

# Efeito da Variação na Tarifação Pelo Uso da Água no Dimensionamento Otimizado de Rede de Irrigação Localizada Usando Algoritmos Genéticos

RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 15 n.3 Jul/Set 2010, 109-118.

Francisco Marcuzzo – [francisco.marcuzzo@cprm.gov.br](mailto:francisco.marcuzzo@cprm.gov.br)

Edson Wendland – [ew@sc.usp.br](mailto:ew@sc.usp.br)



Universidade de São Paulo



**E E S C**  
Escola de Engenharia  
de São Carlos



PÓS-GRADUAÇÃO em ENGENHARIA

**HIDRÁULICA e  
SANEAMENTO**

PPG-SHS USP/SÃO CARLOS

Laboratório de Hidráulica Computacional



# I. Introdução e Motivação



**X**



**Por que não utilizar apenas os sistemas de irrigação mais eficientes?**

**Como diminuir o custo de implantação de redes de irrigação mais eficientes?**

**Otimizar o dimensionamento da rede de irrigação.**

**Utilizar o maior comprimento de tubulação com o menor diâmetro possível, respeitando os critérios hidráulicos de dimensionamento da rede e demanda de água da cultura a ser instalada.**

## II. Objetivos

- ✓ Desenvolvimento de um modelo computacional
- ✓ Análise do espaço de busca e da eficiência do modelo de otimização por algoritmos genéticos
- ✓ Análise de sensibilidade das variáveis otimizadas
- ✓ Análise de sensibilidade econômica do código desenvolvido

## II. Objetivos

- ✓ Análise de sensibilidade hidráulica do código desenvolvido
- ✓ Análise da distribuição de água na área
- ✓ Análise da uniformidade de vazão por métodos utilizados pela literatura especializada
- ✓ Estudo de variação na tarifação da água (R\$ 0,01, 0,02,... até 0,10)

# II. Objetivos

## Principais contribuições do trabalho:

- ✓ Desenvolvimento da Função de Aptidão da rede
- ✓ Código com “pré-cálculo” de dimensionamento
- ✓ Cálculo das perdas de carga localizada com acoplamento de microaspersores, tubulação e contração da tubulação
- ✓ Análise hidráulica detalhada da rede otimizada
- ✓ Estudo da variação da tarifação da água na otimização e no custo final de projeto

