

LUIZ FERNANDO COUTINHO DE OLIVEIRA

**DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA NA SUPERFÍCIE E NO
PERFIL DO SOLO E HIDRÁULICA DE UM SISTEMA DE
IRRIGAÇÃO POR MICROASPERSÃO**

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura de Lavras, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Irrigação e Drenagem, para a obtenção do grau de "MESTRE"



ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS
LAVRAS - MINAS GERAIS
1992

DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA NA SUPERFÍCIE E NO PERFIL DO
SOLO E HIDRÁULICA DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR
MICROASPERSÃO

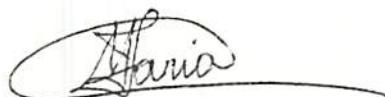
LUIZ FERNANDO COUTINHO DE OLIVEIRA

Aprovada: 22 de outubro de 1992



Dr. Antônio Marciano da Silva

Orientador



Dr. Manoel Alves de Faria

Co- Orientador



Dr. Luiz Antônio Lima



Dr. Reinaldo Lúcio Gomide

"As criaturas provêm do alimento;
a produção de alimentos provêm da chuva;
a chuva procede do sacrifício;
o sacrifício advém da ação".

(Bhagavad Gita)

A Deus

Aos meus pais Joaquim e Mariana

A segunda mãe Dita

Aos meus irmãos e cunhadas

Aos meus sobrinhos

Aos colegas de curso e de república

As amigas da república Filial

Aos velhos e novos amigos.

AGRADECIMENTOS

A Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL), por intermédio do Departamento de Engenharia, pela acolhida e pelos ensinamentos;

A Universidade de Alfenas pela liberação em tempo parcial, no período de conclusão do curso;

A Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo;

Aos professores Dr. Antônio Marciano da Silva e Dr. Manoel Alves de Faria, pela orientação, estímulo e amizade;

Ao professor Dr. Luiz Antônio Lima e ao pesquisador Dr. Reinaldo Lúcio Gomide, pela valiosa colaboração e pelas sugestões apresentadas;

Aos professores Marcelo Silva de Oliveira e Ruben Delly Veiga, pelo apoio relacionado à estatística;

Aos funcionários dos Departamentos de Engenharia e Ciências do Solo, do pomar e da Biblioteca Central, pela colaboração na condução e realização deste trabalho;

A Randolpho Peres Rebelo, pelo apoio e amizade;

Aos demais colegas de curso e a todos que direta ou indiretamente, colaboraram na realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1. Considerações gerais.....	4
2.2. Coeficientes de uniformidade de distribuição de vazão.....	7
2.3. Uniformidade de aplicação de água.....	16
2.4. Hidráulica da linha de irrigação.....	19
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1. Descrição da área experimental.....	24
3.2. Seqüência de execução das atividades.....	26
3.2.1. Caracterização dos parâmetros físicos-hídricos do solo.....	28
3.2.2. Uniformidade de distribuição de vazão.....	28
3.2.3. Avaliação da distribuição de água na superfície e no perfil do solo...	30
3.2.4. Avaliação da hidráulica das linhas de irrigação	35

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1. Classificação e caracterização dos parâmetros físicos -hídricos do solo.....	43
4.2. Avaliação da uniformidade de distribuição de vazão.....	48
4.3. Avaliação da distribuição da água na superfície e no perfil do solo.....	59
4.3.1. Avaliação da uniformidade das lâminas de água aplicadas em relação às distâncias radiais.....	59
4.3.2. Avaliação da uniformidade das lâminas de água aplicadas em relação à posição de coleta.....	62
4.3.3. Avaliação da uniformidade das lâminas de água armazenadas no solo em relação às distâncias radiais	71
4.3.4. Avaliação da uniformidade das lâminas de água armazenadas no solo em relação à posição de amostragem.....	77
4.3.5. Avaliação da uniformidade das lâminas de água armazenadas nas dife- rentes camadas do solo, antes e após a irrigação.....	79
4.3.6. Comparação da uniformidade de distribuição de água na superfície e no perfil do solo.....	82
4.4. Avaliação da hidráulica das linhas de irrigação	83
5. CONCLUSÕES.....	86
6. RESUMO.....	88
7. SUMMARY.....	90
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82

