



DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE RECALQUE¹

Leandro Andrade², Jacinto de A. Carvalho³

RESUMO: *O trabalho teve por objetivo desenvolver um aplicativo computacional que servisse como ferramenta prática e precisa no dimensionamento de sistemas de recalque. O programa realiza cálculos de perdas de carga contínua utilizando as equações de Darcy-Weissbach, de Hazen-Williams, de Fair-Whipple-Hsiao, de Flamant e de Manning. A perda de carga localizada é realizada pelo método do comprimento equivalente com o emprego o número de diâmetros. O aplicativo permite calcular a altura manométrica total e a análise econômica onde se determina o diâmetro de recalque econômico e os custos mensais e anuais com energia. Criaram-se janelas que permitem o cadastro de modelos de bombas e motores elétricos para que sejam empregados na seleção visando atender aos pontos de projeto solicitados pelo usuário. Cadastraram-se 102 modelos de bombas e 56 modelos de motores elétricos. A seleção das bombas pode ocorrer através da curva do sistema ou de um ponto de projeto. A associação pode ser feita em série ou em paralelo, desde que informados a curva do sistema, o modelo e o número de bombas a ser associado. O aplicativo permite, também, calcular o NPSH disponível. Os resultados obtidos pelo programa foram comparados com os encontrados na literatura. As diferenças foram insignificantes e, em alguns casos, não existiram. Este software pode ser utilizado em sistemas de recalque destinados à irrigação, ao abastecimento de água e à outros tipos que visem o transporte de fluídos. Recomendam-se o cadastramento de novos modelos de bombas e motores elétricos existentes na região de atuação, assim como a constante atualização dos bancos de dados existentes.*

Palavras-chave: *bomba hidráulica, perda de carga, avaliação econômica.*

DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR DIMENSION OF SYSTEMS OF PRESSING DOWN

ABSTRACT: *The work aimed at to develop an application computacional so that it was used as practical and exactness tool in the projection of systems of it presses down. The application accomplishes calculations continuous losses of load using the equations of Darcy-Weissbach, of Hazen-Williams, of Fair-Whipple-Hsiao, of Flamant and of Manning. The located loss of load is accomplished by the method of the equivalent length using the number of diameters. The software permits calculate the pressure height total and the economical analysis where it is determined the diameter of presses down economical and the monthly and yearly costs with energy. It grew up windows that allow the register of pump and electric motors models, so that they can used in the selection seeking to assist to the project points requested by the user. It was registered 102 models of pumps and 56 models of electric motors models. The selection of the pumps can happen through the curve of the system or through a*

¹ Parte da dissertação de mestrado do 1º autor intitulada: Aplicativo Computacional para dimensionamento de sistemas de recalque.

² Eng. Agrônomo/M.sc. Irrigação e Drenagem, UFLA – Lavras/MG – Brasil, landrade.goias@bol.com.br

³ Prof. Adjunto, Departamento de Engenharia, UFLA - Lavras/MG - Brasil, jacintoc@ufla.br

project point. The association can be made in series or in parallel, informing the curve of the system, the model and the number of bombs to be associated. The program also allows calculate available NPSH. The results obtained by the application were compared with found them in the literature. The differences were insignificant and in some cases they didn't exist. This software can be used in systems of it presses down destined to the irrigation, to the water supply and in other types that seek the transport of fluids. It is recommended the register of new pumps and electric motors models existent in the area of performance, as well as the constant updating of the existent databases.

Keywords: *pressure pump, load loss, economical evaluation*

1 INTRODUÇÃO

Instalações de recalque devem ser projetadas visando atender as demandas de vazão e pressão, sem perder de vista, a eficiência econômica. Para isso, o engenheiro projetista realiza inúmeros cálculos de perdas de carga na tubulação, consultas frequentes a tabelas, ábacos, catálogos de bombas e de motores, além de avaliar o emprego de diversos diâmetros de tubulação para escolher o de menor custo anual total.

