



PROGRAMA DIMLOC PARA DIMENSIONAMENTO E DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS COM ENERGIA ELÉTRICA DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

E. P. de Miranda¹, R. M. S. Román², M. G. da Silva³, C. N. V. Fernandes⁴, A. R. A. da Silva⁵.

RESUMO: O dimensionamento de sistemas de irrigação requer o perfeito equilíbrio hidráulico para que o mesmo funcione adequadamente. Outra necessidade que deve ser incorporada é que o sistema seja dimensionado para que atenda ao uso racional da energia elétrica. Para isso foi desenvolvido um programa em Visual Basic Application\Excel\Microsoft Office para o dimensionamento de sistemas de Irrigação localizada e determinação dos custos com energia elétrica. Para o dimensionamento do sistema de irrigação é usada a equação de Darcy-Weisbach para quantificar a perda de carga contínua e a equação cinética para a perda localizada de carga. O dimensionamento da linha lateral e de derivação é feito pelo método trecho-a-trecho. Os consumos e custos com energia elétrica são calculados considerando os diferentes valores das tarifas horo-sazonal do Grupo A, Tarifa Verde.

PALAVRAS-CHAVE: Software, consumo de energia elétrica, dimensionamento de sistemas de irrigação.

PROGRAM DIMLOC FOR THE DESIGN AND ESTIMATION OF COSTS OF ELECTRICITY IRRIGATION SYSTEM LOCATED.

SUMMARY: The design of irrigation systems requires perfect hydraulic balance for the system to function properly. Another need that must be built is that the system is sized to meet the rational use of electricity. For that was developed a software in Visual Basic Application\Excel\Microsoft Office Windows for the design of Microirrigation Systems and determine electricity costs. For the design of the irrigation system the Darcy-Weisbach equation is used to quantify the continuous head loss and the kinetic equation for the localized head loss. Desing of the lateral line and bypass is done by the stretch-by-step method. Consumption and

¹ Prof. Doutor IFCE, Iguatu - Ceará, Email: eu.paceli@yahoo.com.br

² Prof. Doutor UNESP, Botucatu - São Paulo. Email: rmsroman@fca.unesp.br

³ Doutorando UFRB, Cruz das Almas - Bahia. Email: mairtong@hotmail.com

⁴ Prof. Doutor IFCE, Iguatu - Ceará, Email: newdmar@gmail.com

⁵ Prof. Doutor IFCE, Iguatu - Ceará, Email: alexandre_reuber@hotmail.com

power costs are calculated considering the different values of hourly-seasonal rates of Group A, Green Tariff.

KEYWORDS: Software, irrigation, design of microirrigation systems.

INTRODUÇÃO

Frequentemente os sistemas de irrigação são dimensionados para atender exclusivamente o critério de equilíbrio hidráulico, para que o sistema funcione adequadamente fornecendo água nas condições previstas no projeto.

Outra necessidade que deve ser cada vez mais observada é com relação aos custos, tanto os custos com a aquisição dos equipamentos como os custos de operação. Nesse último, destaca-se os custos com o consumo de energia elétrica, que segundo alguns autores pode representar em torno de 70% dos custos variáveis (Coelho, 2007). Marcuzzo & Wendland (2010) encontraram um custo com em torno de 20% dos custos totais para um sistema de irrigação localizada para 1 hectare.

Outro fator que torna importante a incorporação do critério de consumo de energia elétrica é com relação a insegurança na matriz energética, já que 72,7% da geração de energia elétrica no país em 2013 veio de usinas hidroelétricas (Balanço Energético Nacional, 2014), que são susceptíveis aos regimes pluviométricos.

Oliveira Filho (2004) afirma que a forma tradicional de dimensionamento dos sistemas de bombeamento leva a seu superdimensionamento e desperdício de energia. É importante a avaliação de parâmetros que reduzam os custos operacionais dos sistemas de irrigação localizada (Oliveira et al., 2008). Para Giustolisi et al. (2013) um pequeno aumento na eficiência através da otimização do sistema de bombeamento resulta em uma significativa economia de energia.

Oliveira Filho et al. (2004) analisando uma estação de bombeamento de um perímetro irrigado chegaram a uma economia de 31,6% do gasto anual com energia elétrica. Dutra e Altafini (2014) obtiveram uma economia de 37,7% através da substituição dos conjuntos de bombeamento.

