

## PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA SELEÇÃO DE CONJUNTOS MOTO-BOMBA

**Vanderlei Artur Bier<sup>1</sup>; Eduardo Godoy de Souza<sup>2</sup>; Márcio Antonio Vilas Boas<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Universidade Paranaense, Toledo – PR, vabier@unipar.com.br.*

<sup>2</sup>*Núcleo de Inovações Tecnológicas -Universidade Estadual do Oeste do Paraná , Cascavel - PR,*

### 1 RESUMO

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um programa computacional para a seleção e avaliação de conjuntos moto-bomba, baseada na eficiência do conjunto calculada a partir da eficiência máxima da bomba e da eficiência máxima do motor. O programa computacional desenvolvido auxilia na seleção racional, através da incorporação de coeficientes de regressão das curvas desempenho da altura manométrica e do rendimento em função da vazão para bombas, e curva de torque e rendimento em função da rotação para motores. Através do cruzamento das curvas de desempenho de cada elemento, encontra-se um ponto ótimo de funcionamento do conjunto, baseando-se em condições sugeridas pelo projeto de irrigação. O programa desenvolvido pode ser utilizado para fins didáticos e está disponível gratuitamente através de solicitação por email ao primeiro autor.

**UNITERMOS:** Seleção racional, irrigação.

**BIER, W. A.; SOUZA, E. G.; BOAS, M. A. V. SOFTWARE TO SELECT MOTOR-PUMP GROUPS**

### 2 ABSTRACT

The objective of this study was to develop a new selection methodology and evaluation for motor-pump groups, based on the group efficiency which is calculated from the pump maximum efficiency and the motor maximum efficiency. A software was developed to help out that rational selection which uses regression coefficient of water height performance curve and performance curve, and coefficient of torque and performance curves in relation to motor rotation. Through the crossing of performance curves for each element, an optimal operation point, based on the suggested conditions of the irrigation project, was found for the group.

**KEYWORDS:** Rational selection, irrigation

### 3 INTRODUÇÃO

A agricultura moderna e rentável cada vez mais necessita da irrigação. A técnica de pressurização de líquidos, seja com o intuito de

adubação ou de suprimento de água, requer conjuntos formados por motores e bombas de irrigação, denominados conjuntos moto-bomba. Segundo Leopoldo (1987), as bombas mais freqüentemente usadas na agricultura são as centrífugas.

A seleção de uma bomba é feita utilizando-se um mapa contendo os dados de seu funcionamento em laboratório - denominado mapa de desempenho ou simplesmente catálogo da bomba. Nestes catálogos podem-se observar dados como valores de vazão, altura manométrica e rendimentos. Deve-se também complementar a seleção através do estudo de fatores como facilidade de aquisição e reposição de peças, idoneidade do fabricante, resistência, custo e rendimento da bomba. Depois de escolhida a bomba faz-se necessária a seleção e aquisição de um motor que possa suprir as necessidades da bomba e conseqüentemente do projeto de irrigação. Este motor por sua vez, também tem seu funcionamento apresentando por um mapa de desempenho, que informa, entre outras coisas, a relação entre rotação, potência e rendimento (SOUZA e MILANEZ, 1990). O conjunto moto-bomba deve, então, trabalhar de forma sincronizada, onde a principal meta a ser atingida é irrigar a cultura com o mínimo de dispêndio de energia. Esse sincronismo consegue-se através de modificações mecânicas no equipamento, alterando os rotores das bombas ou ainda fazendo-se o mecanismo trabalhar com diferentes rotações. Em todos os casos devem-se fazer alterações baseando-se na curvas características tanto dos motores quanto das bombas.

Segundo Macintyre (1987), a bomba deve ser projetada para operar a rotações prefixadas. Para cada rotação  $N$ , a bomba fornecerá uma descarga  $Q$ , a uma altura manométrica  $H_m$ , proporcionando um rendimento  $\eta$ .

