

# DISTRIBUIÇÃO DE PRESSÃO EM REDE DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA OTIMIZADA POR ALGORITMOS GENÉTICOS<sup>1</sup>

FRANCISCO F. N. MARCUZZO<sup>2</sup>, EDSON WENDLAND<sup>3</sup>

**RESUMO:** Modelos matemáticos computacionais de otimização de redes de irrigação, sob vazão em marcha, capazes de fornecer dados hidráulicos, são importantes para a verificação do comportamento do sistema quanto à distribuição da carga hidráulica (energia) e da pressão nas tubulações da rede. Este trabalho teve como objetivo estudar a distribuição da carga efetiva e hidráulica da unidade operacional de uma rede de irrigação localizada otimizada por algoritmos genéticos. As variáveis de decisão para otimização, com auxílio de algoritmos genéticos, foram os diâmetros de cada trecho da rede: dois para linhas laterais, quatro para linhas de derivação, quatro para linhas secundárias e um para a linha principal. Foi desenvolvido um código em linguagem MatLab, considerando todas as perdas de energia distribuídas e localizadas entre o início da rede e o conjunto motobomba. A análise de sensibilidade realizada foi baseada na variação, na declividade do terreno (0; 2,5 e 5%). Os resultados mostram que, para as tubulações com vazão em marcha, quando se aumenta a declividade do terreno, ocorre ganho de energia no início da tubulação, que vai perdendo-se de maneira gradual, e diminuição da pressão no início da tubulação, que aumenta gradualmente.

**PALAVRAS-CHAVE:** condutos sob pressão, carga hidráulica, irrigação por microaspersão, otimização matemática.

## PRESSURE DISTRIBUTION IN A LOW-PRESSURE OPTIMIZED IRRIGATION NETWORK USING GENETIC ALGORITHMS

**ABSTRACT:** Computational mathematical models for optimization of irrigation networks, under continuous outflow, able to supply with hydraulic data, are important for the verification of the hydraulic behavior of the system with reference to the distribution of the hydraulic charge (energy) and pressure in the network pipes. This paper had as objective to study the distribution of the effective and hydraulic charge of the operational unit in a network of low-pressure irrigation optimized for genetic algorithms. The decision variables for optimization, using genetic algorithms, were the diameters of each stretch of the network: two for lateral lines, four for derivation lines, four for secondary lines and one for main line. A code in MatLab was developed, considering all the energy losses distribution and localized at the pipe junctions between the beginning of the network and the pump set. The analysis of sensitivity were carried through the variation in the declivity of the ground (0; 2.5 and 5%). The results show that, for the pipes with continuous outflow, when the declivity of the land is increased, a profit of energy in the beginning of the pipe occurs, and losses in a gradual way and a pressure reduction in the beginning of the pipe, that increases gradually.

**KEYWORDS:** pipes under pressure, hydraulic charge, microsprinkler irrigation, mathematical optimization.

## INTRODUÇÃO

A irrigação localizada consiste na aplicação de pequenos volumes de água, normalmente o volume que a planta utilizará por poucos dias, com uma frequência de aplicação maior. Estes

<sup>1</sup> Extraído da tese de doutorado do primeiro autor. Financiada pela CAPES (PROEX) e pelo CNPq.

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Doutor, Pesquisador em Geociências, CPRM/SGB, fmarcuzzo@gmail.com.

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Civil, Prof. Doutor, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos - SP, ew@sc.usp.br.

Recebido pelo Conselho Editorial em: 9-3-2009

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 6-3-2011

sistemas, normalmente, utilizam pequenas quantidades de energia para o bombeamento, pressões e vazões. No entanto, as redes de irrigação localizada, podem apresentar variações significativas de vazão nos gotejadores, o que acarreta falta de uniformidade na produtividade da cultura instalada em campo.

KUWABARA & MATSURA (1996), em trabalho sobre o desempenho hidráulico de linhas laterais de tubogotejadores, citam que a irrigação localizada possibilita o melhor controle da lâmina aplicada, por operar com baixas vazões e turnos de rega com maior frequência. SANTIAGO et al. (2004), em uma pesquisa de campo sobre parâmetros hidráulicos de microaspersão, discorrem sobre o bom funcionamento do sistema, com coeficientes de uniformidade elevados, eficiência de aplicação boa e pouca variação na vazão e pressão do sistema, indicando uma excelente qualidade de sistema de irrigação em funcionamento no campo. SOUZA et al. (2005) observaram que o desempenho hidráulico de um sistema de irrigação localizada de baixa pressão, projetado e dimensionado com o auxílio de programa computacional e instalado em campo, foi considerado satisfatório por apresentar boa eficiência e excelente uniformidade hidráulica.