9.	APÊNDICES.....	98
9.1.	Apêndice A.....	98
9.2.	Apêndice B.....	105
9.3.	Apêndice C.....	118

LISTA DE QUADROS

Quadros		Página
1.	Características hidráulicas do microaspersor ASBRASIL com bailarina giratória (FARIA et alii, 1987).....	26
2.	Manejo da irrigação com base nos dados da evaporação de água do tanque Classe "A" (ECA) e da precipitação pluviométrica (P), Julho, 1992.....	33
3.	Análise granulométrica e massas específicas real e aparente para as diferentes camadas do solo.....	44
4.	Condutividade hidráulica saturada e parâmetros das equações ajustadas de Van GENUCTHEN e MUALEM com os respectivos coeficientes de determinação para as diferentes camadas do solo.....	47
5.	Medidas de posição e dispersão para os valores das vazões de cada emissor, para as unidades operacionais I e II e do bloco.....	49
6.	Valores dos coeficientes de uniformidade de aplicação de água para as linhas pertencentes a unidade operacional I.....	52
7.	Valores dos coeficientes de uniformidade de aplicação de água para as linhas pertencentes a unidade operacional II.....	53

8.	Valores dos coeficientes de uniformidade de aplicação de água para o bloco como um todo.....	54
9.	Matriz de correlação simples entre os coeficientes de uniformidade estudados.....	56
10.	Equações ajustadas entre os coeficientes de uniformidade de distribuição de vazão, dois a dois e seus respectivos coeficientes de determinação e intervalos de confiança de 95% para β_0 e β_1	58
11.	Valores da velocidade média do vento e da evaporação de água medidas durante a realização dos testes.....	59
12.	Valores médios das lâminas de água aplicadas (mm), coletadas nos pluviômetros em relação às distâncias radiais (cm), para os diferentes emissores e linhas.....	61
13.	Coefficientes de uniformidade de Christiansen (%) para as lâminas médias coletadas nos pluviômetros em relação às distâncias radiais	60
14.	Valores das lâminas de água aplicadas (mm), em relação à posição coleta para o semi-eixo N.....	63
15.	Valores das lâminas de água aplicadas (mm), em relação à posição coleta para o semi-eixo S.....	64
16.	Valores das lâminas de água aplicadas (mm), em relação à posição coleta para o semi-eixo E.....	65
17.	Valores das lâminas de água aplicadas (mm), em relação à posição coleta para o semi-eixo W.....	66

18.	Intensidade de aplicação média de água (mm/h), em relação às faixas irrigadas no sentido N - S.....	69
19.	Intensidade de aplicação média de água (mm/h), em relação às faixas irrigadas no sentido E - W.....	70
20.	Coefficientes de uniformidade de Christiansen (%), para as lâminas de água coletadas nos pluviômetros em relação às posições e distâncias radiais.....	71
21.	Valores médios das lâminas de água armazenadas (mm) próximo ao ponto de emissão.....	73
22.	Valores médios das lâminas de água armazenadas (mm), para a distância radial de 50 cm e camadas amostradas.....	74
23.	Valores médios das lâminas de água armazenadas (mm), para a distância radial de 150 cm e camadas amostradas.....	75
24.	Valores médios das lâminas de água armazenadas (mm), para a distância radial de 250 cm e camadas amostradas.....	76
25.	Coefficientes de uniformidade de Christiansen (%), para as lâminas médias de água armazenadas em relação às distâncias radiais.....	77
26.	Coefficientes de uniformidade de Christiansen (%), para as lâminas de água armazenadas em relação às posições de amostragem.....	80
27.	Lâminas médias de água armazenadas (mm) no solo para as diferentes camadas, antes e após a irrigação em relação às distâncias radiais.....	81

28.	Coeficientes de uniformidade de Christiansen (%), para as diferentes camadas do solo, antes e após a irrigação em relação às distâncias radiais.....	82
29.	Coeficientes de uniformidade de Christiansen (%), para as lâminas médias de água aplicadas na superfície e armazenadas no perfil do solo em relação às distâncias radiais.....	83
30.	Coeficientes de uniformidade de Christiansen (%), para as lâminas de água médias aplicadas e armazenadas no solo em relação à posição.....	84

LISTA DE FIGURAS

Figuras	Página
1. Área experimental com a divisão do sistema de irrigação por microaspersão em unidades operacionais.....	25
2. Curva vazão - pressão do microaspersor ASBRASIL (FARIA et alii, 1987).....	27
3. Disposição dos coletores espaçados de 50 cm em eixos ortogonais, a partir do emissor.....	32
4a. Fluxograma do programa utilizado no cálculo da pressão nos pontos de emissão.....	40
4b. Subrotina para o cálculo dos parâmetros hidráulicos.....	41
4c. Subrotina para a impressão dos resultados.....	42
5a. Curva de retenção de umidade para a camada de 0 a 20 cm.....	45
5b. Curva de retenção de umidade para a camada de 20 a 40 cm.....	45
5c. Curva de retenção de umidade para a camada de 40 a 60 cm.....	46