A utilização de uma bomba não é definida para um único ponto de trabalho, mas sim para uma determinada faixa de variação de altura manométrica e vazão (LEOPOLDO, 1987). Souza e Santa Catarina (1999) relatam que a eficiência dos motores de combustão sofre variações tanto em função do torque quanto da rotação a eles imposta e que modelos

matemáticos podem ser desenvolvidos para definir o mapa de desempenho de motores. Conclui-se portanto, que tanto a bomba quanto o motor possuem seu ponto ótimo de funcionamento. A solução para se encontrar o ponto ótimo de operação de um conjunto moto-bomba é selecionar um motor que forneça a rotação necessária à vazão e altura manométrica exigidas, onde a melhor rotação é a que supre as necessidades da bomba, fazendo com que o conjunto trabalhe numa faixa em que o produto dos rendimentos do motor e da bomba seja máximo.

Segundo Macintyre (1987), ensaiando-se uma bomba para um dado valor constante de rotação e determinando-se os valores do rendimento para um número bastante grande de vazões e alturas manométricas, pode-se traçar curvas que representam valores constantes para o rendimento.

Santos e Ramos (1995) propuseram uma metodologia alternativa para apresentação de curvas características de bombas. A partir de um banco de dados de 126 modelos de bombas centrífugas de dois fabricantes, geraram estatisticamente um banco de dados com modelos que definem, além de informações comerciais e especificações técnicas, os parâmetros de mais de 1900 equações que descrevem as características de cada um dos modelos.

Outro programa computacional, o PUMPCOM (Andrade e Allen, 1997), fornece os coeficientes das equações das curvas características em até quinto grau, e as desenha em função dos dados da bomba.

As curvas características, obtidas em laboratório de ensaio, são fornecidas pelos fabricantes, para cada modelo de bomba. Essas curvas são importantes para o projeto e operação de um sistema de recalque e, quando completas, permitem inter-relacionar não só as condições de vazão e altura manométrica, como também uma série de outras características, tais como, eficiência da bomba, diâmetro do rotor, rotação, altura manométrica máxima permitida para a sucção e potência absorvida.

A potência útil de uma bomba é função da massa específica do líquido a ser impulsionado, da vazão do líquido e da altura manométrica a que este líquido deve ser submetido, segundo a equação :

$$P_u = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_m}{750 \cdot \eta} \quad (1)$$

em que:

$P_u$  = Potência útil na bomba, em cv;

$\gamma$  = Peso específico do líquido, em kgf/m<sup>3</sup>;

$Q$  = Vazão, em L/s;

$H_m$  = Altura manométrica, em metros; e,

$\eta$  = Rendimento da bomba, em %.

De posse das curvas de desempenho da bomba e da Equação 1, pode-se fazer simulações de potência requerida por uma bomba em determinada vazão e altura manométrica, considerando seu rendimento mecânico.

Leopoldo (1987) relata que a potência absorvida por um motor no ponto de operação do sistema pode ser determinada por:

$$P_m = \frac{P_u}{\eta_m} \quad (2)$$

em que:

$P_m$  = Potência útil do motor que deve ser instalado;

$\eta_m$  = rendimento do sistema de acoplamento

Para a escolha de um motor devem ser consideradas as características de desempenho, onde a faixa de trabalho, por razões técnicas se situe entre o torque máximo e a potência máxima. Pequenas variações na rotação do motor podem ser obtidas através da regulagem da alavanca de acionamento da bomba injetora quando se trata de motores diesel. Observe-se ainda, que do ponto de vista econômico, é preferível que o motor trabalhe próximo às condições de consumo específico mínimo (LEOPOLDO, 1987).

A potência no motor também pode ser calculada em função do torque e rotação pela equação:

$$P_m = \frac{T \cdot N}{9549,3} \quad (3)$$

em que

$P_m$  = Potência no motor, em kW;

$T$  = Torque no motor, em N.m;

$N$  = Rotação no motor, em rpm.