SAAD & MARIÑO (2002) relatam que o uso de dois diâmetros na linha de derivação melhorou a uniformidade de vazão da linha de derivação em estudo de otimização de rede sob diferentes declividades. SAAD & FRIZZONE (1996) e LUCENA & MATOS (2001) desenvolveram trabalhos de otimização em dimensionamento e análise de redes para irrigação, usando como base de tomada de decisão as diferentes opções de operação do sistema. Tais trabalhos mostraram excelentes resultados quanto aos objetivos propostos de otimização, mostrando ser, a otimização matemática, uma ferramenta satisfatória para a tomada de decisão no conflito entre o melhor manejo do sistema e o dimensionamento da rede de distribuição. PAIS et al. (2010), trabalhando com a comparação de modelos matemáticos publicados de minimização de custos de irrigação localizada, utilizando algoritmos genéticos, relatam que todos os trabalhos comparados demonstraram excelentes resultados no dimensionamento hidráulico.

O presente trabalho consiste em um estudo hidráulico de rede de distribuição para irrigação localizada, obtida por simulação otimizada com algoritmos genéticos, considerando a variação de declividade do terreno. Para isto, faz-se uma simulação numérica com as variáveis otimizadas, visando à análise da distribuição de energia, pressão e vazão na unidade operacional, onde ocorre a distribuição de vazão distribuída na tubulação.

## MATERIAL E MÉTODOS

A rede de distribuição para irrigação localizada foi projetada em área útil de 68,4 ha. Na Figura 1, apresentam-se a distribuição da rede hidráulica e as dimensões.

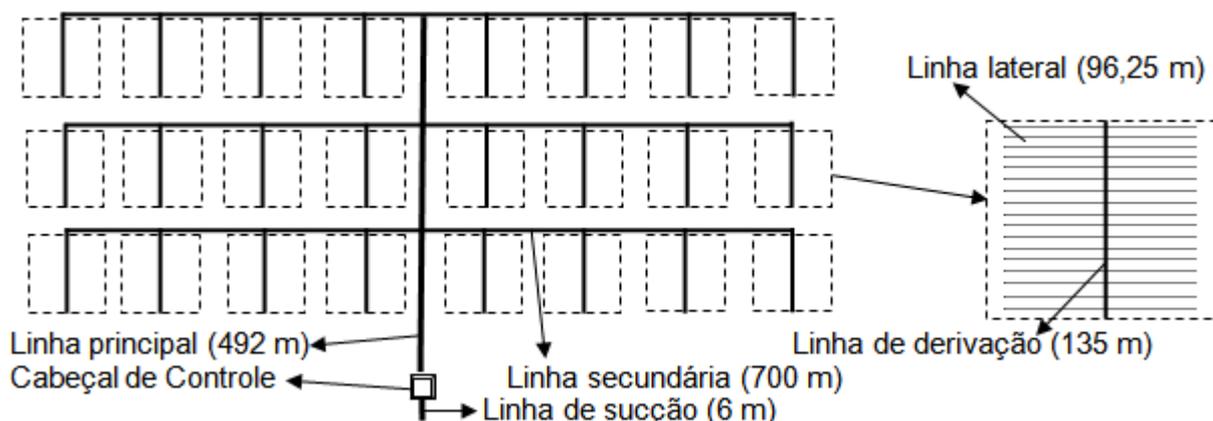


FIGURA 1. Distribuição da rede de irrigação por microaspersão com os respectivos comprimentos de tubulação. **Distribution network of microsprinkler irrigation with respective pipe lengths.**

A rede hidráulica do sistema de irrigação localizada estudada neste trabalho consiste em: emissores (microaspersores ou gotejadores), linhas laterais (nas quais se encontram os emissores), linhas de derivação (distribuem água para as linhas laterais), linhas secundárias (distribuem água para as linhas de derivação), linha principal ou adutora (distribui água para as linhas secundárias), tubulação de sucção, válvulas, registros, filtros (de areia e de disco) e painel de controle.

Na Tabela 1, apresenta-se o detalhamento dos diferentes trechos das tubulações usadas neste estudo, quanto ao comprimento, se está em nível ou em declive ou aclave (segundo a direção do fluxo de água), o material usado em sua fabricação e os diâmetros internos utilizados em cada trecho de tubulação otimizada. As declividades do terreno foram de: 0; 2,5 e 5%.