Existem três tarifas de energia elétrica com relação ao horário do dia: o horário de ponta, entre 17 e 22 horas, o horário fora de ponta, que é o horário complementar das 24 horas diárias e o horário especial para irrigantes, compreendido das 23 as 5 da manhã, destinados

especialmente à estes consumidores (Rocha et al., 2003). Os descontos especiais para irrigantes variam com relação à região do país e o grupo de tarifação (Zocoler et al., 1999).

O objetivo desse trabalho foi desenvolver um programa para dimensionamento e determinação do consumo e dos custos com energia elétrica por um sistema de irrigação localizada.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi desenvolvido um programa em Visual Basic Application\Excel\Microsoft Office para o dimensionamento de um sistema de irrigação localizada por gotejamento cujas características estão mostradas na Tabela 1 e a determinação do consumo e do custo com energia elétrica utilizando o programa DIMLOC para a cultura do meloeiro (*Cucumis melo*), cultivado entre 1º de setembro e 3 de novembro, utilizando as lâminas brutas de irrigação propostas por Miranda et al. (2014).

Tabela 1. Características do projeto de irrigação

Parâmetro	Características
Comprimento da linha Lateral	72 m
Espaçamento entre Laterais	1 m
Número de Linhas Laterais por parcela	60
Diâmetro da Linha Lateral	16 mm
Desnível geométrico ao longo das Laterais	0
Comprimento da Linha de Derivação	60 m
Desnível ao longo da Linha de Derivação	0,4%
Comprimento da Linha de Principal	156 m
Comprimento da Linha de Sucção	6 m
Emissor	Gotejador Uniran/Netafim
Espaçamento entre emissores	0,30 m
Coefficiente de proporcionalidade da vazão (k)	0,46297
Expoente de descarga	0,503
Coefficiente de perda de carga localizada (K)	1,38
Pressão de Serviço	10 mca

Usou-se o método trecho-a-trecho para o dimensionamento das Linhas Laterais e de Derivação, com a perda de carga contínua determinada pela equação de Darcy-Weisbach (Eq.1), como o coeficiente de atrito determinado pelas equações de Hagen-Poiseuille (Eq. 2) ou Blasius (Eq. 3), nas Linhas Laterais ou de Swamee (Eq. 4), nos outros trechos do sistema de irrigação. Usou-se as Equações propostas por Melo (2000) para a determinação da perda de carga localizada na Linha de Derivação (Tabela 2) e a equação baseada nos coeficientes de perda de carga localizada das peças (Eq. 5) nas Laterais, principal e sucção.

$$hf_{cont} = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (1)$$

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2)$$

$$f = \frac{c}{Re^m} \quad (3)$$

$$f = \left\{ \left(\frac{64}{Re} \right)^8 + 9,5 \left[\ln \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) - \left(\frac{2500}{Re} \right)^6 \right]^{-16} \right\}^{0,125} \quad (4)$$

$$hf_{Loc.} = K \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (5)$$

Onde: hf_{Cont} – perda de carga contínua (m); f – coeficiente de atrito de Darcy-Weisbach; L – comprimento da tubulação (m); D – diâmetro da tubulação (m); v – velocidade de escoamento do líquido ($m s^{-1}$); g – aceleração da gravidade ($m s^{-2}$); m e c – coeficientes de Blasius; hf_{Loc} – perda localizada de carga (m); K – coeficiente de perda localizada de carga da peça; Re – número de Reynolds, ε - rugosidade absoluta da tubulação (mm) e Q – vazão ($m^3 s^{-1}$).

Tabela 2. Equações de perda localizada de carga (m). Velocidade da água ($m s^{-1}$) na derivação (V_{Der}) e na linha lateral (V_{Lat})

Conector	Perda de carga (m)
HI 16 mm	$hf = 0,027 + 0,0014 \cdot V_{Lat}^{0,25} + 0,0115 V_{Der}^{2,5}$
HI 14 mm	$hf = 0,0218 + 0,0006 \cdot V_{Lat}^3 + 0,0118 V_{Der}^{2,5}$
HI 12 mm	$hf = 0,027 + 0,0196 \cdot V_{Lat}^3 + 0,022 V_{Der}^2$

Fonte: Melo et al. (2000).