6a.	Distribuição de frequências dos microaspersores da unidade operacional I.....	50
6b.	Distribuição de frequências dos microaspersores da unidade operacional II.....	50
6c.	Distribuição de frequências dos microaspersores do bloco operacional	51
7a.	Pluviômetria do microaspersor ASBRASIL no eixo N - S.....	68
7b.	Pluviômetria do microaspersor ASBRASIL no eixo E - W.....	68
8.	Armazenamento de água em relação às distâncias radiais para as diferentes camadas do solo.....	78

LISTA DE SÍMBOLOS

A = lâmina de água armazenada no solo (L)

a = expoente da equação de perda de carga função do regime de escoamento (adimensional)

α = parâmetro empírico da equação de Van Genuchten (L^{-1})

b = expoente da equação de perda de carga função do regime de escoamento (adimensional)

β_0 = intercepto da reta com o eixo y (adimensional)

β_1 = inclinação da reta de regressão (adimensional)

C = coeficiente de rugosidade da equação de Hazen-Williams ($M^{-0,54} L^{1,54} T^{0,08}$)

CUA = coeficiente de uniformidade absoluta de Abreu & Lopes (adimensional)

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen (adimensional)

CU_H = coeficiente de uniformidade de HART (adimensional)

$CUMKA$ = coeficiente de uniformidade de Merriam et alii (adimensional)

CU_p = coeficiente de uniformidade do projeto (adimensional)

CV = coeficiente de variação (adimensional)

CVF = coeficiente de variação de fabricação do emissor (adimensional)

D = diâmetro interno do conduto (L)

D_a = massa específica aparente ($M L^{-3}$)

dn = diferença da energia de posição entre os pontos de emissão (L)

e = número de emissores por planta (adimensional)

ε = erro experimental (adimensional)

F_{obs} = frequência observada (adimensional)

F_t = frequência teórica (adimensional)

f = fator de atrito da equação de Darcy-Weisbach ($M L^{-2} T^{-2}$)

g = aceleração da gravidade ($L T^{-2}$)

H = pressão do emissor ($M L^{-1} T^{-2}$)

$H(i)$ = pressão no emissor de ordem i ($M L^{-1} T^{-2}$)

$H(i+1)$ = pressão no emissor de ordem $i+1$ ($M L^{-1} T^{-2}$)

h = potencial mátrico (L)

∇ = gradiente

h_f = perda de carga ao longo do conduto ($M L^{-1} T^{-2}$)

h_{fg} = perda de carga localizada ($M L^{-1} T^{-2}$)

h_{HW} = perda de carga calculada pela equação de Hazen-Williams ($M L^{-1} T^{-2}$)

h_{fDW} = perda de carga calculada pela equação de Darcy-Weisbach ($M L^{-1} T^{-2}$)

$h_{f(HW)}$ = perda de carga total do trecho calculada com base na equação de Hazen-Williams

$$(M L^{-1} T^{-2})$$

$h_{ft(DW)}$ = perda de carga total do trecho calculada com base na equação de Darcy-Weisbach

$$(M L^{-1} T^{-2})$$

K = Coeficiente que depende da geometria do orifício ($M^{-x} L^{3+x} T^{2x-1}$)

K_o = condutividade hidráulica do meio saturado (LT^{-1})

$K(\theta)$ = condutividade hidráulica do meio não saturado (LT^{-1})

K_g = coeficiente de perda de carga devido a inserção do microaspersor na linha de irrigação

$$(M L^{-2} T^{-2})$$

k = coeficiente que depende das características da tubulação ($M L^{b-a-1} T^{-2-a}$)

L = comprimento do conduto (L)

m = parâmetro empírico da equação de Van Genuchten (adimensional)

N = número de emissores (adimensional)

NC = novo coeficiente de Deniculi (adimensional)

n = parâmetro empírico da equação de Van Genuchten (adimensional)

$\sum n'$ = número de dados utilizados para se calcular $\sum q'$ (adimensional)

PE = eficiência padrão de Cridlle et alii (adimensional)

PE_H = eficiência padrão de Hart (adimensional)

Se = umidade relativa (adimensional)

ν = viscosidade cinemática ($L^2 T^{-1}$)

θ = umidade volumétrica do solo ($L^3 L^{-3}$)

θ_r = umidade volumétrica residual ($L^3 L^{-3}$)

θ_s = umidade volumétrica de saturação ($L^3 L^{-3}$)