TABELA 1. Detalhamento da rede de irrigação adotada. **Detailing of the irrigation network adopted.**

Trecho da Rede	Posição da Tubulação	Material	Comprimento (m)	Diâmetro Interno (mm)
Linha Lateral	Nível	Polietileno	96,25	21,7; 17,8
Linha de Derivação	Declive	PVC	135	120,0; 97,6; 72,5; 48,1
Linha Secundária	Nível	PVC	700	204,2; 144,0; 120,0; 97,6
Linha Principal	Aclave	PVC	492	204,2
Linha de Sucção	Aclave e Nível	PVC	6	262,0

No cálculo do fator de ajuste para a diminuição da perda de pressão por atrito para a tubulação, optou-se pela utilização da equação de ajuste proposta por SCALOPPI (1988):

$$FLi = \frac{NTDi * \left( \left( \frac{1}{m+1} \right) + \left( \frac{1}{2 * NTDi} \right) + \left( \frac{(m-1)^{0,5}}{6 * NTDi^2} \right) \right) + xLi - 1}{NTDi + xLi - 1} \quad (1)$$

em que,

FLi - fator de ajuste para a diminuição da perda de pressão por atrito para a tubulação *i*;

NTDi - número total de derivações na tubulação *i*;

M - expoente da equação de perda de carga unitária, e

xLi - razão da distância do começo da linha *i* à primeira derivação, em relação a distância entre as outras derivações.

Para o cálculo do coeficiente de atrito, usou-se a equação geral proposta por SWAMEE (1993), que serve para os regimes de escoamento laminar, turbulento liso, de transição e turbulento rugoso:

$$fin = \left\{ \left( \frac{64}{Rein} \right)^8 + 9,5 \left[ \ln \left( \frac{\varepsilon}{3,7Din} + \frac{5,74}{Rein^{0,9}} \right) - \left( \frac{2500}{Rein} \right)^6 \right]^{-16} \right\}^{0,125} \quad (2)$$

em que,

fin - coeficiente de atrito para cálculo de perda de carga na tubulação, na linha *i*, no trecho *n*, adimensional;

Rein - número de Reynolds na linha *i*, no trecho *n*, adimensional;

$\varepsilon$  - rugosidade absoluta da tubulação usada na linha *i*, mm, e

Din - diâmetro da tubulação na linha *i*, no trecho *n*, m.

A perda de carga unitária é determinada pela equação de Darcy-Weisbach (PORTO, 2006):

$$Jin = \frac{fin \cdot Vin^2}{Din \cdot 2g} \quad (3)$$

em que,

- $J_{in}$  - perda de carga unitária na linha  $i$ , no trecho  $n$ ,  $m\ m^{-1}$ ;
- $F_{in}$  - coeficiente de atrito na linha  $i$ , no trecho  $n$ , adimensional;
- $D_{in}$  - diâmetro da tubulação na linha  $i$ , no trecho  $n$ ,  $m$ ;
- $V_{in}$  - velocidade da água na linha  $i$ , no trecho  $n$ ,  $m\ s^{-1}$ , e
- $g$  - aceleração da gravidade,  $(m(s^2)^{-1})$ .

O somatório da perda de carga unitária com a declividade distribuída do terreno é calculado por:

$$h_{fin} = (J_{in} \cdot FL_{in} \cdot LL_{in}) + PCL_{in} + DZLL_{in} \quad (4)$$

em que,

- $h_{fin}$  - somatório da perda de carga e da declividade do terreno na linha  $i$ , no trecho  $n$ , mca;
- $J_{in}$  - perda de carga unitária na linha  $i$ , no trecho  $n$ ,  $m\ m^{-1}$ ;
- $FL_{in}$  - fator de ajuste para a diminuição da perda de pressão por atrito, para a tubulação  $i$ ;
- $LL_{in}$  - comprimento da linha  $i$  no trecho  $n$ ,  $m$ ;
- $PCL_{in}$  - perda de carga localizada com os emissores da tubulação na linha  $i$ , no trecho  $n$ ,  $m$ , e
- $DZLL_{in}$  - aclive ou declive distribuído por saída de água da linha  $i$ , no trecho  $n$ ,  $m$ .

O processo de otimização do dimensionamento começa pela linha lateral, na qual se encontram os emissores. De acordo com equações de máxima produtividade da cultura, segundo o volume de água aplicado, pode-se determinar a vazão que deve ter cada emissor. O somatório da vazão de todos os emissores indica a vazão que deve estar disponível no início da linha lateral. O dimensionamento é realizado trecho a trecho, do começo da linha até o final, subtraindo a vazão distribuída no trecho anterior. Este princípio é adotado para as linhas laterais, derivação e secundária. Para a linha principal (adutora) e para a sucção, o dimensionamento não é executado trecho a trecho por não existirem derivações que recebam água simultaneamente.

A determinação das vazões nas tubulações da rede, seja inteira, no começo da tubulação, seja fracionada, para cada derivação (emissores ou tubulações), é de fundamental importância na concepção do código da função de aptidão. O código para o dimensionamento otimizado foi desenvolvido na linguagem MatLab. Para a otimização, foram utilizados os operadores genéticos da caixa de ferramentas do próprio MatLab.