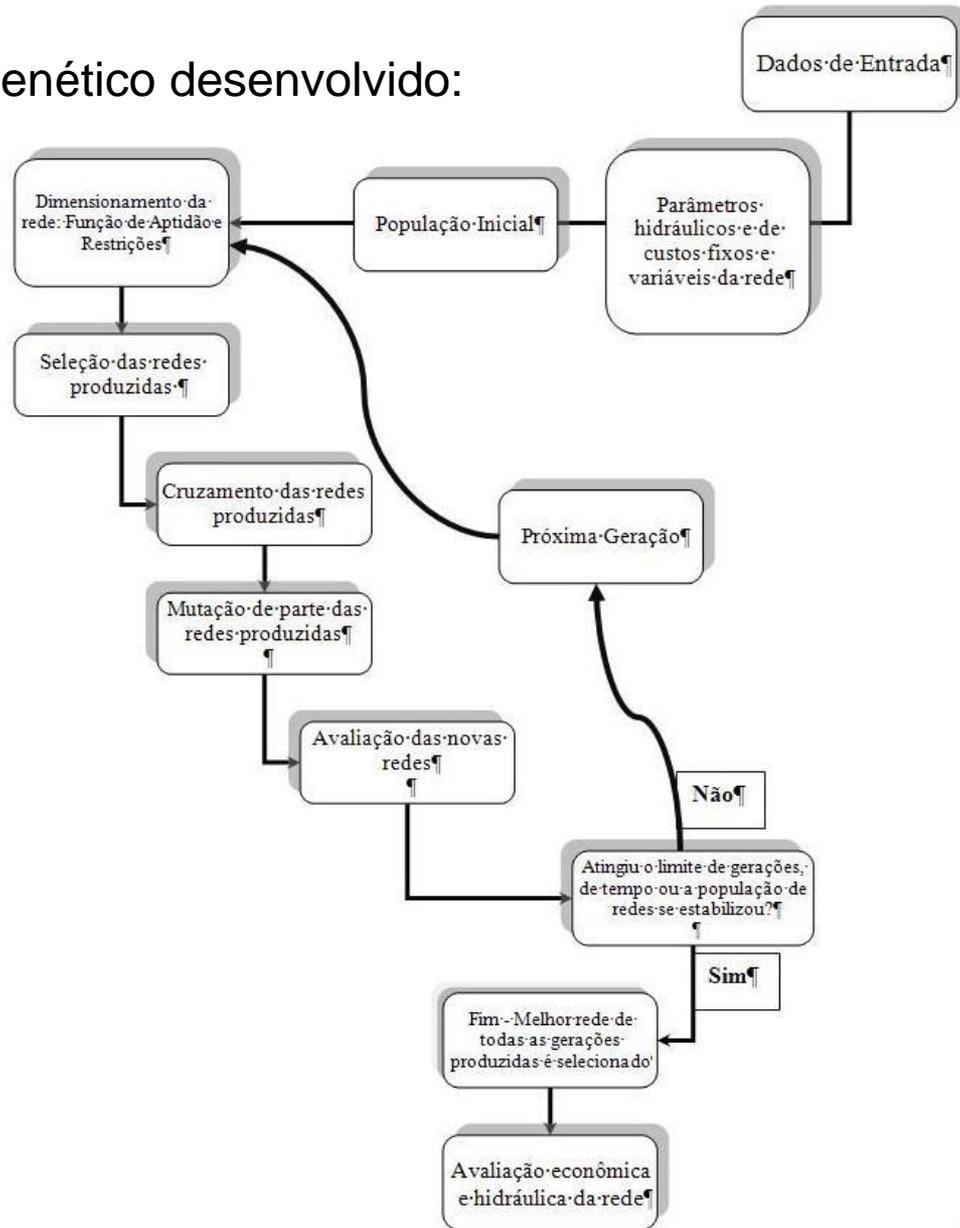
# III. Material e Métodos

## Considerações iniciais:

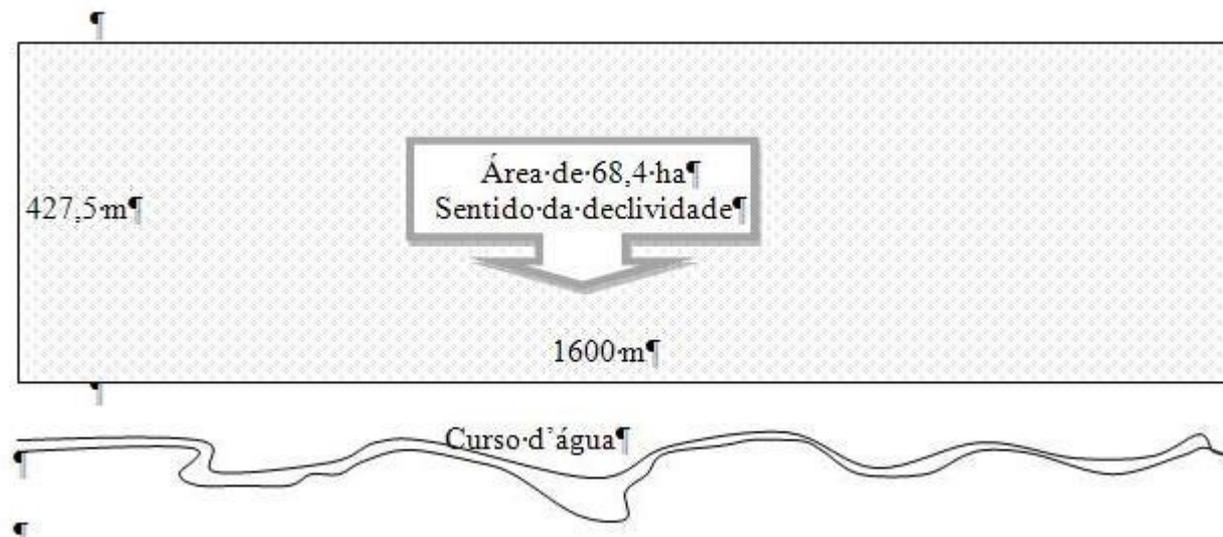
- ✓ O código do programa foi desenvolvido em MatLab (7.5.0 – R2007b)
- ✓ MatLab - possui linguagem própria de alto nível (compatível com C++ e Java)
- ✓ MatLab - caixa de ferramentas de algoritmos genéticos com ampla quantidade de opções de operadores genéticos

# III. Material e Métodos

Algoritmo genético desenvolvido:



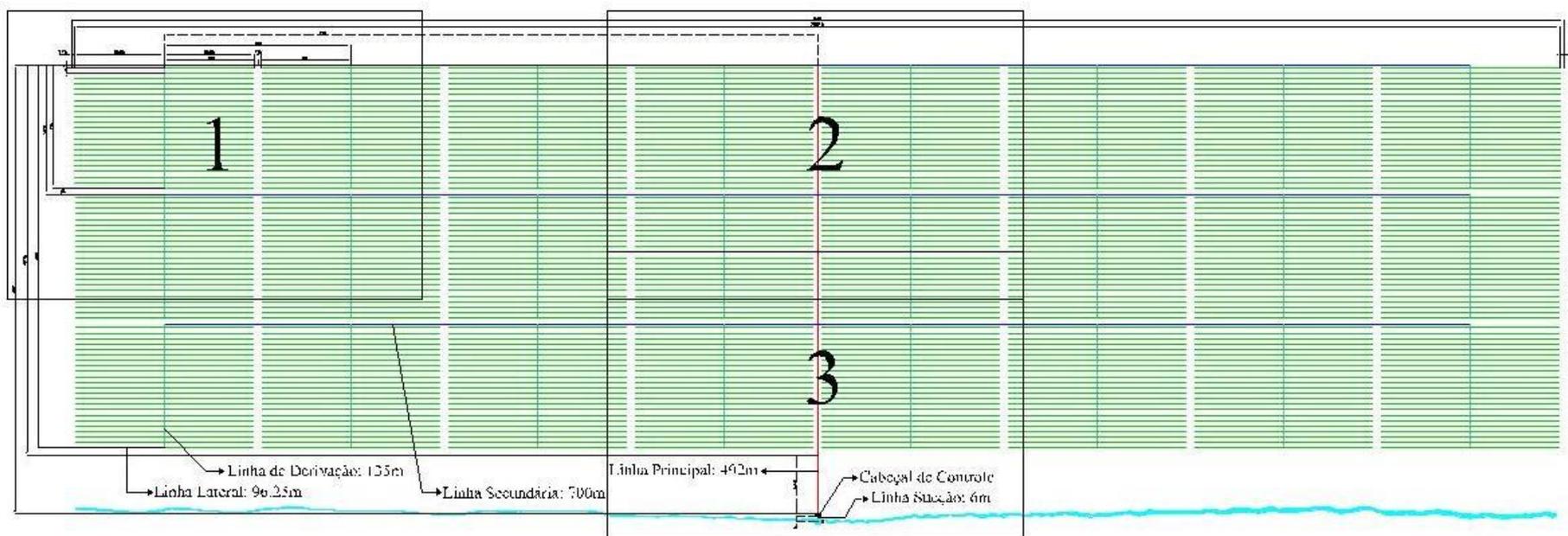
# III. Material e Métodos



- ✓ A área modelo: 78,72 ha (787.200 m<sup>2</sup>)
- ✓ 1600 metros de comprimento
- ✓ 492 metros de largura
- ✓ Faixa mínima de mata ciliar de 57 metros
- ✓ Faixa de 7,5 metros para movimentação de implementos e máquinas