Q = vazão do trecho ($L^3 T^{-1}$)

q = vazão do emissor ($L^3 T^{-1}$)

q^* = densidade de fluxo da água no solo ($L T^{-1}$)

q_a = vazão média do emissor ($L^3 T^{-1}$)

q_{ns} = menor vazão na subunidade ($L^3 T^{-1}$)

q_m = média das vazões coletadas ($L^3 T^{-1}$)

q_{max} = média das 12,5% maiores valores de vazões ($L^3 T^{-1}$)

q_i = vazão de cada emissor ($L^3 T^{-1}$)

$\Sigma q'_i$ = somatório das 25% menores vazões ($L^3 T^{-1}$)

Re = número de Reynolds (adimensional)

U = teor de umidade com base em peso ($M M^{-1}$)

UE = uniformidade de emissão do projeto proposto por Keller & Karmeli (adimensional)

V = velocidade média de escoamento ($L T^{-1}$)

X = variável regressora (adimensional)

x = expoente que caracteriza o regime de fluxo (adimensional)

χ_c^2 = qui-quadrado calculado (adimensional)

χ_i^2 = qui-quadrado tabelado (adimensional)

y = variável resposta (adimensional)

z = espessura da camada de solo (L)

Z(i) = energia de posição no emissor de ordem i ($M L^{-1} T^{-2}$)

Z(i + 1) = energia de posição no emissor de ordem i + 1 ($M L^{-1} T^{-2}$).

1. INTRODUÇÃO

O alto custo de implantação de um sistema de irrigação localizada contribui, além de outros fatores, pelo elevado preço do produto final. Tem-se afirmado, algumas vezes que a irrigação é cara não justificando seus investimentos o que, sem uma análise da relação custo/benefício, pode distorcer e comprometer uma tecnologia que é imprescindível ao desenvolvimento agrícola. No Brasil, o maior problema está nos instrumentos da política econômica, que tem tolhido não só a irrigação, mas a agricultura como um todo (RODRIGUES, 1990)

A irrigação localizada é um método relativamente novo onde, a água é transportada até as plantas por meio de tubos plásticos, eliminando totalmente as perdas na condução e minimizando as perdas por evaporação, uma vez que a água só é aplicada em partes da área, sob a copa das plantas.

O método de irrigação localizada, tem sido empregado com grande sucesso em frutíferas e olerícolas, principalmente devido a alta frequência de aplicação de água, favorecendo altos rendimentos, a boa adaptação às formas de plantio, a menor exposição das partes aéreas com a água evitando o estabelecimento de doenças fúngicas, o controle de salinidade, o uso de fertirrigação, e a ausência de escoamento superficial evitando a contaminação dos mananciais por pesticidas e diminuindo o processo erosivo, contribuindo com preservação dos recursos naturais.

Inicialmente, todos os sistemas de irrigação localizada forneciam água às plantas por meio de fontes puntiformes utilizando-se os gotejadores. Porém, com o aparecimento de dispositivos que aspergem água de modo a irrigar uma pequena área, os sistemas de irrigação localizada tornaram-se melhor adaptáveis a diferentes condições de solo e culturas.

Em virtude do grande potencial da irrigação localizada, tem sido crescente a demanda de informações sobre este método. Alguns problemas surgidos no campo, estão provocando o abandono de algumas áreas irrigadas devido ao dimensionamento inadequado do sistema, (SALLES, 1990). Isto deve-se principalmente à utilização de parâmetros muitas vezes não ajustadas às condições brasileiras, retirados de literatura e apresentados na forma de ábacos, tabelas e fórmulas. É de grande interesse dos projetistas, dos irrigantes e dos próprios fabricantes, dados referentes a avaliação dos equipamentos, tanto a nível de campo como em laboratórios especializados, de modo a fornecer subsídios para um melhor desempenho do sistema.

Para um bom funcionamento do sistema, é necessário que se conheça as características dos emissores. No caso de microaspersores e gotejadores, existem diferenças no que se refere a forma de aplicação de água, que muitas vezes não são levadas em consideração pelos projetistas.

A distribuição espacial da água no solo dentre outros fatores, constitui um importante parâmetro a ser estudado para se projetar com critério, um sistema de irrigação localizada e possibilita verificar a região com umidade adequada para o desenvolvimento das raízes, (BOTREL, 1988). A variabilidade na fabricação dos emissores pode ser igualmente importante. As variações que ocorrem, embora pequenas em magnitude absoluta, podem representar uma grande variação percentual na uniformidade de aplicação de água (MORAES, 1984). Segundo FARIA et alii (1987), a uniformidade de aplicação de água ao longo da linha

lateral está diretamente relacionada com a variação de vazão dos emissores devido às variações hidráulicas (perdas de carga contínua e localizada, ganho ou perda de energia de posição), variações de fabricação (processo, qualidade da matéria prima, geometria do emissor) e efeitos ambientais (temperatura e qualidade da água).