Perda de carga hidráulica é a energia cedida pelo líquido devido ao atrito interno e contra as paredes e perturbações no escoamento. Pode ser entendido também como sendo parte da energia potencial de pressão e de velocidade, que é transformada em outros tipos de energia perdidos no processo, tal como o calor. A maior dificuldade de calcular a perda de carga de um sistema de recalque é a determinação do coeficiente de atrito.

Segundo Azevedo Neto et al. (1998), o coeficiente de atrito da equação universal de Darcy-Weissbach, sem dimensões, é função do número de Reynolds e da rugosidade relativa. Para cada tipo de escoamento há um procedimento específico para o cálculo desse coeficiente e existem diversas equações obtidas empiricamente.

Existem inúmeras outras equações para calcular perda de carga contínua, dentre elas estão as equações de Hazen-Williams, de Fair-Whipple-Hsiao, de Flamant e de Manning.

Além da perda de energia ocorrida ao longo da tubulação, as peças especiais, conexões, válvulas etc., também são responsáveis por perdas de energia localizadas por causarem turbulência, alterarem o módulo e direção da velocidade, aumentando o atrito (Macintyre, 1987). Há dois métodos para calcular essas perdas: o método direto e o método dos comprimentos equivalentes (Mattos & Falco, 1998).

Carvalho (1999) acredita que o método dos comprimentos equivalentes conduz à resultados mais exatos, principalmente quando são usados os valores fornecidos pelos fabricantes desses acessórios, conexões e peças especiais.

Outro componente importante do sistema de recalque é a bomba hidráulica. Silvestre (1983) define a bomba hidráulica como sendo uma máquina transformadora de energia. Recebe energia mecânica e a converte, nos fluidos bombeados, em energia de posição, de pressão e de velocidade. Para sistemas de recalque destinados à irrigação, o tipo de bomba mais empregado é a centrífuga.

As curvas características das bombas centrífugas representam as condições hidráulicas operacionais da bomba trabalhando com determinada rotação na unidade de tempo. Permitem relacionar a vazão recalçada com: a pressão gerada, a potência absorvida, o rendimento e a altura máxima de sucção (Silvestre, 1983).

As curvas características da altura manométrica, da potência e do NPSH, todas em função da vazão, podem ser expressas por equações quadráticas (Nielsen, 1986; Arens & Porto, 1989; Yanagi Jr. et al, 1997).

O desempenho e o ponto de funcionamento de uma bomba centrífuga relativos a uma tubulação podem ser determinados a partir de sua curva característica (H vs. Q) e a curva do sistema (Bernardo, 1989; Andrade & Allen, 1997; Carvalho, 1999). Para isso, deve-se traçar primeiramente, a curva da tubulação ou curva do sistema. Segundo Mattos & Falco (1998), curva do sistema é uma curva que mostra a variação da altura manométrica total com a vazão.

Expressando as curvas matematicamente, obtém-se o ponto de operação da bomba pela solução simultânea das equações da curva característica da bomba e da curva do sistema (Andrade & Allen, 1997; Carvalho, 1999). O

ponto que possui as coordenadas da vazão e da altura manométrica exigidas pela instalação de bombeamento é definido como ponto de projeto.

Nielsen (1986) afirma que dificilmente encontra-se uma curva característica da bomba que contenha o ponto de projeto. Recomenda-se neste caso, a adoção de uma curva característica, correspondente a um rotor comercial que se situe, imediatamente acima do ponto de projeto. Com isso, o ponto de operação da bomba se dará com vazão e altura manométrica maiores em relação ao ponto de projeto, o que exigirá na maioria dos casos, regulagens que visam ajustar o ponto de operação da bomba ao ponto de projeto.

Em certos casos só é conseguido atender ao ponto de projeto com a associação de bombas em paralelo e/ou em série. A associação em paralelo é bastante utilizada em sistemas de abastecimento de água em cidades, bem como em serviços industriais e tem sempre a finalidade de aumentar a vazão recalçada e dar maior flexibilidade em termos de atendimento de demanda. Permite a retirada ou colocação de unidades em funcionamento possibilitando manutenções preventivas com reflexos altamente positivos (Carvalho, 1999). A associação em série é um arranjo que resolve o problema de instalações com alturas manométricas elevadas, quando então, se torna necessário o desenvolvimento de grandes pressões (Mattos & Falco, 1998).