- ✓ Área irrigável a partir de 64,5 metros distante do curso de água onde se fará a captação direta para o bombeamento
- ✓ Área útil para irrigação será de 68,40 ha (684.000 m<sup>2</sup>)

# III. Material e Métodos

Leiaute da rede hidráulica do sistema de irrigação localizada, para uma área de 78,72 ha, em escala 1:6000 (na versão impressa da tese)



Trecho da Rede	Declividade	Material	Comprimento ----- m -----	Número de Diâmetros
Linha Lateral	Nível	Polietileno	96,25	2
Linha de Derivação	Declive	PVC	135	4
Linha Secundária	Nível	PVC	700	4
Linha Principal	Aclive	PVC	492	1
Linha de Sucção	Aclive e Nível	PVC	6	1

# III. Material e Métodos

## ✓ Primeira etapa do dimensionamento:

➤ Quanto de água aplicar?

$$FPPL = -0,000002.(VAP)^2 + 0,0331.VAP + 111,52$$

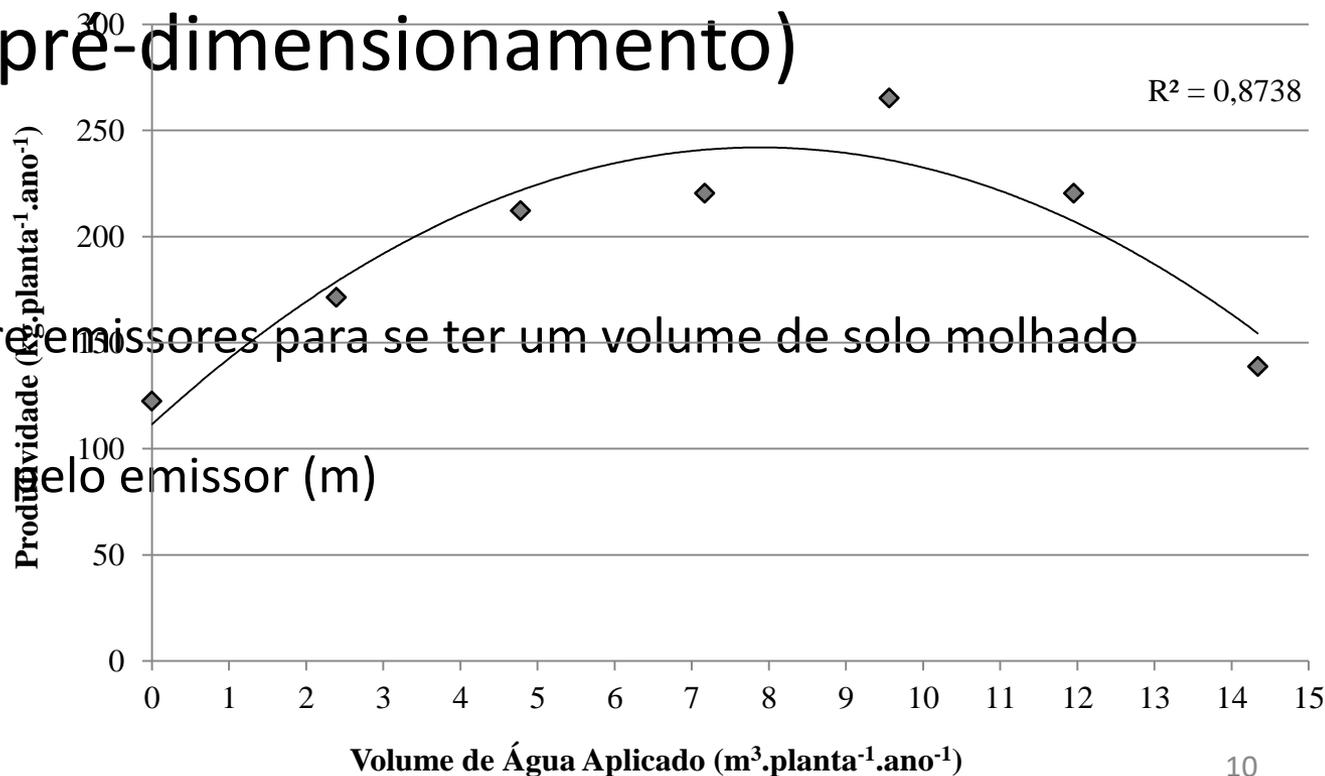
➤ Pré-cálculo (pré-dimensionamento)