Souza e Santa Catarina (1999) desenvolveram um programa computacional capaz de elaborar mapas de desempenho para motores de combustão interna ensaiados em bancada. Após alimentado com dados do ensaio do motor, o programa computacional calcula os coeficientes  $f_1$  até  $f_6$  das equações 4 e 5. A Equação 4 traz o rendimento mecânico para motores de combustão interna (Efg) em função da rotação ( $N$ ) e do torque ( $T$ ) do motor analisado.

$$Efg = f_1 N^2 + f_2 T^2 + f_3 N \cdot T + f_4 N + f_5 N + f_6 \quad (4)$$

em que:

$f_1$  até  $f_6$  = Coeficientes de regressão.

Os mesmos autores definem como curva ótima de operação a relação entre Torque  $T$  e rotação  $N$ , na qual a eficiência é máxima para cada nível constante de potência, satisfazendo a equação:

$$2 \cdot f_2 \cdot (T^2) + f_5 \cdot (T) - (2 \cdot f_1 \cdot N^2 + f_4 \cdot N) = 0 \quad (5)$$

O torque à eficiência máxima do motor é o torque que satisfaz a Equação 5. Desenvolvendo-se esta equação e desconsiderando-se a parte inválida, isto é, torque negativo, obtém-se a equação:

$$T = \frac{-f_5 - \sqrt{f_5^2 + 8f_2 \cdot N \cdot (2 \cdot f_1 \cdot N + f_4)}}{4 \cdot f_2} \quad (6)$$

Com relação à curva de desempenho do motor que correlaciona o torque  $T$  do motor com sua rotação  $N$ , SOUZA e MILANEZ (1988) propuseram as equações 6 e 7:

Para o motor operando fora da zona de corte do regulador de rotação:

$$T = d_0 + d_1 N + d_2 N^2 + d_3 N^3 \quad (7)$$

em que:

$d_0$  até  $d_3$  = constantes a serem determinados de ensaios de desempenho e  $d_3=0$  para motores aspirados.

Para motores operando na zona de corte do regulador de rotações:

$$T = e_0 + e_1 N + e_2 N_m + e_3 N_m^2 \quad (8)$$

em que:

$e_0$  até  $e_3$  = constantes a serem determinados de ensaios de desempenho e  $e_3=0$  para motores aspirados;

$N_m$  = rotação máxima livre.

O ponto ideal de operação de uma bomba pré-escolhida irá atender a demanda da vazão e altura manométrica num ponto de operação o mais próximo possível do seu ponto de rendimento mecânico máximo. Este ponto é encontrado determinando-se a rotação  $e$ , conseqüentemente o torque do motor, na potência considerada ideal para suprir as necessidades da bomba, pelo cruzamento da curva de ótima operação (Equação 5) com a curva de potência constante do motor (Equação 3). O rendimento mecânico do conjunto fica estimado como sendo o produto do rendimento da bomba pelo rendimento do motor. Quanto maior este valor, melhor o desempenho do conjunto. Em caso de que a curva gerada pela Equação 3 não apresente cruzamento com a curva de torque à eficiência máxima (Equação 5), faz-se necessário a simulação com um motor com outras características.

Segundo Leopoldo (1987), em caso de acoplamento direto, a ligação entre o motor de acionamento e bomba é feito por meio de luva elástica. Este acoplamento é utilizado quando não há necessidade de que as rotações da bomba ou do motor sejam alteradas, muito comum em motores elétricos. Quando se tem diferente rotação entre motor e bomba, o acoplamento é feito indiretamente, utilizando-se correia em V ou planas, caixa de engrenagens, transmissões hidráulicas ou ainda por acoplamentos especiais, sendo que correias planas atualmente estão sendo abandonadas tendo-se em vista a grande perda que ocorre nesse tipo de transmissão. Dentre os diferentes tipos de acoplamentos indiretos, o mais

generalizado no meio rural é a correia em V. A relação de transmissão é a razão entre rotação do motor em relação à rotação da bomba, e é representada pela equação:

$$i = \frac{N_m}{N_b} \quad (9)$$

em que:

$i$  = relação de transmissão motor/bomba.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um programa computacional, denominado DESMOBO- Desempenho de conjuntos Moto-Bomba, para auxiliar essa seleção racional de conjuntos moto-bomba, capaz de receber coeficientes de regressão das curvas desempenho da altura manométrica e do rendimento em função da vazão para bombas, e curva de torque e rendimento em função da rotação para motores.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas equações do tipo polinomial de 3º grau para modelar o desempenho de uma bomba, em virtude da facilidade de obtenção de coeficientes de regressão, através do programa computacional PUMPCOM (ANDRADE e RICHARD, 1997) ou da adição de "linha de tendência" no Microsoft Excel.