A análise de sensibilidade avalia os efeitos na hidráulica (energia e pressão) da unidade operacional do sistema, a partir da variação da declividade do terreno. Fazer uma análise de sensibilidade é medir em que magnitude uma alteração prefixada em um ou mais fatores do projeto altera o resultado final, ou seja, faz-se o teste do modelo de projeção para determinar quais são os elementos mais relevantes para a decisão de projeto. Procedendo-se desse modo, com os diversos parâmetros do projeto, será possível selecionar aqueles mais sensíveis em termos de influência na análise (NORONHA & LATAPIA, 1988; FRIZZONE, 2005).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 2; 3 e 4, mostram-se, respectivamente, o plano de carga efetiva (energia) para as declividades de 0; 2,5 e 5% em toda a unidade operacional, que consiste em 23 linhas laterais (com 28 emissores em cada linha lateral) distribuídas em cada lado da linha de derivação, totalizando 46 linhas laterais e 1.288 emissores na unidade operacional (Figura 1).

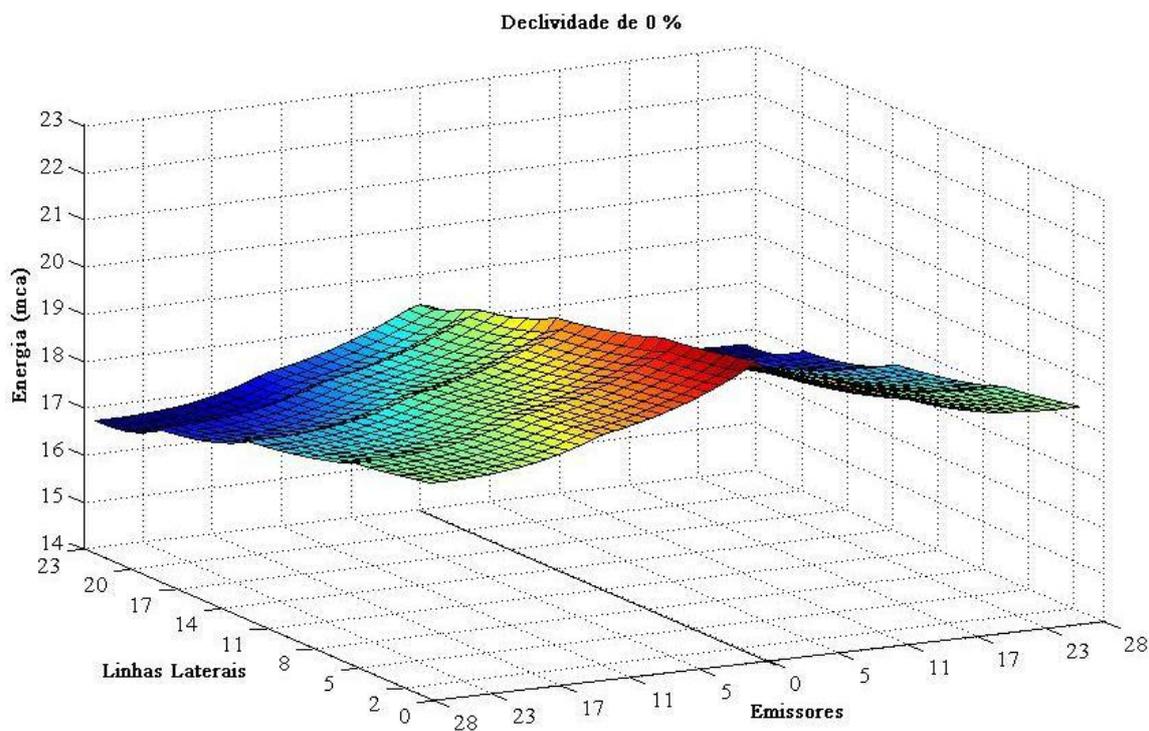


FIGURA 2. Distribuição de carga hidráulica na unidade operacional para declividade de 0%.  
**Distribution of hydraulic charge in the operational unit to 0 % of declivity.**