Destaca-se:

$$See = 0,8.w$$

See - espaçamento entre emissores para se ter um volume de solo molhado contínuo (m)

w – diâmetro molhado pelo emissor (m)



# III. Material e Métodos

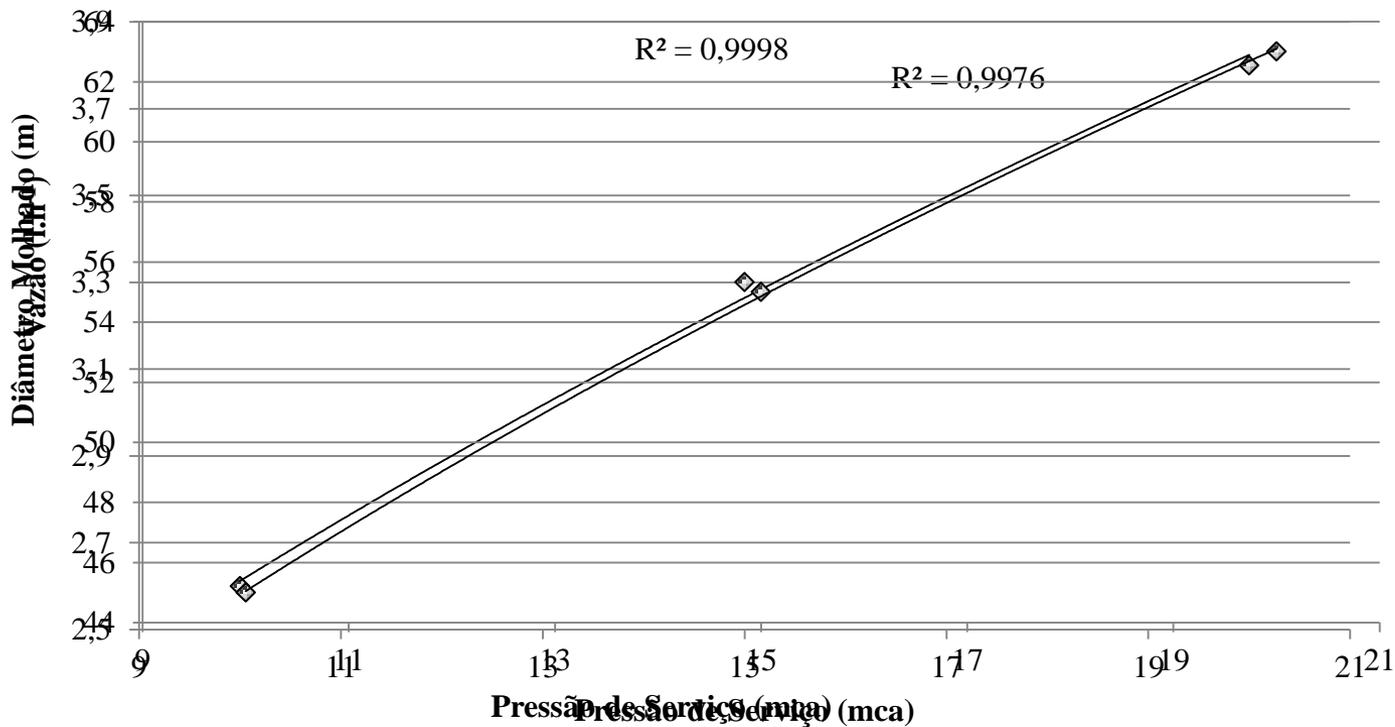
## Seleção do emissor:

Diâmetro Molhado X Pressão de Serviço

$$DM = 0,7358 \cdot PS^{0,5501}$$

Vazão X Pressão de Serviço

$$q = 14,71 \cdot PS^{0,486}$$



# III. Material e Métodos

## Equações de base para o dimensionamento da rede de distribuição de água do sistema de irrigação localizada

Coefficiente de atrito de perda de pressão por atrito

Coefficiente de perda de carga localizada (K) para contração brusca de diâmetros ( $A_{n+1}/A_n$ )

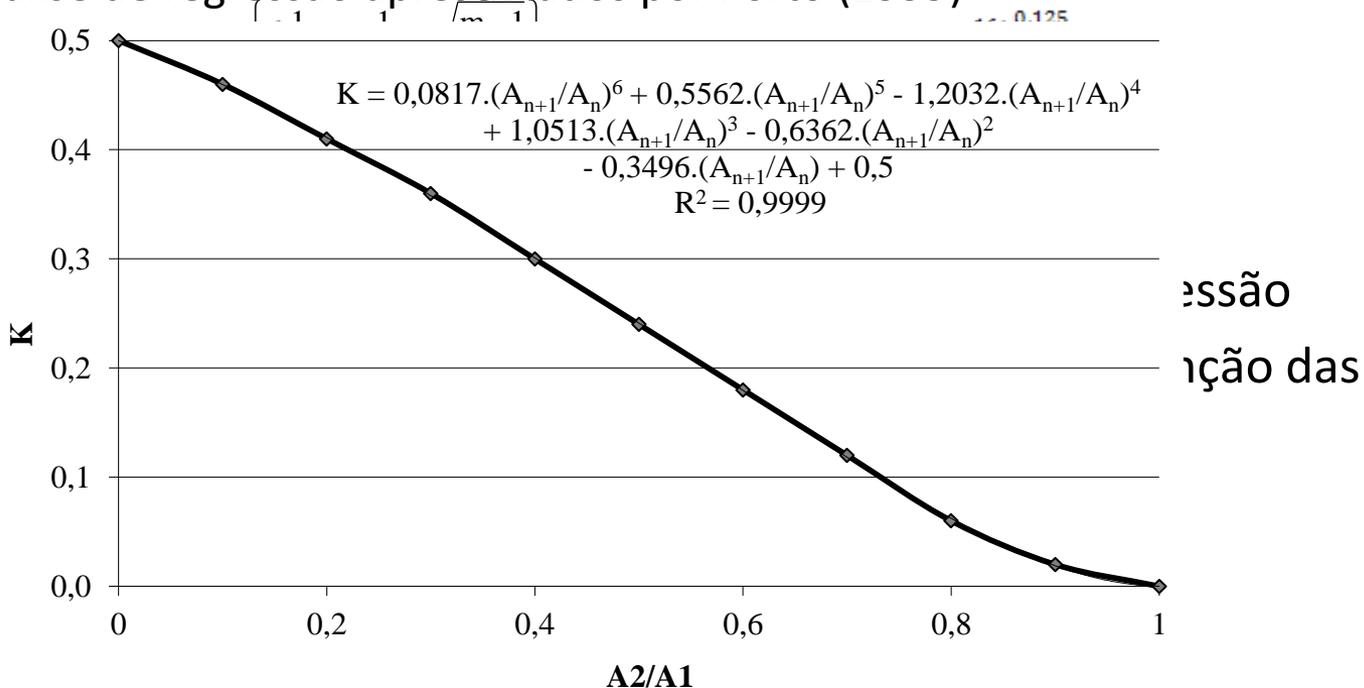
Dados da análise de regressão apresentados por Porto (1999)