Para determinação do desempenho e da curva ótima de operação do motor foi utilizado o procedimento proposto por Souza & Santa Catarina (1999), através do programa computacional COOMW (SOUZA e SANTA CATARINA, 1999), utilizando-se as equações de 4 a 8.

A relação de transmissão motor/bomba foi calculada pela Equação 9, visto que a rotação do motor ficou estabelecida pelo cálculo do ponto ideal de operação do motor e a rotação da bomba é indicada pelo fabricante ou redefinida devido a alterações das características de operação da bomba.

Estabelecido o conjunto, deve-se, então, partir para análise final do conjunto moto-bomba, não detalhada neste trabalho. Ela inclui a correção das curvas de desempenho para funcionamento da

bomba, devido a uma possível variação nas dimensões do rotor indicado pela simulação, a verificação da disponibilidade do conjunto selecionado, o cálculo da relação custo-benefício e a análise da possibilidade de manutenção do equipamento.

No intuito de agilizar a operação de simulação dos conjuntos moto-bomba, desenvolveu-se um programa computacional que permite visualizar o efeito da alteração de um ou mais parâmetros físicos ou de operação da bomba, do motor ou de ambos. O programa computacional foi desenvolvido para computadores do tipo PC, no ambiente Windows 95 ou posterior, com ferramenta de programação Visual Basic 5.0 e apoio de banco de dados Microsoft Access 7.0. A escolha de ferramenta foi devido a possibilidade de confecção de programas com interface amigável e orientada a eventos, além de se tratar de ferramentas populares entre usuários de informática.

Na análise estatística, o coeficiente de determinação múltipla  $R^2$  utilizado na avaliação das equações propostas. A técnica de mínimos quadrados foi empregada na determinação dos estimadores das referidas equações.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 O programa computacional de seleção

O programa computacional denominado DESMOBO, seleciona conjuntos moto-bomba e onde determina o ponto ideal de funcionamento do conjunto, baseando-se em condições que devem ser supridas pelo projeto de irrigação/bombeamento. O programa possui as seguintes características:

- Banco de dados de bombas;
- Banco de dados de motores;
- Representação gráfica de mapas de desempenho de bombas;
- Representação gráfica de mapas de desempenho de motores;

**Quadro 1.** Dados da bomba Mark DY – 3500 rpm, rotor de 179 mm.

Vazão [m <sup>3</sup> /h]	Vazão [L/s]	Hm [m]	Rendimento [%]	NPSH [m.c.a.]
60	17	57	50	2,00
80	22	56	60	2,01

- Simulação do ponto ideal de operação de conjuntos motor-bomba;
- Simulação de faixas de operação moto-bomba próximos ao ponto de menor dispêndio de energia;
- Ambiente amigável ao usuário.

### 5.2 Estudo de Caso para demonstração do Programa Computacional – DESMOBO

Com a finalidade de se demonstrar o funcionamento do programa computacional foi selecionada a bomba Mark – Modelo DY e com ela se fará todo o processo de seleção do conjunto moto-bomba. O Quadro 1 apresenta os dados de desempenho de operação da referida bomba.