Um fator que deve ser sempre observado em sistemas de bombeamento é o fenômeno da cavitação. Segundo Deniculi (1989), cavitação é um fenômeno observado somente em líquidos, não ocorrendo sob quaisquer condições em sólidos e gases, podendo-se associá-la comparativamente, à ebulição de um líquido. O fenômeno ocorre quando a pressão absoluta na entrada da bomba for menor ou igual à pressão de vapor do líquido (na temperatura em que este se encontra), podendo formar bolhas de vapor capazes de interromper o escoamento ou quando menores, essas bolhas serão levadas pelo escoamento de regiões de baixa pressão para regiões de alta pressão. Em virtude da pressão externa ser maior que a interna, ocorrem implosões de bolhas formadas, provocando efeitos distintos, porém simultâneos, como o químico e o mecânico que danificam o equipamento.

O estudo da cavitação é importante, pois permite prever a altura máxima de colocação de uma bomba em relação ao nível da água do reservatório de captação. A curva do NPSH requerido normalmente é fornecido pelo fabricante nos catálogos das bombas e é um ferramental eficiente de que se dispõe o engenheiro para determinar a posição da bomba sem que esta venha a cavitatar (Carvalho, 1999).

Os custos com sistemas de bombeamento para irrigação são altos, comparado com os outros gastos realizados nas lavouras. Em alguns casos, torna-se inviável a utilização da irrigação e em outros, o uso desta tecnologia promove a redução dos lucros ao invés de incrementá-los. Sob esta ótica, deve-se fazer uma análise prévia antes da implantação do sistema e de maneira criteriosa determinar o diâmetro econômico do sistema de adução, parâmetro imprescindível para o sucesso do investimento.

Sabe-se que uma mesma vazão pode ser transportada em tubulações de diferentes diâmetros, alterando a velocidade de escoamento. A variação deste diâmetro tem reflexos diretos nos custos de investimento, de manutenção e de operação (Carvalho, 1999).

Tendo em vista os aspectos abordados, objetivou-se o desenvolvimento de um aplicativo computacional para ser utilizado como uma ferramenta prática e precisa, auxiliando o engenheiro projetista em todas as fases da elaboração de um projeto de sistema de recalque.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Desenvolveu-se um aplicativo computacional com a linguagem de programação Microsoft Visual Basic versão 5.0¹ para ser utilizado como ferramenta básica em projetos de recalque, envolvendo cálculos de perda de carga, escolha do conjunto moto-bomba, associação, cavitação e avaliação econômica.

2.1 Perda de carga

A perda de carga contínua pode ser calculada pelas seguintes equações: Darcy-Weissbach, Hazen-Williams, Fair-Whipple-Hsiao, Flamant e Manning. Os parâmetros de entrada comum à todas as equações relacionadas são: comprimento virtual da tubulação, diâmetro interno do

¹ A configuração mínima exigida do equipamento para utilizar o programa é processador Pentium 100 Mhz, 16 megabytes de memória RAM, 20 megabytes livres no disco rígido e sistema operacional Windows 95.

tubo e vazão ou velocidade de escoamento. A diferença entre elas está na determinação do coeficiente ou fator de atrito, peculiar a cada expressão.

A equação de Darcy-Weissbach utiliza o fator de atrito f . Este coeficiente pode ser calculado a partir de diversas equações: Blasius, von Kármán-Prandtl, Nikuradse, Konakov, Prandtl-Colebrook, Colebrook-White, Moody e Swamee-Jain. O cálculo deste coeficiente requer ainda, para todas as equações, o valor do número de Reynolds e para algumas, a rugosidade absoluta e o diâmetro interno do conduto.

As demais equações de perda de carga contínua utilizam o mesmo procedimento de cálculo, sendo que cada uma possui os coeficientes de atrito tabelados inseridos no aplicativo.