Swamee (1985)

N - Número

m - Expoer

x - Relação  
demais



# III. Material e Métodos

## Custos

### Custo Total – Função de Aptidão

#### Custos variáveis

- ✓ Resolução da ANEEL DOU nº 313 de 07/04/2006, que é seguida pela CPF, este projeto de irrigação enquadra-se no Grupo B – (categoria do setor Rural)
- ✓  $f$  = custo total com a rede de irrigação (R\$.ano<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>)  
Tarifa de consumo de 0,1768 R\$.kW<sup>-1</sup> (desconto de 60% entre 21h30min e 06h00min - 0,0707 R\$.kW<sup>-1</sup>)
- ✓  $CEQ$  – custo total com os equipamentos de irrigação (R\$)
- ✓  $FRC$  - fator de recuperação de capital (decimal)
- ✓ Tarifa de água e energia elétrica (R\$.ano<sup>-1</sup>)
- ✓  $CATG$  – custo total com água (R\$.ano<sup>-1</sup>)

#### Custos fixos

Área Utilizada (ha)

$$FRC = \frac{J(J+1)^V}{(J+1)^V - 1}$$

$$CF = FRC . CEQ$$

# III. Material e Métodos

## **Variáveis de decisão:**

- ✓ Linha lateral (dois diâmetros – LLL1 e LLL2)
- ✓ Linha de derivação (quatro diâmetros – LLD1, LLD2, LLD3 e LLD4)
- ✓ Linha secundária (quatro diâmetros – LLS1, LLS2, LLS3 e LLS4)

# III. Material e Métodos

## Restrições hidráulicas

- Velocidade máxima em cada trecho das tubulações da rede de irrigação;
- Variação máxima de perda de carga permitida na linha lateral:  
 $PCTLL = 0,55.DHV$ ;
- Variação máxima de perda de carga permitida na linha de derivação:  
 $PCTLD = 0,45.DHV$ ;
- Faixa de pressão mínima e máxima permitida no microaspersor (segundo o fabricante):  $10 \text{ mca} \leq h_e \leq 20 \text{ mca}$ ;
- Uniformidade estatística de distribuição de vazão dos microaspersores na linha lateral:  $UEST \geq 90\%$ ;

# III. Material e Métodos

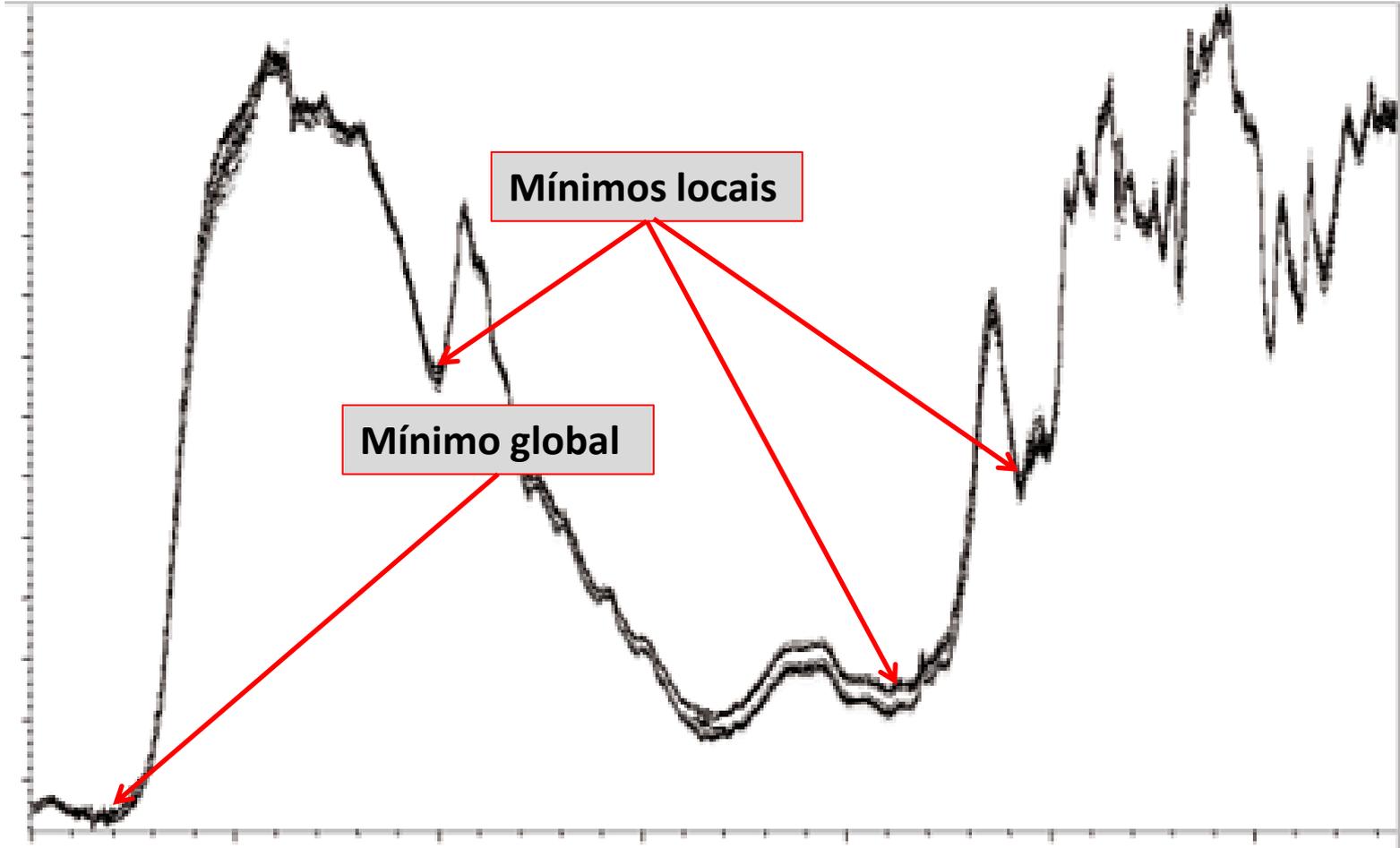
## Uniformidade de emissão e uniformidade estatística