Para determinar os custos com energia elétrica são considerados apenas os valores das diferentes tarifas de demanda e de consumo aplicadas pelas concessionária de energia elétrica, disposto na Resolução ANEEL N° 1.944 de 25 de Agosto de 2015 com vigência para 27 de Agosto de 2015, do Grupo A, na categoria horo-sazonal-verde, com e sem desconto especial para irrigantes, não incluindo os impostos devidos. Na categoria sem desconto para irrigantes, a irrigação ocorre preferencialmente no horário fora de ponta e caso o tempo de irrigação exceda essa faixa de horário é que entra na faixa de horário de ponta. Na categoria com desconto, em que há três faixas de cobrança, horário especial para irrigantes, hora fora de ponta e hora de ponta, a irrigação ocorre primeiramente no horário especial para irrigantes, posteriormente no horário fora de ponta e por último no horário de ponta. Não são considerados os impostos devidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 1, 2, 3, 4 e 5, são mostradas as janelas para o dimensionamento das linhas laterais, linhas de derivação, linha principal, linha de sucção e escolha da bomba, representam as principais janelas do programa. No dimensionamento das laterais, feito através da Figura 1, o dimensionamento é feito utilizando as seguintes características hidráulicas: características hidráulicas do emissor, espaçamento entre emissores, perda de carga admissível, comprimento e diâmetro da linha lateral, espaçamento entre laterais, desnível geométrico do terreno, números de parcelas irrigadas simultaneamente e números de parcelas irrigadas por dia.

No dimensionamento da linha de derivação são necessárias as informações do comprimento da derivação, desnível geométrico do terreno e perda de carga admissível nesse trecho. O programa permite o dimensionamento da linha de derivação com um único diâmetro ou com dois diâmetros.

The image shows two screenshots of a software interface for irrigation system design.
 Window (A) is titled "Dimensionamento da Linha Lateral". It has an input section with fields for "Espaçamento entre emissores - E (m)", "Desnível (m/m)", "Comprimento da Linha Lateral - L (m)", "Diâmetro da Lateral - D", "Pressão de Serviço - PS (m)", "Perda de carga admissível - Δ Hfadm (%)", "NPIPD (nº de parcelas irrigadas por dia)", "NPS (nº de parcelas funcionando simultaneamente)", and "Temperatura da água (°C)". There are also buttons for "Escolha um diâmetro compatível com a perda de carga!" and "Comprimento Máximo da Lateral". A results section shows "Tempo máx. de irrigação/parcela (h)", "Tempo Total de irrigação/dia (h)", "Pressão no início da Lat. (m)", "Lâmina bruta máx. (mm)", "QLat (m³/s)", "v (m/s)", "HF (m)", "Linha bruta máx. (mm)", "Δ Pressão (%)", "Δ Vazão (%)", and "HF adm(m)".
 Window (B) is titled "Dimensionamento da Linha de Derivação". It has input fields for "L (m)", "Δ Hfadm (%)", "Desnível (m/m)", and "Escolha o modo de inserção das Laterais na Linha de Derivação" (radio buttons for "só de um lado" and "dos 2 lados"). It also has buttons for "Escolha um diâmetro que atenda à perda de carga admissível" and "Escolha o nº de diâmetros da Linha de Derivação!". The results section includes "Q (m³/s)", "HFAdm (m)", "HF (m)", "PI (m)", "D1 (m)", "L1 (m)", "Nº Laterais1", "HF (m)", "D2 (m)", "L2 (m)", "Nº Laterais2", and "PI (m)".

Figura 1. Janela para o dimensionamento da linha lateral (A), janela para o dimensionamento da linha de derivação (B)

The image shows two screenshots of a software interface for irrigation system design.
 Window (A) is titled "Dimensionamento da Linha Principal". It has input fields for "Nº de Parcelas Func. Simultaneamente", "Comprimento - L (m)", and "Desnível (m/m)". It includes buttons for "Peças" and "Visualizar o diâmetro calculado com base na velocidade máxima (v_{máx} = 2,5 m/s) e o diâmetro econômico.". The results section shows "D (m)" values for "D com base na veloc. máx.", "Fórmula de Forchheimer", and "Fórmula ABNT", along with "Diâmetro da L. de Derivação PVC PN 40 - 75 mm" and "Diâmetro (m)".
 Window (B) is titled "Dimensionamento da Linha de Sucção". It has input fields for "Comprimento - L (m)", "Diâmetro da Linha Principal (m)", "Material", and "Diâmetro - (m)". It includes a button for "Peças" and a note "Diâmetro calculado com base na velocidade máxima (v_{máx} = 1 m/s)". The results section shows "Q (m³/s)", "v (m/s)", and "HF (m)".