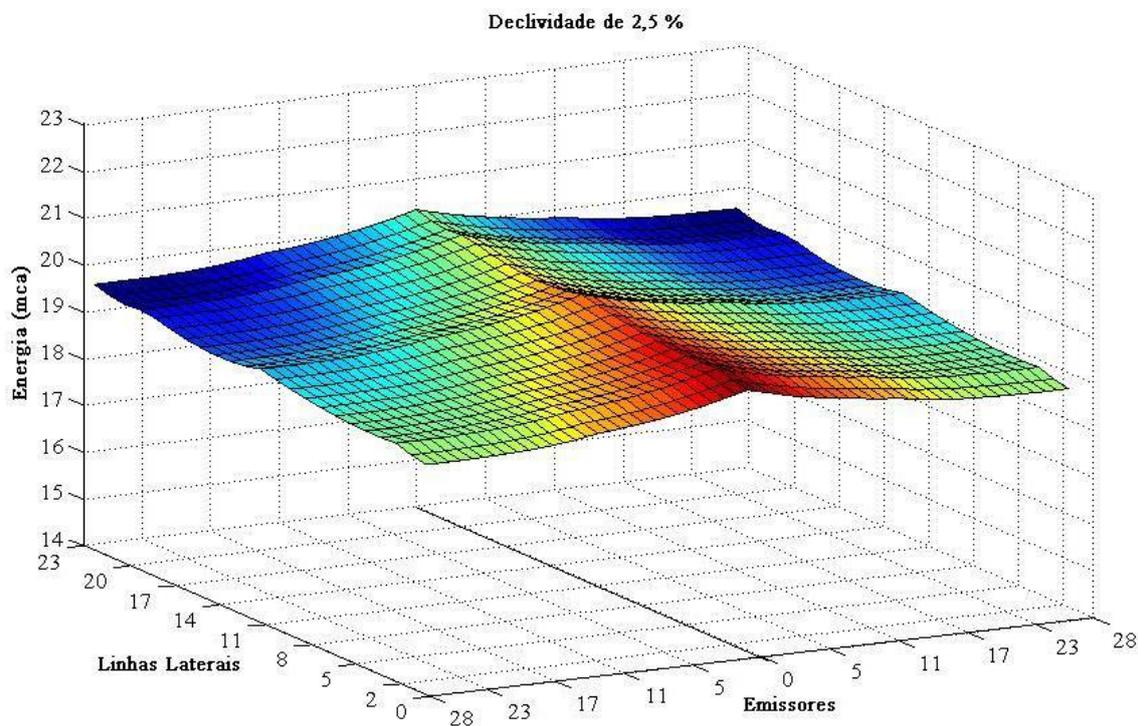


FIGURA 3. Distribuição de carga hidráulica na unidade operacional para declividade de 2,5%.  
**Distribution of hydraulic charge in the operational unit to 2.5 % of declivity.**

A variação de carga hidráulica, considerando os emissores nas linhas laterais e a declividade do terreno de 2,5% (Figura 3), apresentou menor amplitude, em relação às declividades de 0 e 5% (Tabela 2). Verifica-se que as maiores cargas totais encontram-se no começo da unidade

operacional, ocorrendo queda gradual da energia conforme a declividade do terreno e a evolução da perda de carga, segundo o diâmetro da tubulação.

Para toda a análise de sensibilidade proposta, verifica-se que a amplitude entre a máxima e a mínima carga efetiva na unidade operacional foi mais que o dobro para 0% de declividade em relação a 2,5% de declividade. Devido ao ganho de energia com a declividade do terreno, verifica-se que os maiores valores de carga efetiva máxima, mínima e média foram calculados com 5% de declividade.

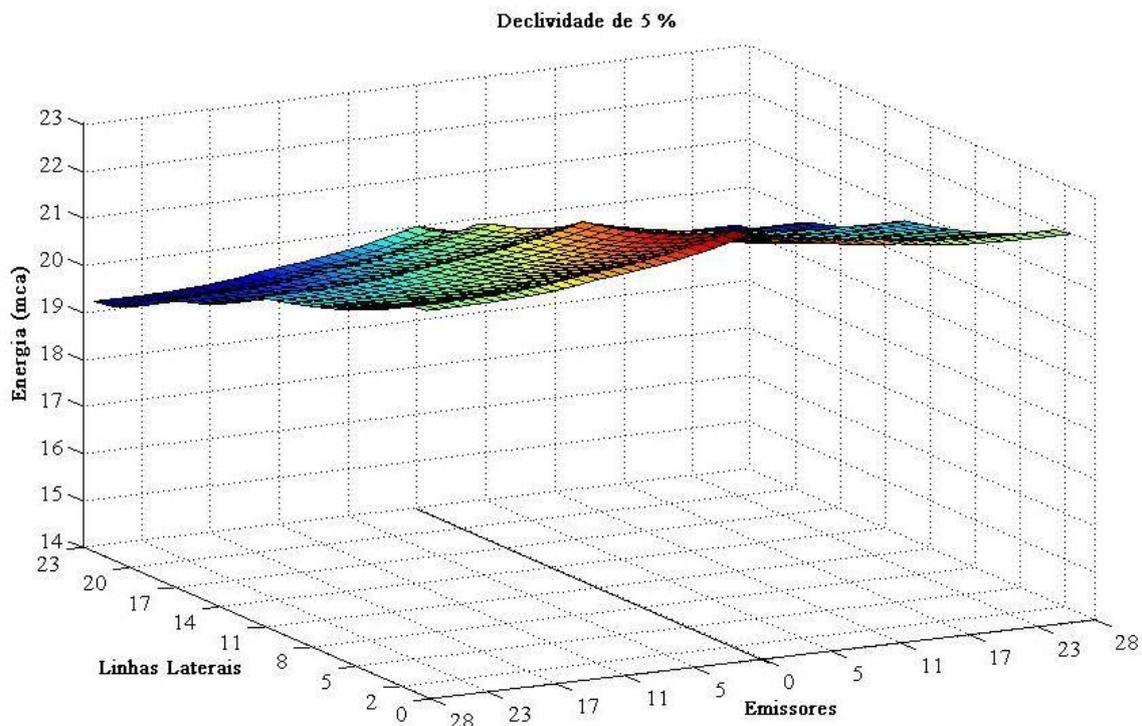


FIGURA 4. Distribuição de carga hidráulica na unidade operacional para declividade de 5%. **Distribution of hydraulic charge in the operational unit to 5 % of declivity.**