A perda de carga localizada é determinada pelo método do comprimento equivalente em função do número de diâmetros das peças especiais. Neste método, multiplica-se a quantidade de uma peça especial qualquer, pelo número de diâmetro correspondente. Essa metodologia é repetida para todas as peças e adiciona-se ao final, os resultados. O valor desta soma é multiplicado pelo diâmetro da tubulação empregada, obtendo-se o comprimento equivalente das peças especiais existentes no sistema.

2.2 Conjunto moto-bomba

As características das bombas, divididas em comerciais e curvas, foram arquivadas em um banco de dados específico para este fim. As características comerciais consistem em marca, modelo, rotação, número de estágios, número de curvas, diâmetros dos bocais de sucção e de recalque e diâmetros do maior e do menor rotor do catálogo.

As curvas características $H = H(Q)$ e $P = P(Q)$ podem conter o número de curvas variando entre 1 e 6. A curva característica $NPSH = NPSH(Q)$ contém apenas uma curva referente ao rotor de maior diâmetro. Os rendimentos da curva da altura manométrica são calculados a partir das curvas $H = H(Q)$ e $P = P(Q)$.

A seleção de bombas pode ser feita utilizando a curva do sistema ou informando diretamente o ponto de projeto desejado. São listados, por ordem decrescente de rendimento, apenas os modelos que atendem a situação informada pelo usuário. O aplicativo ajusta o ponto de operação da bomba ao ponto de projeto, reduzindo o diâmetro comercial ou a rotação do rotor que se situa ime-

diatamente acima deste ponto. Os detalhes dos modelos de bomba e do ponto de projeto ou curva do sistema são mostrados gráfica e numericamente na tela do computador.

A seleção de motores baseia-se nas seguintes características do sistema de bombeamento: vazão, altura manométrica, rendimento da bomba e rendimento do motor. A seleção consiste em duas classificações: motores que tenham a potência nominal imediatamente superior à folga (recomendado) e motores que possuem potência nominal entre a instalada e a folga.

2.3 Associação

O procedimento adotado no aplicativo foi a associação de um número ilimitado de bombas, porém, sempre do mesmo modelo tanto para associação em série quanto para a em paralelo.

Os coeficientes da associação em paralelo são obtidos mantendo o coeficiente linear e dividindo os demais coeficientes da curva $H = H(Q)$ pelo número de bombas associadas. Os coeficientes da associação em série são obtidos multiplicando-se o número de bombas associadas pelos seus coeficientes da curva $H = H(Q)$.

O programa gera o gráfico, traçando as curvas da associação, da bomba isolada e do sistema. As interseções destas, as quais são obtidas numericamente através da resolução simultânea, resultam em informações importantes ao projetista: pontos de trabalho da bomba operando isolada e na associação, rendimento da bomba operando isolada e na associação, potências da bomba operando isolada e na associação, ponto de trabalho da associação, rendimento da associação e potência da associação.

2.4 Cavitação

Para determinar o NPSH disponível são necessários os dados referentes à pressão atmosférica local, pressão de vapor do líquido bombeado, perdas de carga no conduto de sucção e altura de instalação da bomba em relação ao nível da água no reservatório de captação.

A tabela da pressão de vapor da água limpa em função da temperatura foi introduzida no aplicativo. A pressão atmosférica local pode ser estimada pelo aplicativo:

$$\frac{Patm}{\gamma} = 10 - 0,0012A \quad (1)$$

onde, $\frac{Patm}{\gamma}$ é a pressão atmosférica local (m) e A é

a altitude da região (m).

O cálculo do NPSH disponível (m) é descrito pela equação 2:

$$NPSH_{disponível} = \frac{P_{atm}}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} - h_s - h_{f_s} \quad (2)$$

onde, $\frac{P_v}{\gamma}$ é a pressão de vapor do fluido (m), h_s é a altura de sucção (m) e h_{f_s} é a perda de carga na tubulação de sucção (m).

2.5 Avaliação econômica

O aplicativo analisa até 7 diâmetros simultâneos. Uma vez digitada a vazão de projeto, o diâmetro supostamente mais econômico da tubulação de recalque é determinado de acordo com a velocidade econômica, por volta de 1,5 m/s, recomendada por Carvalho & Reis (2000).