Figura 2. Janela para o dimensionamento da linha principal (A), janela para o dimensionamento da linha de sucção (B)

No dimensionamento das linhas principais e de sucção (Figuras 3 e 4), o dimensionamento é feito com base nas velocidades críticas, velocidade máxima de $2,5 \text{ m s}^{-1}$ para a principal e $1,0 \text{ m s}^{-1}$ para a linha de sucção.

Através da Figura 5 é exibida a curva característica da bomba selecionada, que fornecerá as informações da vazão, altura manométrica e rendimento da bomba, informações necessárias para determinação do consumo de energia elétrica.

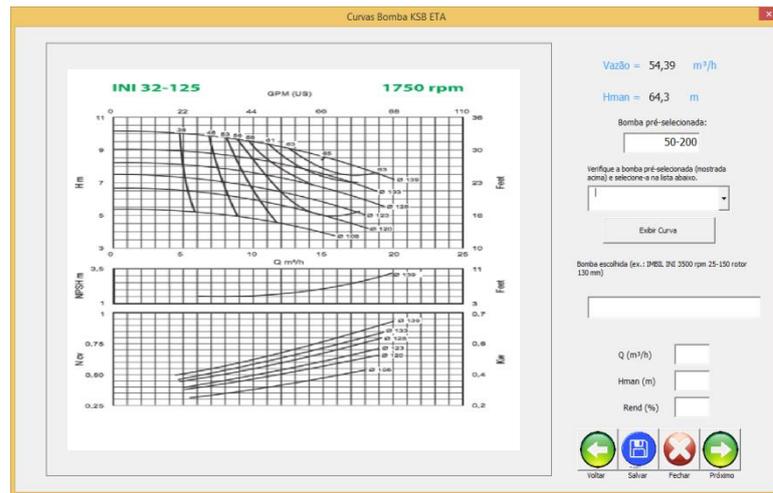


Figura 4. Janela para escolha da bomba.

Os resultados do dimensionamento são mostrados na janela “Relatório” (Figura 6), podendo ser salvos em arquivos no formato pdf e/ou impresso.

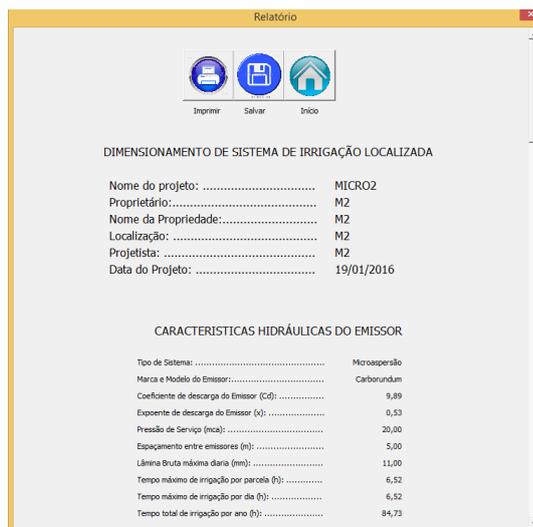


Figura 5. Janela “Relatório”.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados do dimensionamento hidráulico para todos os trechos do sistema de irrigação e na Tabela 4 as características da bomba selecionada. O

dimensionamento foi feito considerando uma parcela irrigada por vez e irrigando as seis parcelas no mesmo dia.

Tabela 3. Resultados do dimensionamento hidráulico

Parâmetros hidráulicos	Valores
Diâmetro da L. Lateral (mm)	16
Perda de carga na L. Lateral (m)	1,98
Pressão de entrada na L. Lateral (mca)	11,98
Diâmetro do 1º trecho da Derivação (mm)	75
Perda de carga na Derivação (m)	2,81
Pressão de entrada na Derivação (mca)	15,05
Diâmetro da L. Principal (mm)	75
Perda de carga na L. Principal (m)	5,35
Pressão de entrada na Principal (mca)	25,8
Perda de carga Cabeçal de Controle (m)	9,64
Diâmetro da Linha de Sucção (mm)	100
Perda de carga na Sucção (m)	0,75
Área irrigada por parcela (m ²)	4.320
Potência calculada da bomba (cv)	3,7

Tabela 4. Características da bomba selecionada

Parâmetros hidráulicos	Características
Bomba selecionada (marca/série)	Imbil série INI 40-250
Rotação	1750 rpm
Diâmetro do rotor	260 mm
Rendimento da bomba selecionada	39%
Altura manométrica da bomba selecionada	37 m

O tempo total de irrigação por ano foi de 395,8 horas. Os tempos mensais por faixas de cobranças para cobrança sem e com desconto para irrigantes são mostrados nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 5. Tempos de irrigação mensal sem desconto para irrigantes

Mês	hfp	hp
Setembro	184,63	-
Outubro	191,87	-
Novembro	19,31	-
p/ ano	395,80	-

hfp – horário fora de ponta; hp – horário de ponta.