Em vista do exposto, surge a necessidade de se estudar e conhecer as características hidráulicas e a distribuição de água, requisitos básicos para o dimensionamento e um bom desempenho de um sistema de irrigação localizada. Assim, os objetivos deste trabalho foram:

- Avaliar um sistema de irrigação por microaspersão, já implantado quanto à distribuição de vazão da linha lateral dentro de suas unidades operacionais;
- O estudo da distribuição da água na superfície e no perfil do solo;
- Avaliação hidráulica das linhas de irrigação.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Considerações Gerais

A irrigação localizada é realizada tendo-se como meta a aplicação de água apenas no volume do solo explorado pelas raízes, para que obtenham as quantidades necessárias de água e nutrientes que necessitam, isto acarreta uma redução do armazenamento de água, obrigando a aplicações de pequenas quantidades de água para satisfazer as necessidades hídras dos cultivos, (CABELLO,1986).

O volume de solo explorado pelas raízes varia com o estágio de crescimento e desenvolvimento das plantas e com o tamanho da região umedecida uma vez que, as raízes ativas tendem a se concentrarem no bulbo úmido formado pela irrigação. ZANINI (1991), salienta que essa informação é relevante para projetos onde as culturas são irrigadas desde o plantio, ou em culturas em que irrigação será instalada quando as plantas já estão com o sistema radicular e parte aérea desenvolvidos.

A área molhada formada pelo microaspersor, depende do volume da água aplicado, da vazão do emissor, do alcance do jato do emissor, da textura, da estrutura e da estratificação do solo. Armoni et alii (1984) citados por SALLES (1990) acrescentam ainda como fator a frequência de irrigação. A quantidade máxima de água a ser aplicada em cada ciclo de irrigação depende da profundidade do solo a ser umedecida, da capacidade de

armazenamento do solo, do nível de depleção de água no solo permitido ou desejado e da porcentagem da área molhada, (KELLER & KARMELI, 1974).

Existem divergências em relação à porcentagem da área molhada. KELLER & KARMELI (1974), aconselham os valores de 33% para as regiões áridas e 20% para regiões úmidas. CABELLO (1987) recomenda como aceitável de 30 e 40%. JUAN (1985), indica que é comprovado o aumento de produção quando são irrigados mais de 50% do volume ocupado pelas raízes.

Na determinação do valor da porcentagem de área molhada, tem-se dois casos distintos segundo BERNARDO (1989): (i) quando se irriga uma faixa contínua do solo, o que é mais comum na irrigação por gotejamento, principalmente nos cultivos em fileiras; (ii) quando se irriga árvores isoladas, o melhor procedimento de se conhecer a área molhada por um emissor, consiste na realização de um teste de campo. CABELLO (1987), propôs um procedimento de campo para a determinação da área molhada com vários emissores aplicando volumes diferentes, tomando-se o cuidado de espaçá-los para se evitar a sobreposição dos bulbos. Após vários ciclos de umedecimento e secagem, escava-se o terreno anotando para cada caso, o raio e a profundidade do bulbo molhado. Este procedimento de campo, que mais se aproxima das condições reais não é muito utilizado.

CLOTHIER et alii (1985) evidenciaram que a textura do solo, ou mais especificamente, a geometria dos poros, determina a importância relativa das forças gravitacional e capilar na formação do bulbo.

Perrens (1984) citado por COELHO (1990), verificou que a uniformidade da umidade a 50 cm de profundidade, durante o processo de infiltração da água no solo aumentou de 60% para 67% em um solo de textura arenosa, e de 60% para 73% em um solo areno-siltoso, devido a redistribuição de água no solo.

BOTREL (1988) testou um modelo matemático baseado na equação de Darcy (1) e conservação da massa(2), com a finalidade de estudar a distribuição espacial da água no solo, obtendo valores de umidade no perfil próximos aos observados.

$$q^* = K(\theta)\nabla h \quad (1)$$

$$\frac{\delta\theta}{\delta t} = \frac{\delta q^*}{\delta Z} \quad (2)$$

sendo,

q^* = densidade de fluxo ($L T^{-1}$);

$K(\theta)$ = condutividade hidráulica em meio não saturado ($L T^{-1}$);

∇h = gradiente de potencial, adimensional;

θ = umidade volumétrica ($L^3 L^{-3}$);

t = tempo (T);

Z = distância entre dois pontos genéricos ao longo da linha de fluxo (L).