TABELA 2. Cargas hidráulicas máxima, mínima, média, amplitude absoluta e percentual calculada nos emissores da unidade operacional, segundo a variação da declividade do terreno. **Maximum, minimum and mean hydraulic charge, absolute and perceptual amplitude calculated in the issuing of the operation unit according to the variation of the ground slope.**

Declividade	Carga Hidráulica nos Emissores				Amplitude	
	Máxima	Mínima	Média			
--- % ---	----- mca -----				----- % -----	
0	20,02	16,68	18,16	3,34	16,7	
2,5	20,25	18,77	19,37	1,48	7,3	
5	22,79	19,18	20,88	3,61	15,8	

Verifica-se também que as maiores amplitudes e os menores valores de pressão mínima foram observados para as declividades de 2,5 e de 5% (Figuras 5; 6; 7 e Tabela 3). Com isto, verifica-se que o terreno em nível contribuiu para menor variação nos valores de pressão ao longo das tubulações da unidade operacional, resultando em valores de pressão médios acima dos com declividade.

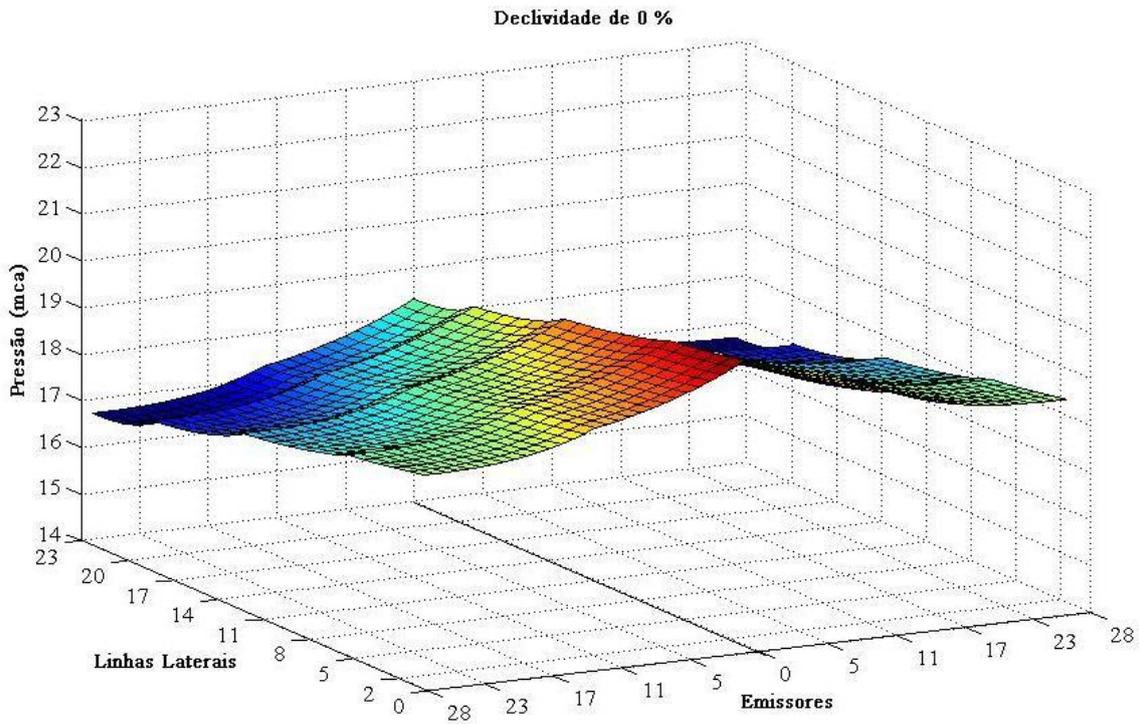


FIGURA 5. Distribuição de pressão na unidade operacional para declividade de 0%. **Distribution of the pressure in the operational unit to 0 % of declivity.**