A partir deste diâmetro são inseridos três diâmetros comerciais superiores e três diâmetros comerciais inferiores. Para a tubulação de sucção não é recomendada a variação do diâmetro para análise econômica, uma vez que, esta é limitada pela possibilidade da ocorrência da cavitação. Por isso, os diâmetros das tubulações de sucção são iguais nas sete situações avaliadas e foram calculados para que a velocidade de fluxo ocorra entre 1 e 1,5 m/s.

Para cada diâmetro é calculado a altura manométrica total, o custo fixo anual, o custo de manutenção anual, o custo de energia anual e o custo total anual. Este último é proveniente da soma dos custos anuais fixos, de manutenção e de energia.

Os dados de vazão, de altura geométrica, de pressão na saída do sistema, de comprimentos virtuais das tubulações de sucção e de recalque, dos diâmetros das tubulações de sucção e de recalque e dos coeficiente de atrito de Hazen-Williams são necessários para os cálculos das alturas manométricas totais das sete instalações de bombeamento em estudo.

Os valores de comprimento equivalente relativos às perdas de carga localizadas são adicionados automaticamente aos comprimentos das tubulações de sucção e de recalque informados pelo usuário. Foi considerada uma tubulação de sucção que possui as seguintes conexões: uma válvula de pé e crivo, uma curva de 90° e uma redução gradual excêntrica.

Na tubulação de recalque usaram-se as seguintes peças especiais na saída do conjunto moto-bomba: uma ampliação gradual, um registro de gaveta aberto, uma curva dupla e uma válvula de retenção.

Os custos fixos são calculados com base nos custos de investimento em tubulação e moto-bomba. Sobre o valor total despendido nestes equipamentos, aplica-se o fator de recuperação de capital, no qual está embutido o período de amortização do investimento, obtendo-se o custo anualizado.

Os custos de manutenção foram baseados no investimento em tubulações e sistema moto-bomba. Dependendo do tipo de material empregado na fabricação da tubulação e das condições de campo em que estas se encontram, há uma estimativa da porcentagem de manutenção em relação ao capital investido (PRONI, 1987). Da mesma forma ocorre com o sistema moto-bomba. Neste caso, a variável que determina o valor estimado é o tipo de energia utilizada no sistema (diesel ou elétrica).

Os custos de energia são obtidos de acordo com potência do conjunto moto-bomba, do tipo de energia utilizada e no caso de motores elétricos, se há contrato com a concessionária.

Um outro tipo de análise econômica é realizada com o uso de equações pré-programadas em substituição a alguns dados de entrada. Neste tipo de análise, o material utilizado nas tubulações é o aço galvanizado, com o coeficiente de atrito de Hazen-Williams igual a 125.

A estimativa dos custos para a tubulação de sucção e conjunto moto-bomba elétrico é obtido pela equação 3 e para tubulação de sucção e conjunto moto-bomba a diesel, a equação 4. A equação 5 é empregada para estimativa de custo da tubulação de recalque, independente da fonte energética (Carvalho & Reis, 2000):

$$C = e^{3,75+0,806 \cdot \ln(Q)+0,083 \cdot (\ln(H))^2} \quad (3)$$

$$C = e^{6,1+0,537 \cdot \ln(Q)+0,0574 \cdot (\ln(H))^2} \quad (4)$$

$$C = e^{3,7+0,066 \cdot (\ln(L))^2+1,496 \cdot \ln(D)} \quad (5)$$

onde, C é o custo (R\$), Q é a vazão de projeto (m³/h), H é a altura manométrica total (m), L é o comprimento da tubulação de recalque (m) e D o diâmetro da tubulação de recalque (pol).

Os cálculos referentes aos custos de energia em instalações de bombeamento dependem da vazão bombeada, da altura manométrica total, do rendimento do sistema moto-bomba, do tipo de energia utilizada (elétrica ou diesel), do tempo de funcionamento do conjunto moto-bomba, das tarifas praticadas pelo mercado e das equações utilizadas em cada região. Neste trabalho utilizou os cálculos empregados pela CEMIG (Centrais Elétricas de Minas Gerais).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a finalidade de comprovar a validade dos resultados emitidos e demonstrar a utilização de algumas tarefas possíveis de serem realizadas por este aplicativo, foram empregadas algumas situações desenvolvidas manualmente no aplicativo denominado *BombaSoft*.