Tabela 6. Tempos de irrigação mensal de uma bomba com desconto para irrigantes

Mês	he	hfp	hp
Setembro	152,62	32,00	-
Outubro	177,80	14,07	-
Novembro	17,83	1,48	-
p/ ano	348,25	47,55	-

he – horário especial; hfp – horário fora de ponta; hp – horário de ponta;

Para as duas formas de cobrança, não houve necessidade de irrigação no horário de ponta, que representa o horário de maior tarifa. Os consumos e os custos são mostrados na Tabela 7.

Tabela 7. Consumo e custos com energia elétrica

Tipo de sistema de bombeamento	Consumo (kW h)	Custo (R\$)
Sem desconto especial para irrigantes	75.328,55	32.399,50
Com desconto especial para irrigantes	75.327,28	16.465,52

O custo da energia elétrica com desconto especial para irrigantes ficou em 50,8% mais barato em relação à cobrança sem esse desconto.

CONCLUSÃO

O programa DIMLOC mostrou-se ser uma ferramenta útil no dimensionamento de sistemas de irrigação localizada e na determinação do consumo e dos custos com energia elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. Relatório Síntese: Ano base 2013. Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro, 2014.

DUTRA, R.F.; ALTAFINI, C.R. Melhorias em um sistema de bombeamento municipal visando à eficiência energética – Estudo de caso. **Scientia cum industri**, v.2, n.1, p.1-9, 2014.

COELHO, R.D. **Contribuições para a irrigação pressurizada no Brasil**. 2007, 205 p. Tese de Livre-Docência. Departamento de Engenharia Rural. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2007.

GIUSTOLISI, O.; LAUCELLI, D.; BERARDI, L. Operation optimization: water losses versus energy costs. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 139, p. 410 – 423, 2013.

MARCUZZO, F.F.N.; WENDLAND, E. Otimização de rede de irrigação de microaspersão usando algoritmos genéticos sob diferentes declividades e tarifação de água e energia elétrica. **Engenharia na agricultura**, v.18, n.1, p.50-62, 2010, Viçosa, MG.

MIRANDA, E.P.; SILVA, N.S.; SOUZA, L.P.; SANTOS, J.B.; ROMÁN, R.M.S. Uso do programa STELLA no manejo da irrigação do meloeiro. **Irriga**. Botucatu, Edição Especial, n.1, p. 159-167, 2014.

MELO, L.J.V.; SILVA, E.L.; FARIA, M.A. Perda de carga em conectores utilizados em sistemas de irrigação localizada. **Ciênc. Agrotc.**, v.24, p.205-214, dez., 2000.

OLIVEIRA FILHO, D.; RIBEIRO, M.C.; MANTOVANI, E.C.; SOARES, A.A.; FERNANDES, H.C. Dimensionamento de motores para o bombeamento de água. **Eng. Agríc. Jaboticabal**, v.30, n.6, p. 1012-1022, nov./dez., 2010.

OLIVEIRA, J.S.; ZOCOLER, J.L.; HERNANDEZ, F.B.T. Marginalização dos custos do sistema de bombeamento em função de diferentes lâminas de irrigação. In: Simpósio Brasileiro de Agroenergia. Botucatu, 2008.

OLIVEIRA FILHO, D.; TEIXEIRA, C.A.; RIBEIRO, M.C. Racionalização energética de uma estação de pressurização de um perímetro irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.1, p.135-143, campina Grande, PB, 2004.

OLIVEIRA, J.S.; ZOCOLER, J.L. Custos da irrigação e receita líquida do feijoeiro em um sistema de pivô central sob variação do comprimento da tubulação de recalque e desnível topográfico. **Eng. Agríc. Jaboticabal**, v.33, n.1, p.121-128, jan./fev. 2013.

ROCHA, P.K.; PEREIRA, E.R.; COELHO, R.D. Custo do bombeamento de água para irrigação no Brasil. **Bahia Agric.**, v.6, n.1, p. 41-49, nov. 2003.