Com o auxílio da planilha eletrônica Microsoft Excel foram obtidos os coeficientes da equação:

$$\eta = 0,0003 Q^3 - 0,0832 Q^2 + 5,31 Q - 18,39$$

polinomial de 3º grau, o que segundo LEOPOLDO (1987), é o suficiente para um bom ajuste:

$$Hm = -0,0003.Q^3 + 0,0171.Q^2 - 0,4846.Q + 61,598$$

Visando apresentar um estudo de caso para demonstrar a operação do programa computacional DESMOBO, adotou-se as seguintes condições de um projeto teórico: vazão (Q) de 39 l/s e altura manométrica (Hm) de 50 m. Calcula-se então:

- Altura manométrica  $Hm(Q)$ , em m (Equação 11):  
 $Hm = 50,9$  m.;
- Rendimento,  $\eta(Q)$ , em % (Equação 10):  
 $\eta = 80\%$
- Potência na bomba, em cv, para água ( $\gamma = 1000$  kgf/m<sup>3</sup> - Equação 1):  
 $P_u = 24,2$  kW (33,1 cv).

100	28	55	73	2,10
120	33	54	77	2,21
140	39	52	81	2,46
160	44	49	81	2,92
180	50	44	77	3,69
200	56	38	73	5,13

FONTE: Catálogo do fabricante - bombas Mark

### 5.2.1 Cálculos do motor

O desempenho do motor foi simulado com o auxílio do programa computacional COOMW, adotando-se as seguintes características:

- Rotação: mínima= 1000 rpm, máxima= 2800 rpm;

- Rotação de potência máxima: 2400 rpm;

- Rotação máxima livre: 2594 rpm;

- Torque: mínimo= 0 N.m, máximo= 500 N.m;

- Combustível: Diesel (Poder Calorífico Inferior = 42,6 MJ/Kg)

No referido programa computacional obtém-se os coeficientes (Quadro 2) da equação de torque no motor da Equação 7 e os coeficientes (Quadro 3) para o cálculo da eficiência de consumo do motor considerado, conforme Equação 4.

**Quadro 2.** Coeficientes da Equação 7 para o motor estudado

$B_1 =$	423,9587088
$B_2 =$	-0,12727681
$B_3 =$	0,000172411
$B_4 =$	-0,00000050582

FONTE: programa computacional COOMW.

**Quadro 3.** Coeficientes da Equação 4 para o motor estudado

$F_1 =$	-0,0000004793
$F_2 =$	-0,000002048
$F_3 =$	0,0000007648
$F_4 =$	0,00014
$F_5 =$	0,001314
$F_6 =$	0,01029

FONTE: programa computacional COOMW.

O torque à eficiência máxima do motor é o torque que satisfaz a Equação 7. O Quadro 4 apresenta o torque máximo e torque de eficiência máxima para a faixa de rotação de

1000 a 2800 rpm. Observa-se que a faixa de valores de torque de eficiência máxima é válida para valores inferiores aos de torque máximo.

**Quadro 4.** Torque máximo e torque de eficiência máxima para os coeficientes dos Quadros 3 e 4.

Rotação [rpm]	Torque [N.m]	T Ef Máx [N.m]
1000	418,5	282,7
1200	432,1	296,1
1400	444,9	314,5
1600	454,5	336,3
1800	458,5	360,5
2000	454,4	386,2
2200	439,8	413,0
2400	412,3	440,6
2600	369,5	468,7
2800	308,9	497,3

### 5.2.2. Seleção do conjunto moto-bomba

A partir da potência necessária na bomba de 24,2 kW, desconsiderando-se perdas devido a transmissão e utilizando-se a Equação 3, calcula-se os dados do Quadro 5. Este quadro apresenta pares de torque e rotação que proporcionam a potência constante de 24,2 kW.

