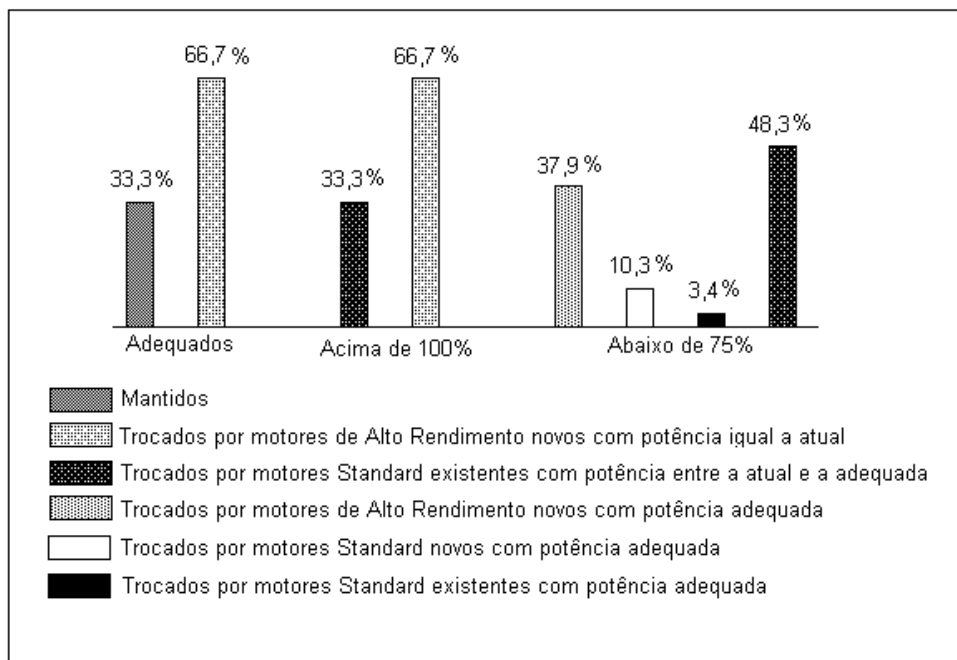


Figura 5. Relatório gráfico gerado com a utilização do programa SETMO



**Figura 6.** Condição de operação dos motores analisados em auditorias energéticas na região de Visconde do Rio Branco (MG)



**Figura 7.** Trocas indicadas pelo SETMO para o conjunto de dados analisados em auditorias energéticas realizadas na região de Visconde do Rio Branco (MG)

## CONCLUSÕES

O relatório obtido com a utilização do programa SETMO possibilitou a avaliação da viabilidade na adequação de força motriz, considerando-se o remanejamento de motores existentes, gerando resultados confiáveis. A utilização desse programa possibilita análises de forma mais rápida e simples, podendo ser utilizado como apoio na tomada de decisões por profissionais da área de energia/eletricidade.

Os motores de alto rendimento apresentam maiores rendimentos, menores consumos de energia elétrica, menores gastos com energia e demanda e custos de manutenção competitivos com os dos motores convencionais. Entretanto, o alto investimento necessário para a aquisição de motores de alto rendimento é o fator que, em algumas situações, torna a opção de troca de motores convencionais por motores de alto rendimento menos atrativa, economicamente, ou inviável dentro de um horizonte de planejamento de 10 anos. Os programas de incentivo à aquisição de motores eficientes, que possibilitam a compra deste tipo de motor a um valor mais baixo, apresentam-se como ponto de partida para que, no futuro, seja possível adquirir motores eficientes a custos mais acessíveis. Finalmente, o remanejamento dos motores existentes permite a otimização de seu processo de operação, com custos menores, sendo um incentivo adicional à implantação da adequação de força motriz como medida de racionalização de energia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMARGO, I.M.T. **Noções básicas de engenharia econômica: aplicações no setor elétrico**. Brasília: FINATEC, 141 p., 1998.

FRIZZONE J.A. e SILVEIRA, S.F.R, Avaliação e custos de projetos de irrigação. In: 1º Seminário de Energia na Agricultura - CEMIG, Uberaba: 2000. **Anais...** s.n., v.1, p.1-87.

GELLER, H.S. **Efficient electricity use: a development strategy for Brazil**. American Council for an Energy, Washington, 1991. 30p.

GERALD, C.F., WEATLEY, P.O., **Applied Numerical Analysis**. Addison-Welwy Publ. Co., 579 p., 1994.

KOHLBACH. Catálogo eletrônico de produtos. Caxias do Sul. Disponível via URL: <http://www.kohlbach.com.br>. Consulta realizada em: maio de 2002.

LOPES, D.C. et al. Otimização da eficiência no processo de operação de motores por meio da adequação de força motriz In. Congresso Brasileiro de Eficiência Energética, Belo Horizonte. **Anais...** CBEE 2005, v.1, n.1, p.377-382. 2005.

PROCEL **Programa de combate ao desperdício de energia elétrica – motor de alto rendimento**. Guia técnico. Rio de Janeiro, v.1.18p, 1998.

SOARES, J.A. e TABOSA, R.P. Motores elétricos: uma análise comparativa de mercado e eficiência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 7, 1996, Rio de Janeiro. **Anais...** p.2019-2028.

SOARES, J.A. e HERSZTBERG, I. e AROUCA, M.C. Avaliação econômica da utilização de motores elétricos industriais de indução de alto rendimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 7, 1996, Rio de Janeiro. **Anais...** p.2059-2073.

TEIXEIRA, C.A. et al. Racionalização do uso de força motriz em fábrica de ração. **Revista Engenharia Agrícola**. Jaboticabal. v.25, n.2, p.330-340, 2005.

WEG. Catálogo eletrônico de produtos. Jaraguá do Sul, RGS. <http://www.weg.com.br>. Abril de 2001

ZANIN A. et al. Métodos indiretos para adequação de força motriz em uma unidade compressora do sistema de refrigeração de um abatedouro de aves. In: 4o Encontro de Energia no Meio Rural, Campinas. Disponível em meio digital via URL: <http://www.agr.unicamp.br/energia>, 2002.