$$UE = 100. \frac{qn}{\bar{q}}$$

$$UE_b = 100.(1 - 1,27. e^{-0,5} . CVF). \frac{qn}{\bar{q}}$$

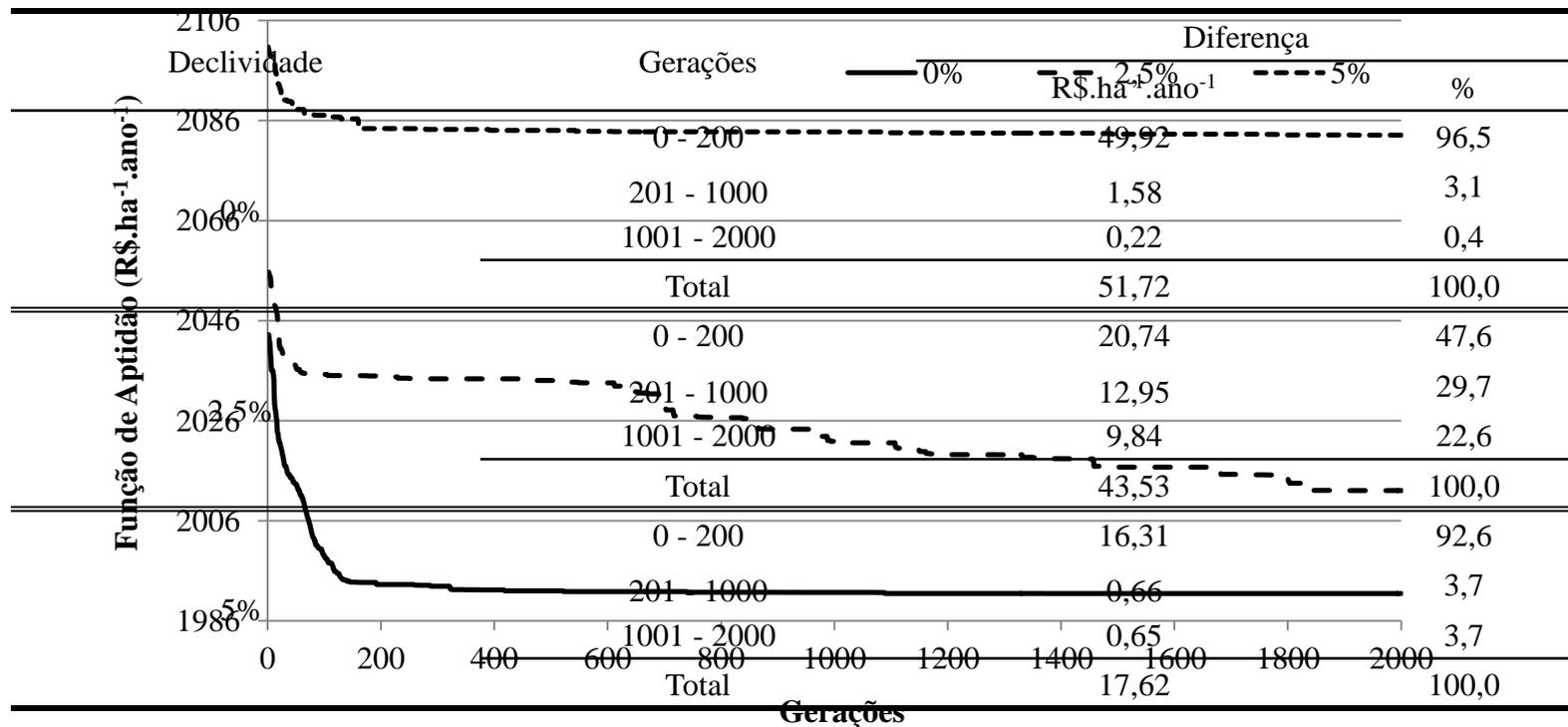
$$U_s = 100.(1 - CVE) = 100. \left(1 - \frac{Sq}{\bar{q}}\right)$$

# III. Material e Métodos



# IV. Resultados e Discussão

Diferenças na convergência dos valores da função de aptidão entre conjuntos de gerações para as declividades de 0, 2,5 e 5%, com tarifa de água de 0,1768 R\$.m<sup>3</sup> e energia elétrica de 0,1768 R\$.kW<sup>-1</sup>



# IV. Resultados e Discussão

## Análise econômica variando a declividade e a tarifa de água

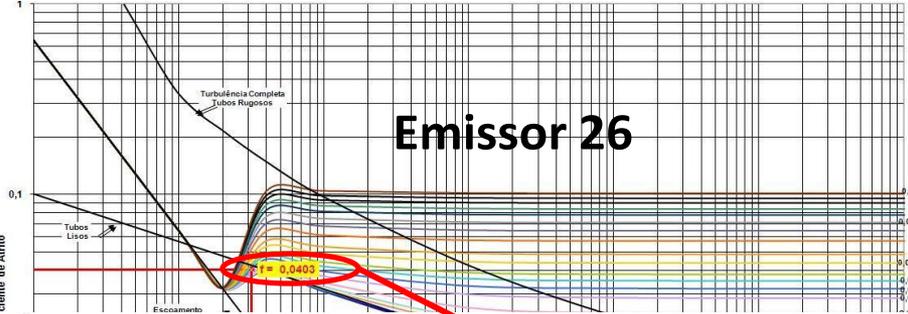
Variáveis da Análise de Sensibilidade			Custos Anualizados por Hectare da Rede de Irrigação			
Declividade	Água	Energia Elétrica	Equipamentos	Energia Elétrica	Água	Total
----- % -----			----- R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> -----			
0	50	100	1611,20	344,57	20,14	1975,91
2,5	50	100	1576,48	396,64	20,14	1993,26
5	50	100	1573,55	467,55	20,14	2061,24
0	75	100	1611,20	344,57	30,21	1985,98
2,5	75	100	1576,48	396,64	30,21	2003,33
5	75	100	1573,55	467,55	30,21	2071,31
0	100	100	1611,20	344,57	40,28	1996,05
2,5	100	100	1576,48	396,64	40,28	2013,40
5	100	100	1573,55	467,55	40,28	2081,38
0	125	100	1611,20	344,57	50,35	2006,12
2,5	125	100	1576,48	396,64	50,35	2023,47
5	125	100	1573,55	467,55	50,35	2091,45
0	150	100	1611,20	344,57	60,42	2016,19
2,5	150	100	1576,48	396,64	60,42	2033,54
5	150	100	1573,55	467,55	60,42	2101,52