**Quadro 5.** Torque à potência constante.

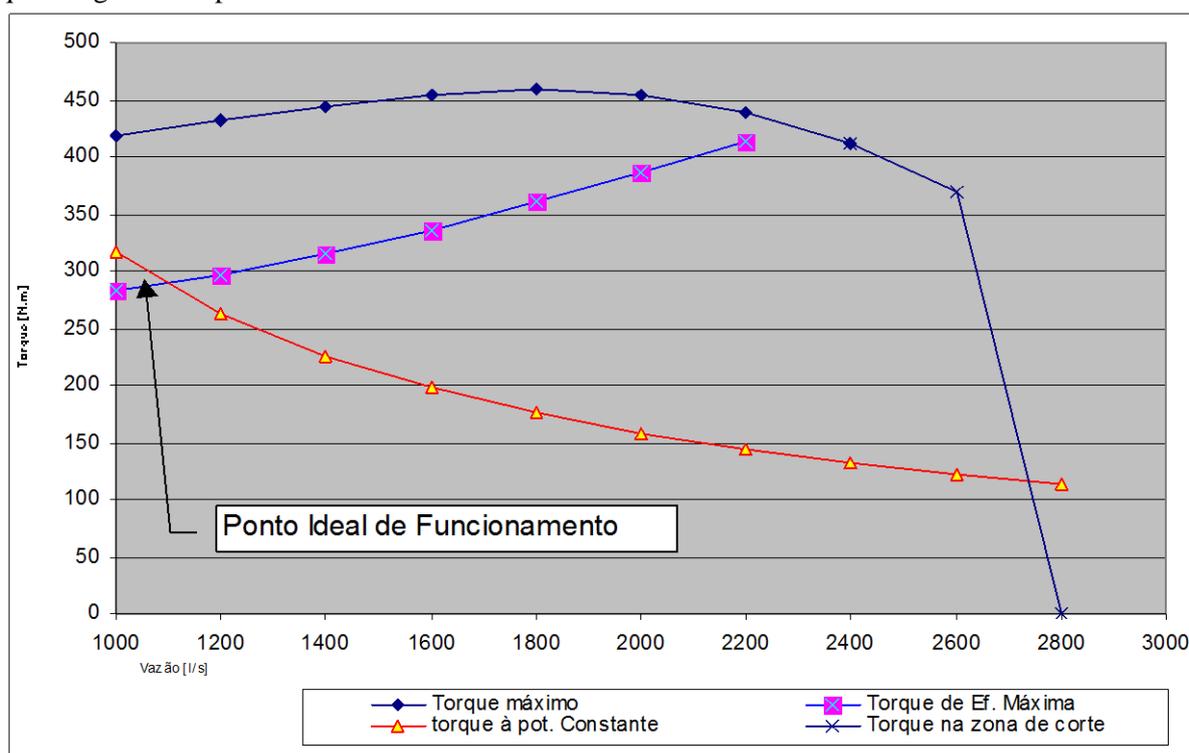
Rotação [rpm]	Torque Pot. Constante [N.m]
1000	316,2
1200	263,5
1400	225,8
1600	197,6
1800	175,7
2000	158,1
2200	143,7

2400	131,7
2600	121,6
2800	112,9

Sobrepondo-se os dados dos Quadros 4 e 5 encontra-se o ponto ideal de funcionamento do conjunto, ou seja, o cruzamento da curva que indica qual a relação rotação/torque no motor que vai garantir a potência necessária na bomba

com a curva de torque de eficiência máxima estimada para este motor.

A rotação no motor, segundo o gráfico da Figura 1, é aproximadamente 1100 rpm. Com o uso da Equação 8 calcula-se então a relação de transmissão motor/bomba ( $i$ ) de 0,314.



**Figura 1.** Seleção gráfica do ponto ideal de funcionamento do conjunto moto-bomba selecionado.

### 5.3 Gráfico da Bomba

O programa computacional desenvolvido possibilita o usuário a determinar as curvas de bomba e motor. O mesmo poderá cadastrar novas marcas e modelos com suas respectivas características. Sendo possível determinar gráficos e alterar configurações de entrada de dados (Figura 2).

Optou-se por iniciar a seleção por um gráfico de rendimento na bomba versus vazão (Figura 3), para que se tenha uma visão direta do rendimento da bomba na vazão desejada. A altura manométrica

é relacionada com o rendimento e vazão no ponto considerado. Para situações em que os

valores de altura manométrica em função da vazão e rendimento do ponto considerado não supram as necessidades de projeto com boa eficiência, opta-se por uma nova bomba que atenda as necessidades.