onde, a condutividade hidráulica em função da umidade, foi obtida pela metodologia proposta por MUALEM (1976), a partir da curva de retenção da umidade descrita pela equação de Van GENUTCHEN (1980) e da condutividade hidráulica saturada, apresentada a seguir:

$$K = K_o \cdot Se^L \left[1 - (1 - Se^{1/m}) \right]^2 \quad (3)$$

$$Se = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (4)$$

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s + \theta_r}{[1 + (\alpha h)^n]^m} \quad (5)$$

onde,

K_0 = Condutividade hidráulica saturada ($L T^{-1}$);

S_e = umidade relativa, adimensional;

θ = umidade volumétrica, ($L^3 L^{-3}$);

θ_r = umidade volumétrica residual, ($L^3 L^{-3}$);

θ_s = umidade volumétrica de saturação, ($L^3 L^{-3}$);

n = parâmetro do solo, adimensional;

$m = 1 - \frac{1}{n}$ (restrição sugerida por Mualem, 1976);

α = parâmetro do solo (L^{-1});

h = potencial matricial (L).

2.2. Coeficientes de Uniformidade de Distribuição de Vazão

As linhas de emissores apresentam saídas espaçadas umas das outras, de acordo com o tipo de solo e com a cultura que se vai irrigar. A uniformidade de aplicação de água ao longo da linha é função da variação de vazão dos emissores devido aos efeitos provocados pela perda de energia, pelas diferenças no relevo, pela variabilidade na fabricação e pelo tempo de uso dos emissores, (FARIA et alii, 1982). A vazão do emissor é função do

diâmetro do orifício de descarga e da pressão, e pode ser apresentada pela equação característica descrita da forma:

$$q = K H^x \quad (6)$$

onde,

q = vazão do emissor ($L^3 T^{-1}$);

H = pressão ($M L^{-1} T^{-2}$);

K = coeficiente que depende da geometria do orifício

($M^{-x} L^{3+x} T^{2x-1}$);

x = expoente que caracteriza o regime de fluxo.

KELLER & KARMELI (1974) recomendam uma variação de 10% na vazão ao longo da linha nos sistemas de irrigação por gotejamento. A perda de carga permissível para produzir essa variação dependerá do regime de fluxo do emissor, expressa pelo expoente da equação característica do emissor. Goldberg et alii (1976), citados por OLITTA (1985), recomendam que se considere como admissível, uma diferença de vazão entre o primeiro e o último emissor na linha lateral de irrigação da ordem de 20%, o que proporcionará uma diferença de pressão equivalente de 44% quando o controle da vazão é feito de forma rigorosa. Por sua vez CABELLO (1986), recomenda que a diferença de pressão no conjunto da sub-unidade seja proporcional à diferença da pressão média e mínima. Os valores das pressões média e mínima na subunidade são determinadas em função do coeficiente de uniformidade de emissão do projeto proposto por KELLER & KARMELI (1974), seguindo a expressão apresentada à seguir, tomando-se como base a equação característica do emissor:

$$UE = 100 \left[1 - \frac{1,27 C V F}{\sqrt{e}} \right] \frac{q_{ns}}{q_a} \quad (7)$$

onde,

UE = uniformidade de emissão do projeto proposto por KELLER & KARMELI, em porcentagem;

CVF = coeficiente de variação de fabricação do emissor, adimensional;

q_a = vazão média do emissor ($L^3 T^{-1}$);

q_{ns} = menor valor na subunidade ($L^3 T^{-1}$);

e = número de emissores por planta.

KELLER & KARMELI (1974) usaram a relação entre as menores taxas de emissão com a taxa de emissão média, que ocorrerão dentro do sistema, para estimar a uniformidade de emissão de um sistema de irrigação por gotejamento. CABELLO (1986) esclarece que esta metodologia, leva em consideração os fatores de fabricação medidos pelo coeficiente de variação, e os fatores hidráulicos da instalação, devido as pressões diferentes que estão submetidos os emissores.

O coeficiente de variação de fabricação é estimado pelo teste de um determinado número de emissores obtidos por amostragem, onde a resposta da vazão do emissor segue uma distribuição normal quanto aos fatores de fabricação. A norma da International Standart Organization (ISO), citada por CABELLO (1986), estabelece um mínimo de 25 emissores. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1987), recomenda um mínimo de 20 unidades para microaspersão e tubulação porosa e 50 unidades para os demais emissores. Segundo NOGUEIRA & GORNAT (1990), a norma do Instituto Espanhol de Normalização (1986) estabelece que a amostragem deve ser feita ao acaso, a partir de uma população de no mínimo 500 emissores, selecionando-se no mínimo 25 emissores.