3.1 Perda de carga

Foram utilizados os exercícios resolvidos 14.8.1 e 16.5.3 de Vianna (1993) para exemplificar os cálculos de perdas de carga contínua e localizada, respectivamente.

O primeiro exercício pretende determinar a perda de carga ocorrida em uma tubulação de rugosidade absoluta 0,1 mm, comprimento do conduto igual à 100 m e diâmetro de 200 mm, transportando 226 m³/h de água à 20°C. Os resultados obtidos por Vianna (1993) e pelo *BombaSoft* estão na tabela 1.

Tabela 01 – Comparação entre os valores obtido por Vianna (1993) e pelo *BombaSoft* na determinação de perda de carga contínua.

Parâmetro	Vianna (1993)	<i>BombaSoft</i>
Valor de <i>f</i>	0,0179	0,0180
Perda de carga contínua (m)	1,83	1,83

O *BombaSoft* encontrou o valor de *f* bem próximo ao obtido por Vianna (1993), embora o aplicativo tenha utilizado a equação geral de Swamee-Jain e o citado autor tenha empregado outra metodologia. Essa diferença não interferiu no resultado final da perda de carga, mostrando que o *BombaSoft* é bastante preciso na determinação de perda de carga contínua.

O segundo exercício, referente à perda de carga localizada, consiste apenas em determinar os comprimentos

fictícios de algumas peças especiais para o diâmetro de 25,4 mm e obter o comprimento virtual total produzido por estas peças. Os resultados estão na Tabela 2.

Tabela 02 – Comparação dos valores do cálculo de comprimento fictício referente às peças especiais entre o exemplo de Vianna (1993) e o *BombaSoft*.

Parâmetro	Vianna (1993)	<i>BombaSoft</i>
1 Entrada de borda (m)	0,889	0,89
1 Tê de saída de lado (m)	1,270	1,27
1 Cotovelo 90° (m)	1,143	1,14
1 Registro de globo aberto (m)	8,890	8,89
1 Saída de canalização (m)	0,889	0,89
Comprimento fictício total (m)	13,081	13,08

O aplicativo mostra os resultados com duas casas decimais, mas armazena na memória com quatro casas, sendo que o resultado final não difere do exemplo de Vianna (1993).

3.2 Escolha da bomba: ponto de projeto

Segundo Porto (1998), o modelo da bomba escolhido, para uma vazão de 54 m³/h e altura manométrica igual a 42,3 m, foi KSB ETANORM 50-315, com rotação de 1750 rpm, diâmetro do rotor de 307 mm e rendimento de 61%.

O *BombaSoft* selecionou este modelo, dentre outros. Entretanto, o diâmetro do rotor sugerido pelo aplicativo foi de 308,9 mm e o rendimento de 60,8%. A diferença encontrada nos diâmetros dos rotores é inferior à 1 mm na usinagem.

3.3 Escolha da bomba: curva do sistema

Para exemplificar a utilização da seleção de bomba empregando a curva do sistema, adotou-se o exercício de aplicação 6.19, de Denículi (1989). Pretende-se, neste caso, selecionar uma bomba que atenda à vazão de 110 m³/h e à seguinte curva do sistema (eq. 6):

$$H = 46,3 + 0,000613 Q 1,852 \quad (6)$$

Denículi (1989) selecionou a marca Mark Peerless, modelo DY 3500 rpm. Os resultados encontrados pelo autor e pelo aplicativo estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 03 – Comparação dos valores do obtidos por Deniculi (1989) e pelo *BombaSoft*, referentes ao ajuste da curva característica da bomba ao ponto de projeto.

Parâmetro	Deniculi (1989)	BombaSoft
Rendimento no ponto de projeto (%)	75,5	73,4
Rotação ajustada ao ponto de projeto (rpm)	3348	3357
Diâmetro do rotor usinado (mm)	171	171,7

Nesse exemplo de seleção o programa emitiu resultados bastante próximos ao obtido pela literatura. As diferenças inferiores à 0,5% mostram que o aplicativo é uma ferramenta eficaz na seleção de bombas para sistemas de recalque.