### 5.4 Gráfico do Motor

As curvas 1 e 2 da Figura 4 representam a curva de torque máximo no motor em função da sua rotação. A curva 1 refere-se a curva de torque antes da atuação do regulador de rotação e a curva 2, na zona de atuação do regulador de rotação. A curva 3 representa a curva de torque de máxima eficiência no motor, conhecida como curva ótima de operação. As outras duas

curvas são calculadas em função das condições de operação simulada na bomba. A curva 4 representa, para uma determinada bomba, a curva de torque a potência constante para o máximo rendimento da bomba. Já a curva 5 corresponde à curva de torque para o rendimento sugerido pelo usuário. Finalmente, temos a reta 6 correspondente a rotação de operação sugerida pelo usuário e ao ponto de

operação do conjunto 6. Para a simulação representada pela Figura 4, o software aponta a rotação de 1102 rpm como à rotação ideal no motor para que este funcione com rendimento máximo. A relação de transmissão deve então ser ajustada (equação 9) para estabelecer a rotação exigida na bomba de acordo com a rotação ideal para este motor, nas condições de simulação.

DESMOBO - Desempenho de Conjuntos Moto-Bomba v. 1.0

SAIR Bombas Motores Gráficos Calculadora Sobre

Bomba Modelo 1 / Motor 0 05/05/2004 - 13:42

Curvas da Bomba Curvas do Motor Configuração Cálculos

Dados de ensaio da bomba

Bomba selecionada 36 - Modelo 1

Diâmetro do rotor [mm] 100 [Pol]

Vazão [l/s] mín. 25 máxima 60 Rotação [rpm] 3500

Coeficientes

$$Y = a + b \cdot Q + c \cdot Q^2 + d \cdot Q^3 + e \cdot Q^4 + f \cdot Q^5$$

Hman	40,289	1,1253	-0,021	0	0	0
Efic	14,36	3,1516	-0,0378	0	0	0

Cadastrar Bomba  
Ver Bombas  
Excluir  
Gravar

Figura 2. Tela principal do programa computacional - Desmobo

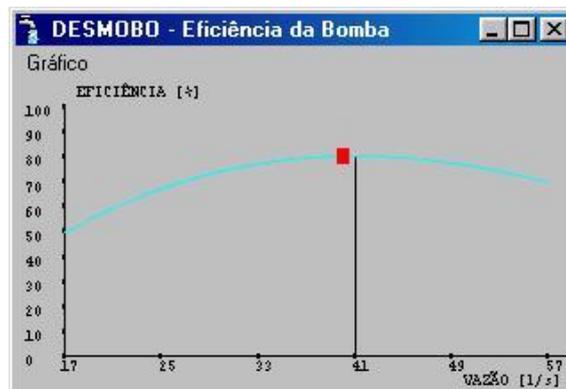


Figura 3. Gráfico da eficiência (rendimento) de uma bomba em função de sua vazão.