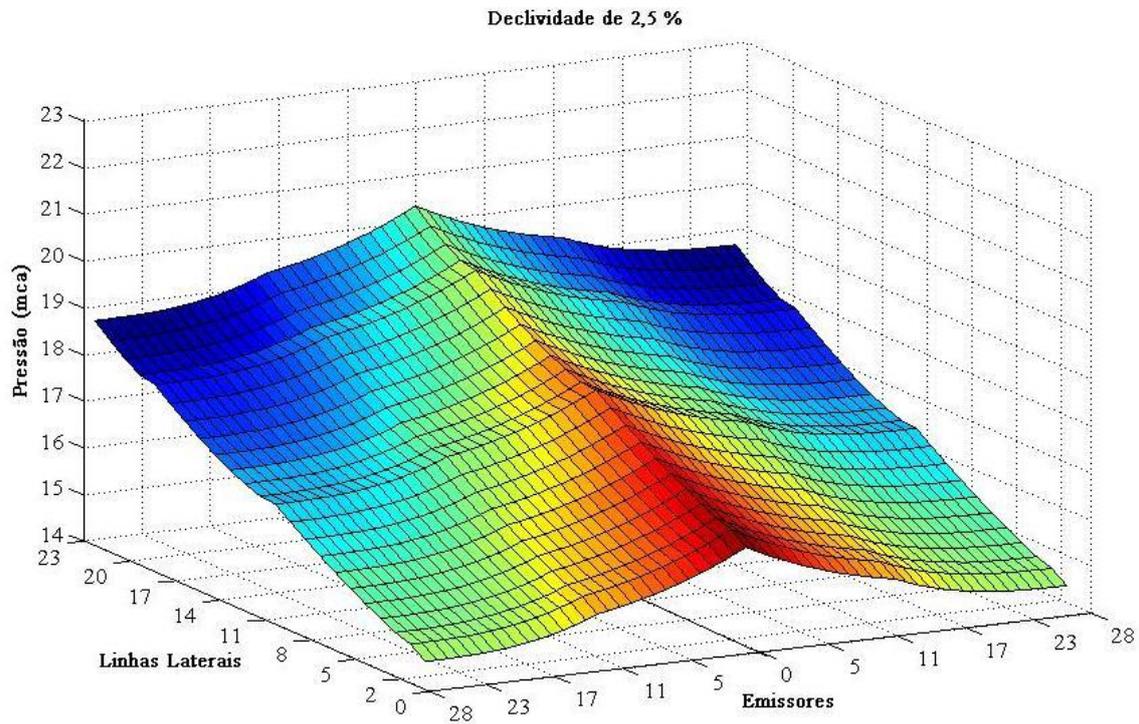


FIGURA 6. Distribuição de pressão na unidade operacional para declividade de 2,5%. **Distribution of the pressure in the operational unit to 2.5 % of declivity.**

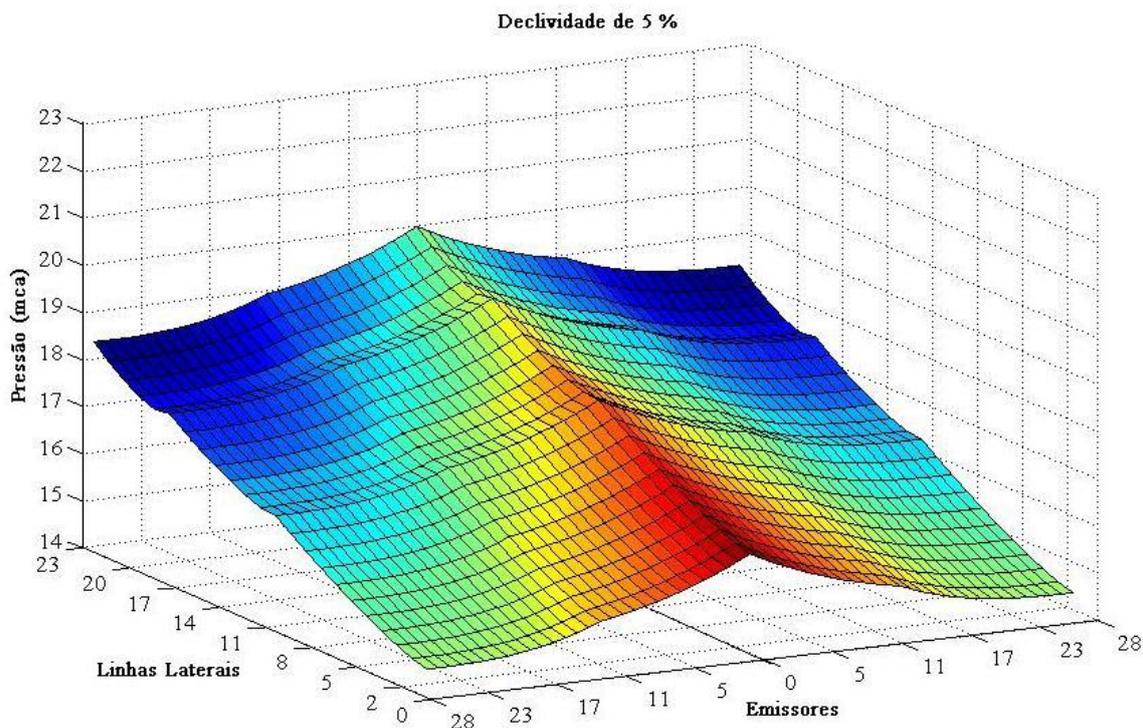


FIGURA 7. Distribuição de pressão na unidade operacional para declividade de 5%. **Distribution of the pressure in the operational unit to 5 % of declivity.**