**Menor Custo Total**

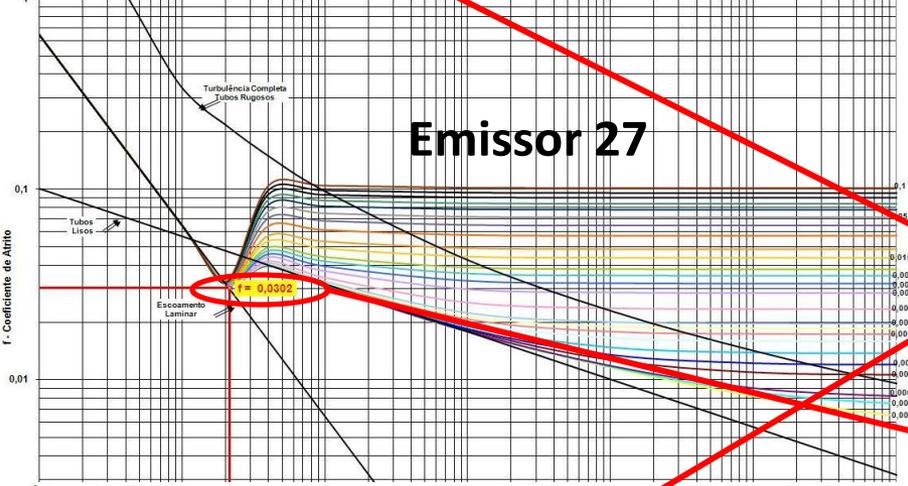
**Maior Custo Total**

# Discussão Lateral

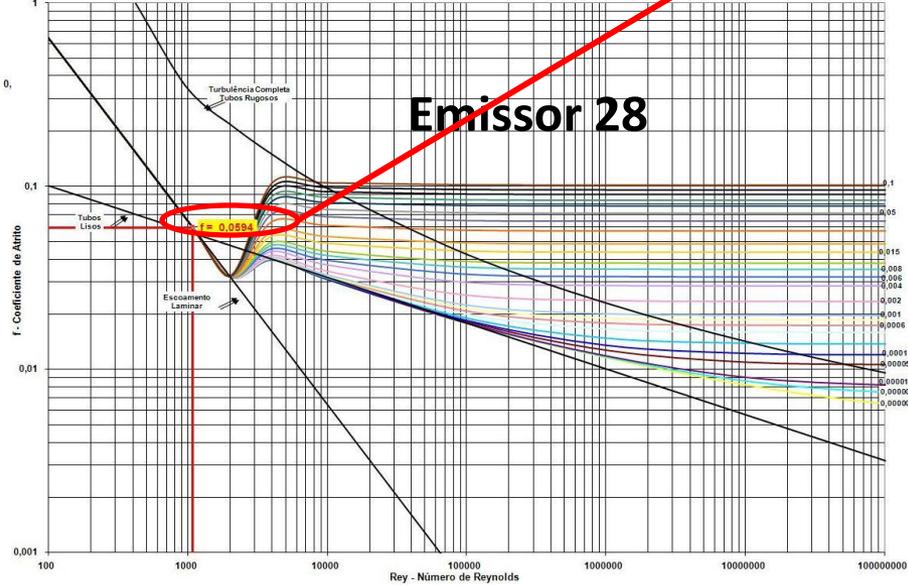
**Emissor 26**



**Emissor 27**

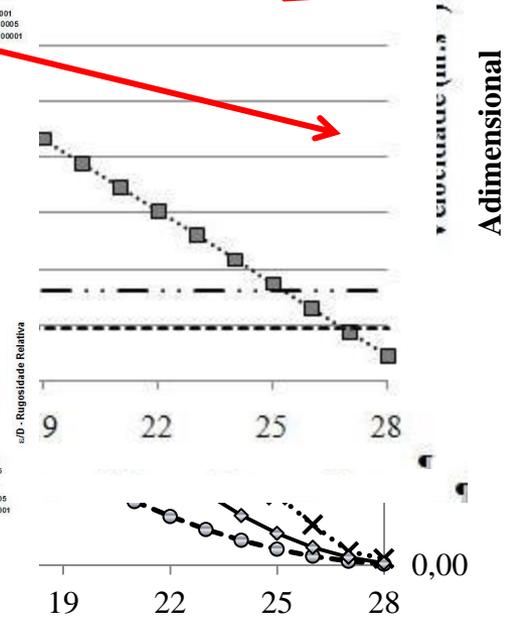


**Emissor 28**

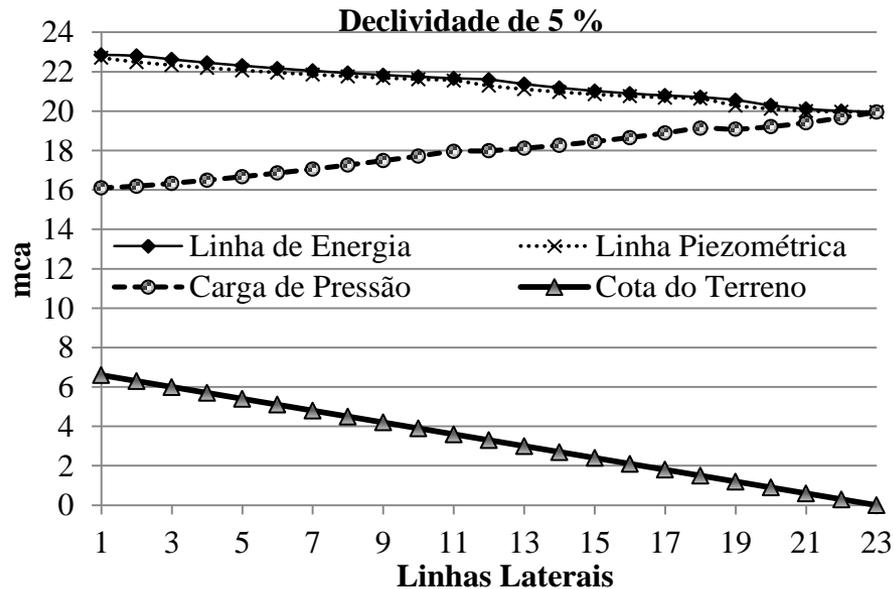
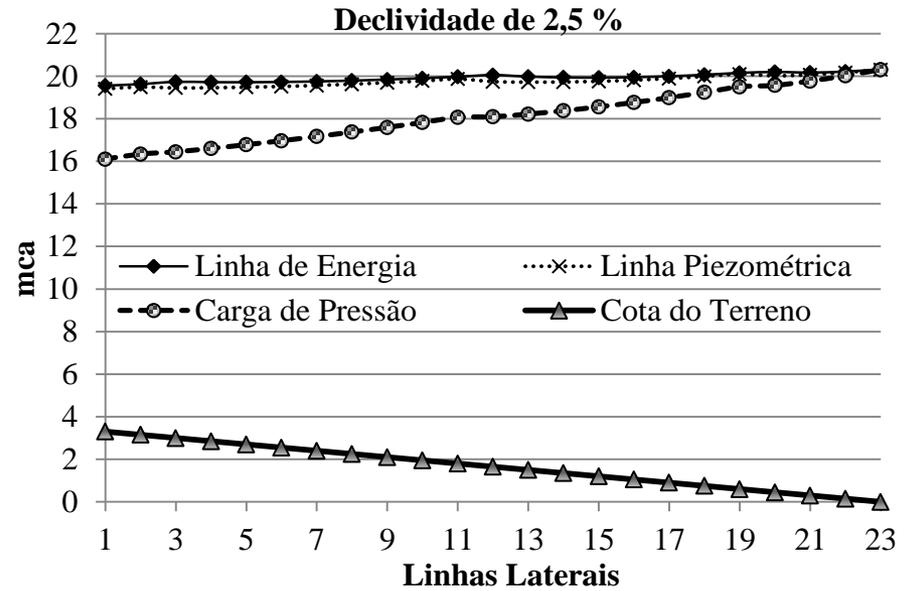
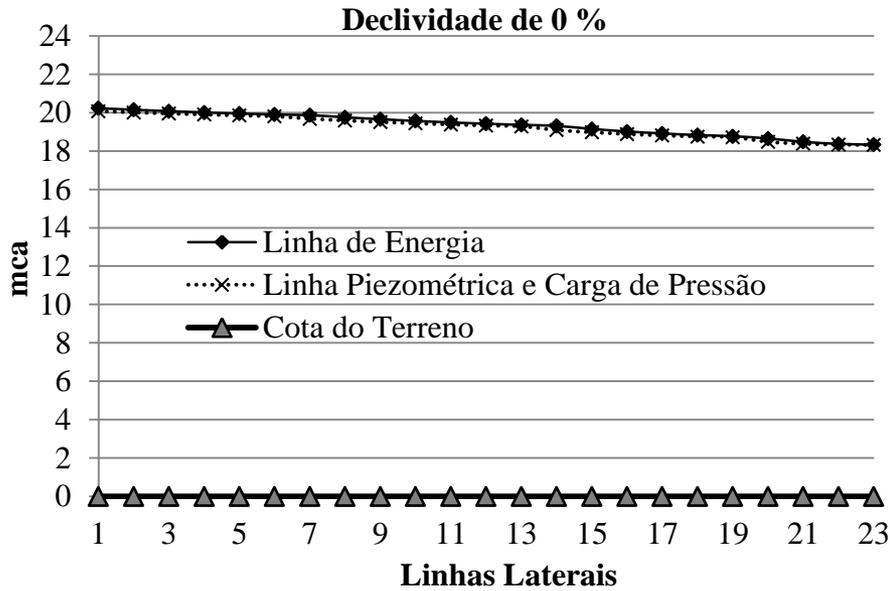