O gráfico apresentado pelo *BombaSoft* (Figura 1) mostra o cruzamento da curva do sistema com a curva do rotor ajustada. Nessa interseção encontra-se o ponto de projeto solicitado pelo usuário do aplicativo.

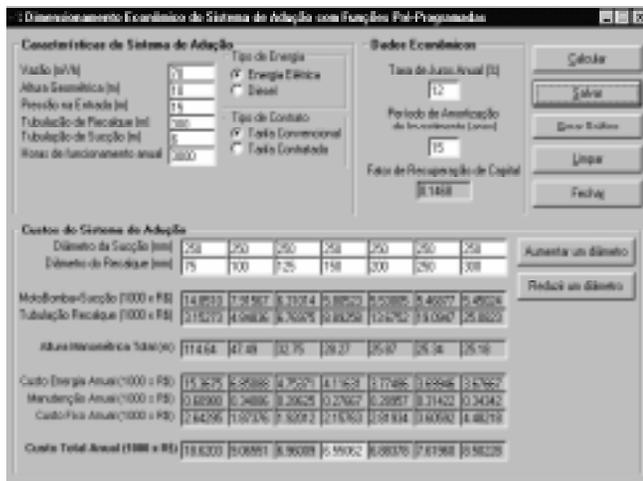


Figura 01 – Gráfico da seleção de bombas utilizando a curva do sistema.

3.4 Análise econômica

Simulou-se um sistema de recalque com as seguintes características: vazão de projeto = 70 m³/h; altura geométrica = 10 m; pressão de saída do sistema = 15 m.c.a.; comprimento da tubulação de recalque = 300 m; comprimento da tubulação de sucção = 6 m; tempo de funcionamento anual = 3000 h; tipo de energia = elétrica sem contrato; taxa de juros anual = 12%; período de amortização = 15 anos; valor do dólar = R\$ 1,76; taxa de manutenção da tubulação = 0,5%; taxa de manutenção do conjunto moto-bomba = 4%; tarifa elétrica convencional (irrigante) = R\$ 0,09/kWh.

O diâmetro econômico escolhido para a tubulação de recalque foi de 150 mm, tanto na análise econômica realizada pelo método convencional quanto a realizada pelo *BombaSoft* (Tabela 4), utilizando-se aço galvanizado, uma bomba KSB 60-250 1750 rpm, chave de proteção manual, luva de acoplamento e motor elétrico de 1750 rpm 12,5 cv. Os valores monetários de mercado são referentes ao mês de outubro do ano de 2000 (Fontes: Hidromecânica Germek Ltda e Lavras Irrigação Ltda).

Tabela 04 – Comparação dos valores de uma análise econômica entre o método convencional e o método com função pré-programada do *BombaSoft*.

Parâmetro	Convencional	BombaSoft
Altura manométrica (m)	28,3	28,3
Custo da moto-bomba + sucção (R\$)	5.387,00	5.805,23
Custo da tubulação de recalque (R\$)	8.661,00	8.892,58
Custo de energia anual (R\$)	4.116,31	4.116,31
Custo de manutenção anual (R\$)	258,79	276,67
Custo fixo anual (R\$)	2.062,25	2.157,63
Custo total anual (R\$)	6.437,35	6.550,61

A Figura 2 mostra a janela da análise econômica utilizando função pré-programada.

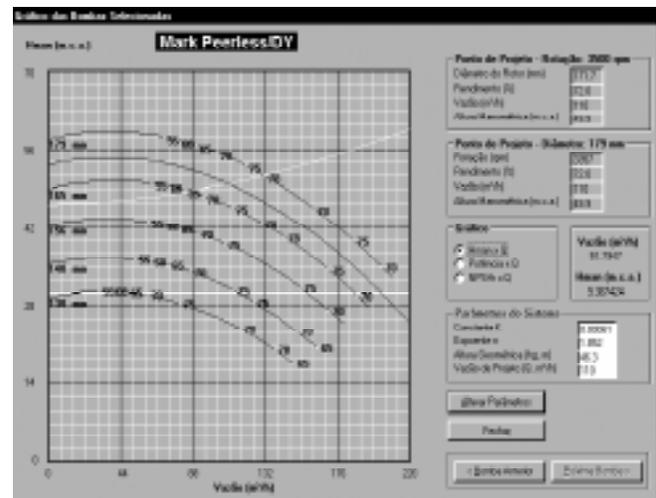


Figura 02 – Janela da análise econômica com função pré-programada do *BombaSoft*.