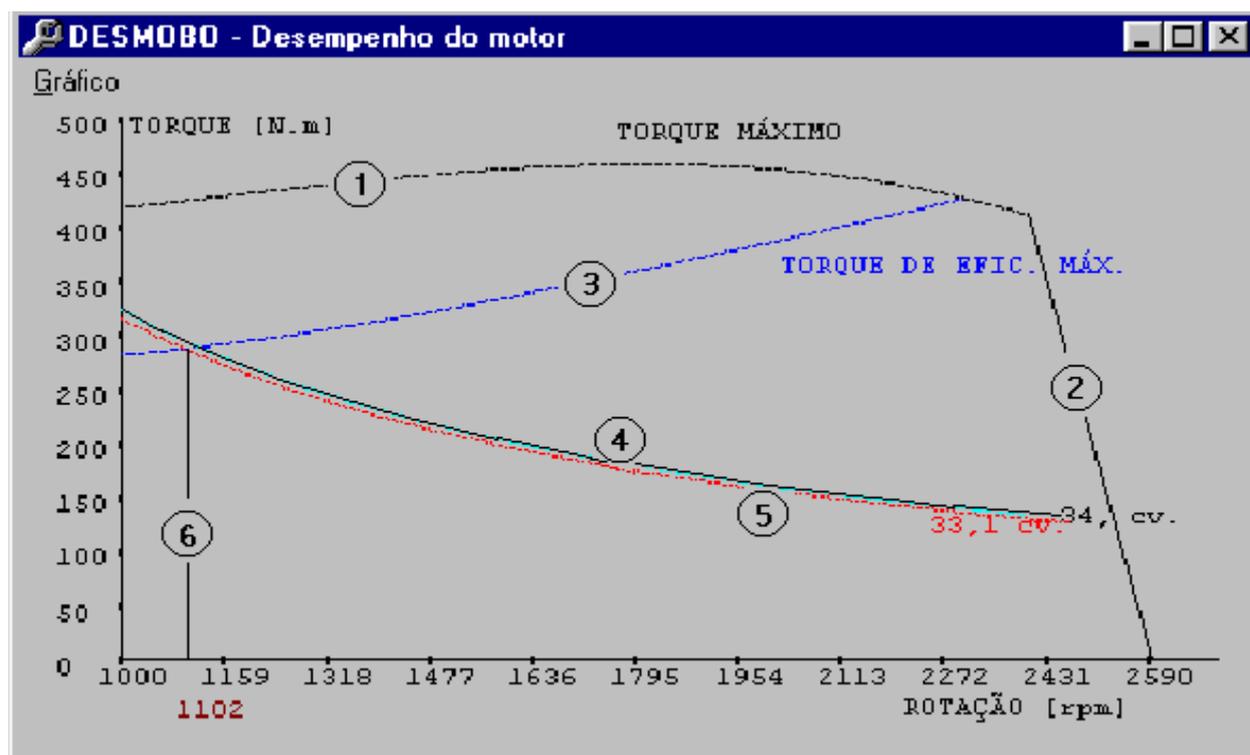


Figura 4. DESMOBO - Gráfico de desempenho no motor.

## 6 CONCLUSÕES

Em função do estudo realizado neste trabalho concluiu-se que:

- Uma nova metodologia para determinação do ponto ótimo de funcionamento de um conjunto motor de combustão interna (diesel) e bomba de recalque de líquido (água) foi desenvolvida;

- Um programa computacional, o DESMOBO - Desempenho de Conjuntos Motor e Bomba - foi desenvolvido, e atende a nova metodologia criada para desenvolvimento de conjuntos moto-bomba, agilizando cálculos, permitindo simulações em tempo real de funcionamento dos conjuntos considerados, em que dados de projeto de bombeamento de líquido podem ser testados ou reconsiderados no intuito de diminuir os custos de operação.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, C. L. T.; ALLEN, R. G. Pumpcom - pump combination - simulation system user's manual. **Brasilian Agricultural Research Corporation** (EMBRAPA-Brazil) and Utah State University (USA). Disponível em <<http://www.engineering.usu.edu/bie/software.html>> Acesso em: 12 Oct. 1997.

**Catálogos de Características de Bombas Mark** - 1996.

LEOPOLDO, P. R. **Bombeamento para irrigação**. Brasília: Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior, 1987. 441p.

MACINTYRE, A. J. **Bombas e instalações de bombeamento**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 1987. 667p.

SANTOS, W. L.; RAMOS, M. M. **MAXBOMBAS** - programa para seleção e dimensionamento hidráulico de bombas

centrífugas. Viçosa: UFV – Departamento de Engenharia Agrícola, 1995.

SOUZA E. G. ; MILANEZ, L. F. Indirect evaluation of the torque of diesel engines. **Transactions of the ASAE.**, St Joseph, v. 31, n.5, p. 1350 - 1354, 1988.

SOUZA E. G. ; MILANEZ, L. F. Efficiency analysis of diesel engines. **Transactions of the ASAE.** , St Joseph, v. 33, n. 1, p. 8-14, 1990.

SOUZA E. G. ; SANTA CATARINA, A. Optimum working curve for diesel engines. **Transactions of the ASAE**, St.Joseph, v. 42, n. 3, p. 559-563, 1999.