Contração da Tubulação  
Emissores

nos Emissores  
Turbulento -  $Re = 4000$   
Laminar -  $Re = 2300$



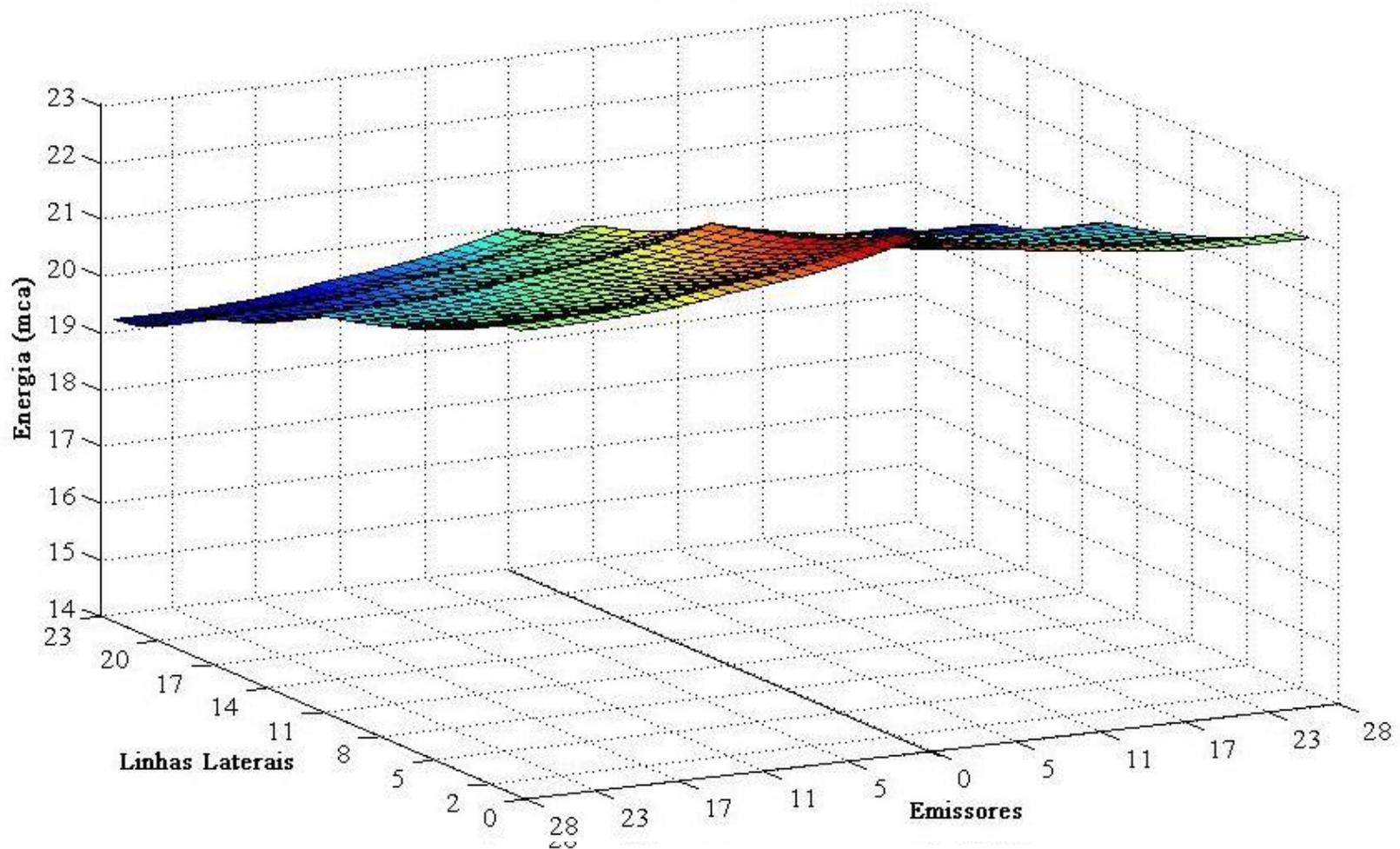
# IV. Resultados e Discussão



# IV. Resultados e Discussão

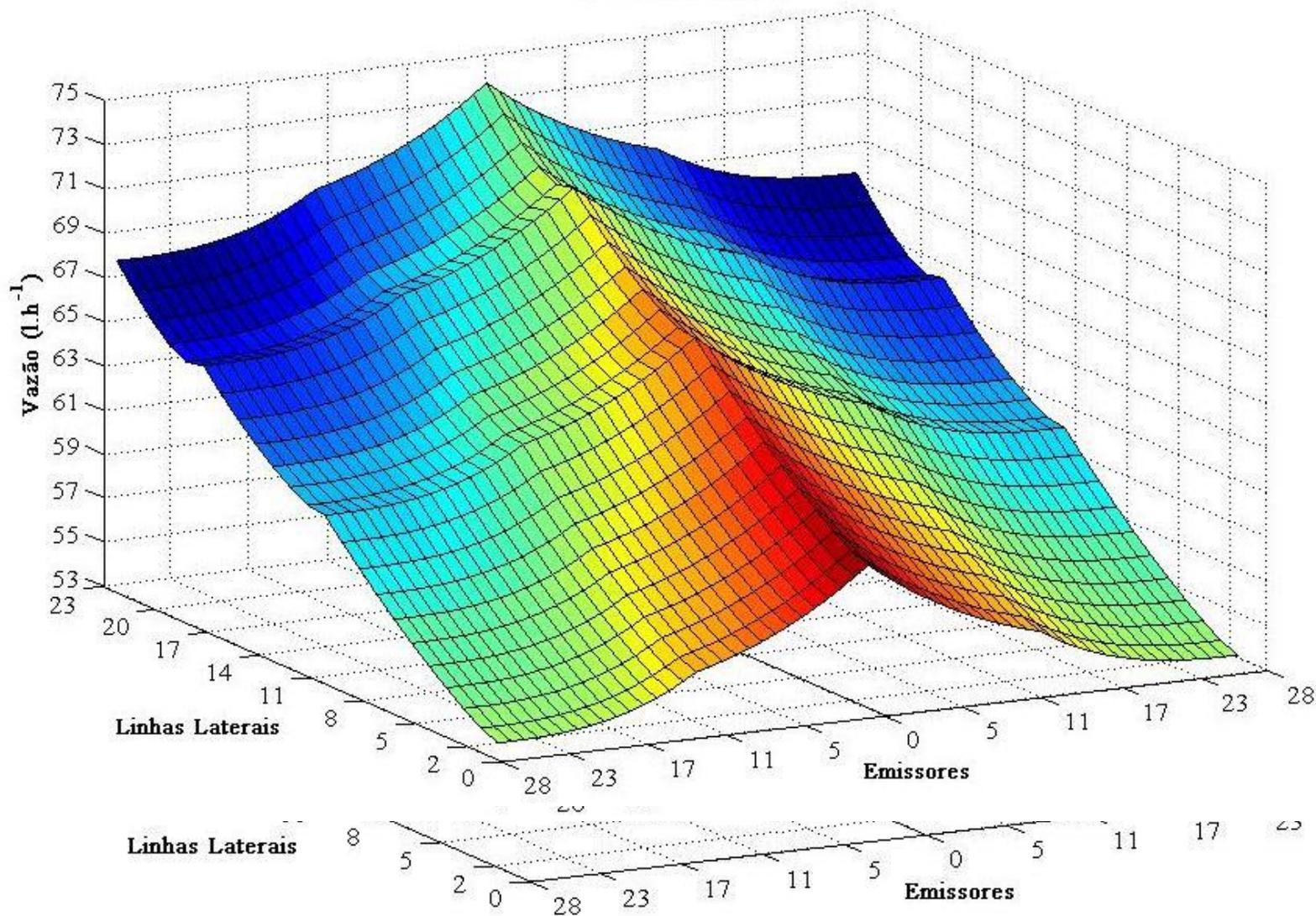
## Análise hidráulica da unidade operacional: carga efetiva (energia)

Declividade de 5 %



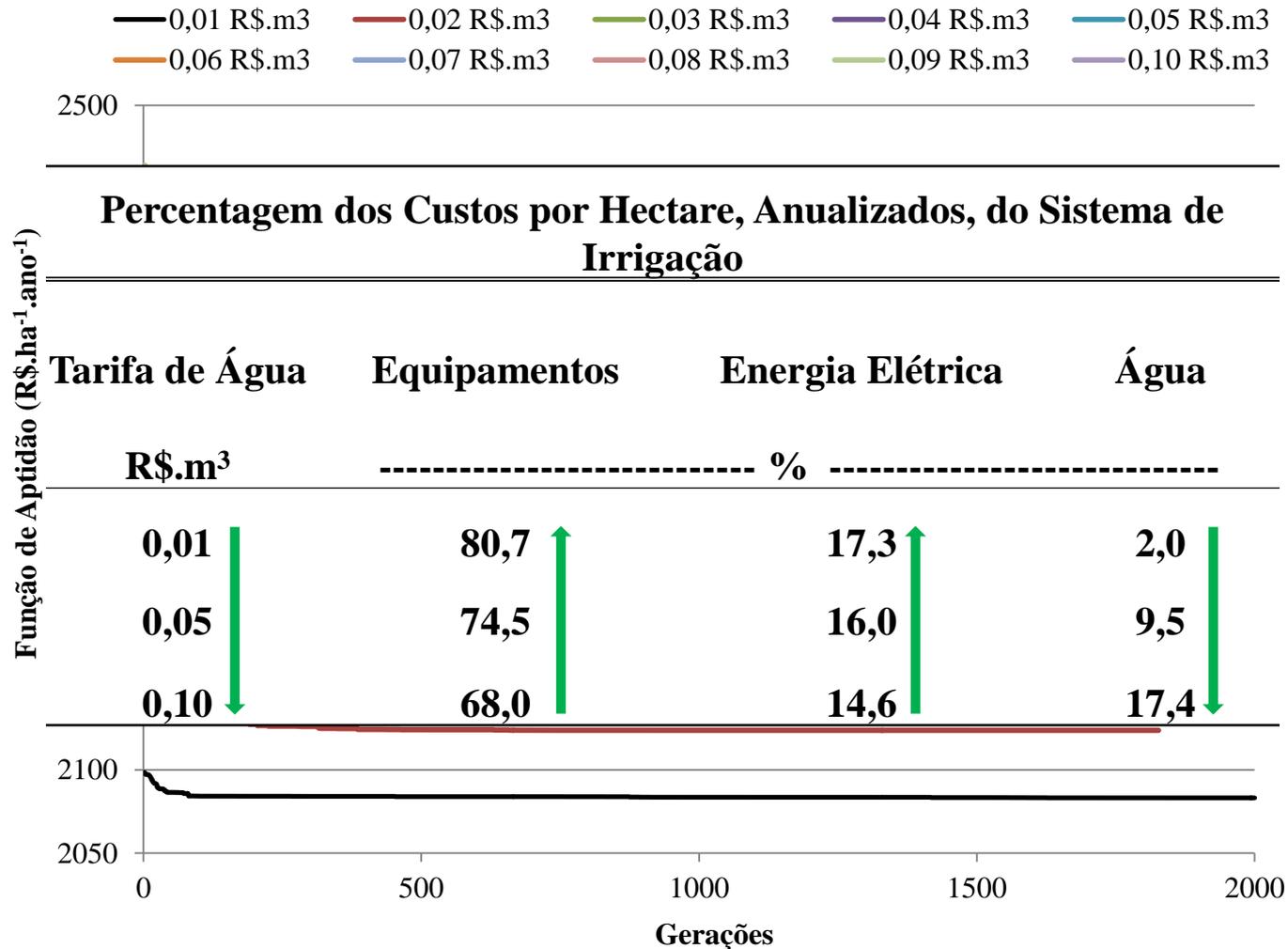
# IV. Resultados e Discussão

Declividade de 5 %



# IV. Resultados e Discussão

## Estudo da variação na tarifação da água



# V. Conclusões

- ✓ Fácil manuseio para usuários de linguagem C ou C++ e que tenham algum conhecimento do MatLab
- ✓ Os arquivos das funções de dimensionamento não recorrem a cálculo de derivadas (comuns em otimização clássica)
- ✓ Por fim, conclui-se que o algoritmo genético utilizado para o dimensionamento otimizado da rede de irrigação proposta obteve resultados satisfatórios. A análise de sensibilidade econômica e, principalmente, a análise hidráulica das diferentes redes otimizadas para processamento por computadores pessoais
- ✓ Devido às características intrínsecas no algoritmo genético, a resolução da otimização pelos algoritmos genéticos, em teoria, poder encontrar o ótimo global
- ✓ As variáveis otimizadas, que são os comprimentos e seus respectivos diâmetros, são expressas em diâmetros comerciais disponíveis na base de dados de entrada do programa, o que facilita a utilização do programa como ferramenta no auxílio decisório para dimensionamentos reais



Obrigado pela atenção!