A diferença obtida no custo total entre um método e outro foi inferior a 2%. Essa diferença é explicada pelo fato de que o método convencional utiliza valores reais de mercado e a análise com função pré-programada faz estimativas dos custos. Entretanto, a diferença não interferiu na escolha do diâmetro econômico da tubulação.

4 CONCLUSÕES

As conclusões gerais sobre este trabalho são:

1. O BombaSoft é um programa de fácil manuseio e entendimento;
2. Os resultados obtidos pelo aplicativo são confiáveis e podem ser utilizados em projetos de sistemas de recalque;
3. O aplicativo atende aos requisitos básicos necessários para projetos de sistemas de recalque;
4. Os usuários poderão utilizar os modelos de bombas e motores cadastrados neste trabalho, mas é recomendado o cadastramento de novos modelos, uma vez que as marcas e modelos disponíveis variam de região para região.

5 REFERÊNCIAS

- ANDRADE, C. de L. T. de, ALLEN, R.G. Pump curve combination model. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE INFORMÁTICA NA AGROPECUÁRIA, 1., 1997, Belo Horizonte. **Anais...** Lavras: UFLA, 1997. p.329-341.
- ARENS, H.G., PORTO, R. de M. Para o desempenho de bombas. **Revista DAE**, São Paulo, v.49, n.154, p.11-14, jan./mar. 1989.
- AZEVEDO NETTO, J. M., FERNANDEZ Y FERNANDEZ, M., ARAUJO, R. de, ITO, A.E. Manual de hidráulica. 8. ed. São Paulo: Blücher, 1998. 669p.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5. ed. Viçosa: UFV, 1989. 596p.

- CARVALHO, D. F. **Instalações elevatórias: bombas**. 6. ed. Belo Horizonte: UFMG/FUMARC, 1999. 353p.
- CARVALHO, J. de A.; REIS, J. B. R. da. Avaliação dos custos de energia de bombeamento e determinação do diâmetro econômico da tubulação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.24, n.2, p.441-449, abr./jun.2000.
- DENÍCULI, W. **Hidráulica-eng.341**. Viçosa: UFV, 1989. 162p. Apostila.
- MACINTYRE, A. J. Bombas e instalações de bombeamento. 2. ed. Rio de Janeiro: Ed.Guanabara Dois, 1987. 782p.
- MATTOS, E.E. de., FALCO, R. de. **Bombas Industriais**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.474p.
- NIELSEN, M.J. Análises de circuitos hidráulicos com bombas centrífugas – Método para estimativa analítica do ponto de funcionamento (vazão x altura manométrica). **Revista DAE**, São Paulo, Imprensa Oficial do Estado S.A. IMESP, v.46, n. 147, p.385-386, dez.1986.
- PORTO, R. de M. **Hidráulica básica**. 1 .ed. São Carlos: EESC/USP, 1998. 519p.
- PROGRAMA NACIONAL DE IRRIGAÇÃO. **Tempo de Irrigar: manual do irrigante**. São Paulo: Mater, Fundação Victor Civita. 1987. 160p.
- SILVESTRE, P. Hidráulica geral. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1983.316p.
- VIANNA, M. R. **Mecânica dos fluidos para engenheiros civis**. Belo Horizonte; IEA, 1993. 97p.
- YANAGI JR., T.; FERREIRA, E.; COLOMBO, A.; MELLO, C.R. de. Método matemático para a estimativa analítica das curvas de desempenho de bombas centrífugas. **Revista Ciência e Tecnologia**, Lavras, v.21, n.4, set./dez. 1997.