TABELA 3. Pressões máxima, mínima, média, amplitude absoluta e percentual observada nos emissores da unidade operacional, segundo a variação da declividade do terreno e da tarifa de energia elétrica. **Maximum, minimum and mean pressure, absolute and perceptual amplitude calculated in the issuing of the operation unit according to the variation of the ground slope.**

Declividade	Carga Hidráulica nos Emissores				Amplitude
	Máxima	Mínima	Média		
---- % ----	----- mca -----				----- % -----
0	19,95	16,68	18,13	3,27	16,4
2,5	20,19	14,47	17,01	5,72	28,3
5	19,83	14,47	16,85	5,36	27,0

Ressalta-se que as variações entre as distribuições de carga total (Figuras 2; 3; 4 e Tabela 2) e pressão (Figuras 5; 6; 7 e Tabela 3), para as diferentes declividades estudadas, são resultado do ganho ou da perda de carga de posição devido à declividade a que está submetida a linha de derivação, que distribui a água para as linhas laterais (Figura 1 e Tabela 1).

## CONCLUSÕES

Os resultados indicam que, com o aumento da declividade do terreno, para tubulações com vazão em marcha, ocorre ganho de carga total no início da tubulação, a qual vai perdendo-se de maneira gradual no decorrer da tubulação e uma diminuição da pressão no início da tubulação, que aumenta gradualmente até o final da tubulação.

O algoritmo genético utilizado nesta otimização hidráulica resultou em uma resolução satisfatória do problema, sem tornar necessária a introdução de simplificações de dimensionamento na formulação do código da função de aptidão.

## AGRADECIMENTOS

À CAPES (PROEX) e ao CNPq, pelos auxílios financeiros que viabilizaram o desenvolvimento deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- FRIZZONE, J.A. *Análise de decisão econômica em irrigação*. Piracicaba: ESALQ, 2005. 371 p.
- KUWABARA, G.; MATSURA, E.E. Avaliação do comportamento hidráulico das linhas laterais de tubogotejadores. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11., 1996, Campinas. *Anais...* Viçosa: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 1996. p.275-287.
- LUCENA, K.F.M.; MATOS, J.A. Análise econômica em subunidades de irrigação localizada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001. Foz do Iguaçu: *Anais...* Cascavel: UNIOESTE/Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. 1 CD-ROM.
- NORONHA, J.F.; LATAPIA, M.X.I.C. Custos de produção sob condições de risco no Estado de São Paulo. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v.26, n.3, p.275-287, 1988.
- PAIS, M.S.; FERREIRA, J.C. ; TEIXEIRA, M.B. ; YAMANAKA, K. ; CARRIJO, G.A. Cost Optimization of a Localized Irrigation System Using Genetic Algorithms. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT DATA ENGINEERING AND AUTOMATED LEARNING, 11., 2010, Paisley. *Anais...* Paisley: IDEAL, 2010, v.6.283, p.29-36.
- PORTO, R.M. *Hidráulica básica*. 4. ed. São Paulo: Rettec Gráfica e Editora, 2006. 529 p.
- SAAD, J.C.C.; FRIZZONE, J.A. Design and management optimization of trickle irrigation system using non-linear programming. *Journal of Agricultural Researches*, v.64, n.1, p.109-118, 1996.
- SAAD, J.C.C.; MARIÑO, M.A. Optimum design of microirrigation systems in sloping lands. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Reston, v.128, n.2, p.116-124, 2002.
- SANTIAGO, F.S.; MONTENEGRO, A.A.A.; MONTENEGRO, S.M.G.L. Avaliação de parâmetros hidráulicos e manejo da irrigação por microaspersão em área de assentamento. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.24, n.3, p.632-643, 2004.
- SCALOPPI, E.J. Adjusted F factor for multiple-outlet pipes. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v.114, n.1, p.169-174, 1988.
- SOUZA, I.H.; ANDRADE, E.M.; SILVA, E.L. Avaliação hidráulica de um sistema de irrigação localizada de baixa pressão, projetado pelo software “bubler”. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.25, n.1, p.264-271, 2005.
- SWAMEE, P.K. Design of a submarine pipeline. *Journal of Transportation Engineering*, New York, v.119, n.1, p.159-170, 1993.