SOLOMON (1979) enfatiza que a variação de fabricação dos emissores é um importante fator que influencia na uniformidade de emissão de um sistema de irrigação

por gotejamento. Afirma ainda que, o formato do emissor e os materiais usados na fabricação, determinam a quantidade de variação esperada em qualquer modelo de gotejador, medida numericamente, através do coeficiente de variação de fabricação.

Para se analisar a uniformidade de aplicação de um sistema de irrigação localizada, existem vários modelos estatísticos, baseados na variação da vazão a qual é proporcional à distribuição de pressão, ao longo do comprimento do tubo. Os tratamentos estatísticos segundo MORAES (1984) tem a vantagem de simplicidade, em que apenas a vazão média e/ou o desvio padrão, são exigidos para se estimar os valores dos coeficientes de uniformidade, seguido as diferentes metodologias de cálculo.

CHRISTIANSEN (1942) foi o primeiro a apresentar um método para a análise da uniformidade de distribuição de água para aspersores, o qual é o mais utilizado na irrigação localizada. A utilização da equação de Christiansen permite a obtenção de resultados bastante confiáveis, porém requer a medição da vazão de todos emissores (BERNARDO, 1989). A equação expressa em termos de vazão é representada por:

$$CUC = 100 \left[1 - \frac{\sum |q_i - q_m|}{Nq_m} \right] \quad (8)$$

onde,

CUC = coeficiente de uniformidade Christiansen, em porcentagem;

q_i = vazão de cada emissor (L^3T^{-1});

q_m = média das vazões observadas (L^3T^{-1});

N = número de emissores.

Para a irrigação por aspersão os perfis de distribuição de água que apresentaram melhor uniformidade foram os de coeficiente acima de 80% (CHRISTIANSEN, 1942). Seninwongse et alii (1972), citados por MATSURA (1987), preocupados com a influência dos efeitos de assimetria, afirmam que, para o perfil de aplicação de água de um aspersor assumir uma distribuição normal, o coeficiente de uniformidade de Christiansen deve ser maior que 80%.

Wu & Gitlin (1974), citados por DENICULI (1979), estudaram a uniformidade de distribuição de água num sistema de irrigação por gotejamento, usando o critério de permitir uma variação de 10% a 20% na vazão, que corresponderam aos limites de coeficientes de Christiansen de 98 e 95% respectivamente.

O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), recomenda a eficiência padrão de Criddle et alii (1956) para o cálculo da uniformidade de distribuição de água (HART, 1961 e PAIVA, 1980). Esse parâmetro enfatiza a importância de se suprir a cultura com pelo menos a lâmina média de irrigação. O uso do método da eficiência padrão de Criddle et alii (1956), segundo DENICULI (1979), é mais trabalhoso porque todos os volumes coletados devem ser colocados em ordem crescente, embora com o uso de computador essa dificuldade é superada. O método é definido pela expressão:

$$PE = 100 \left| \frac{\sum q'_i}{n'q_m} \right| \quad (9)$$

onde,

PE = eficiência padrão de Criddle et alii em porcentagem;

$\sum q'_i$ = somatório das 25% menores vazões coletadas, ($L^3 T^{-1}$);

n' = número de dados utilizados para se calcular $\sum q'_i$.

MERRIAM et alii (1973) recomendam PE acima de 80% e CUC superior a 88%, para culturas de alto rendimento econômico e com sistema radicular raso. Para cultura com sistema radicular médio, PE pode variar de 70 - 80% e CUC variando de 82 a 88%. No caso de árvores frutíferas e culturas com sistema radicular profundo, principalmente em regiões irrigadas de forma a suplementar a precipitação pluviométrica, por razões econômicas, pode-se variar PE de 50 a 70% e o CUC variando de 70 a 82%.

HART (1961) discute alguns modelos para se avaliar a uniformidade de distribuição de água na superfície a partir dos coeficientes propostos por Christiansen (1942) e Criddle et alii (1956), relacionando-os com a distribuição normal. Para uma distribuição normal, a soma dos desvios absolutos da vazão de ordem "i" em relação a vazão média é aproximadamente igual a $0,798S$, onde S é o desvio padrão da amostra. Desta forma, os coeficientes de uniformidade propostos por HART (1961), assumem as formas:

$$CUH = 1 - 0,798 \frac{S}{q_m}, \text{ ou} \quad (10)$$

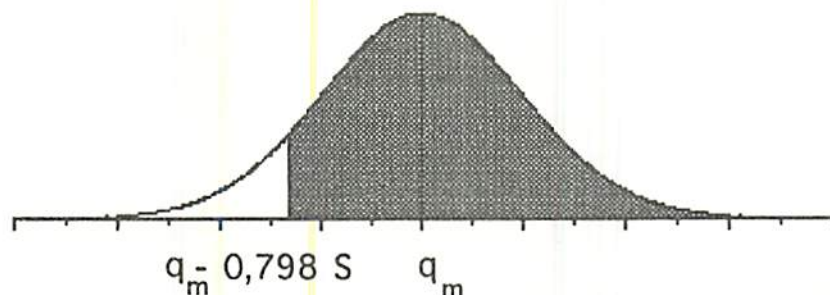
$$CUH = 1 - 0,798 CV \quad (11)$$

onde,

CUH = coeficiente de uniformidade de HART,

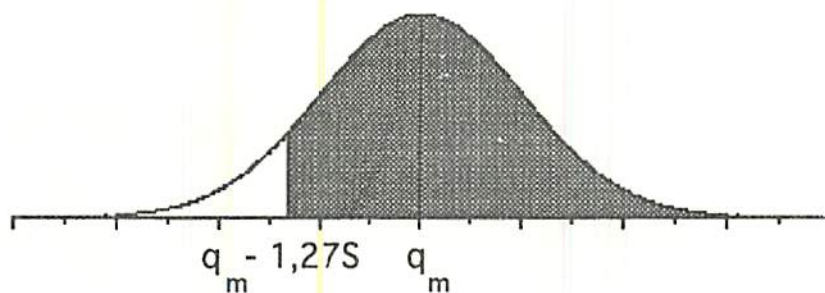
CV = coeficiente de variação $\left(\frac{S}{q_m}\right)$

A expressão indica que a área sob a curva normal entre $q_m - 0,798 S$ e $+\infty$ corresponde a 79%, recebe uma aplicação de no mínimo CUH q_m .



HART (1961) relacionou a eficiência padrão de Criddle et alii (1956) com a distribuição normal, obtendo para o ponto $\sum q_i/n'$ correspondente na curva normal ao valor $q_m - 1,27 S/q_m$, onde este ponto tem aproximadamente 90% da área acima. Reescrevendo a expressão recomendada pelo USDA, HART (1961) propôs uma nova eficiência padrão.

$$PEH = 1 - 1,27 \frac{S}{q_m} \quad (12)$$



As expressões obtidas por HART (1961), apresentam a vantagem de cálculo em relação ao coeficiente de uniformidade de Christiansen (1942) e Criddle et alii

(1956), por se trabalhar com o desvio padrão para dados desordenados, mantendo um alto coeficiente de correlação com os respectivos coeficientes.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1987), prescreve o método de ensaio para proceder a avaliação do desempenho de sistemas de irrigação localizada, seguindo a metodologia proposta por MERRIAM et alii (1973). A metodologia consiste em uma simplificação na eficiência padrão de Criddle et alii (1986), facilitando os trabalhos de campo onde, se faz a coleta em apenas alguns emissores ao longo da linha, ou seja: primeiro emissor, emissor situado a $1/3$ do comprimento, emissor situado a $2/3$ do comprimento e o último da primeira linha lateral, da linha lateral situada a $1/3$ e $2/3$ do comprimento da linha de derivação e da última linha lateral de cada unidade operacional.

Para grandes comprimentos de linhas laterais, é pequeno o número de pontos amostrados pelo método proposto por MERRIAM et alii (1973). Para contornar esta limitação, DENICULI (1979) sugere a coleta de dados em oito emissores e em oito laterais ou seja, o primeiro emissor, os emissores situados a $1/7$, $2/7$, $3/7$, $4/7$, $5/7$, $6/7$ do comprimento da linha lateral e o último emissor na primeira linha lateral, nas linhas situadas a $1/7$, $2/7$, $3/7$, $4/7$, $5/7$, $6/7$ do comprimento da linha de derivação, e na última linha lateral da unidade operacional. Esse procedimento adotado para avaliação de sistemas de irrigação localizada é denominado de Novo Coeficiente. Para o cálculo das metodologias propostas por MERRIAM et alii (1973) e DENICULI (1979), utiliza-se a expressão da eficiência padrão de Criddle et alii (1956).

Nakayama et alii (1978) citados por MORAES (1984), desenvolveram um método, a partir do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, para calcular a uniformidade de aplicação de água pelos gotejadores, baseado no coeficiente de variação, avaliado em termos das vazões médias para um subgrupo específico dentro da população total. A soma dos desvios absolutos da vazão de ordem "i" em relação a vazão média, foi

substituída, pela diferença absoluta entre a taxa média do subgrupo, obtendo a seguinte expressão:

$$CU_p = 100 \left[1 - \frac{CVF}{\sqrt{e}} \right] \quad (13)$$

CU_p = coeficiente de uniformidade do projeto, em porcentagem;

e = número de emissores por planta.

Abreu & Lopes (1977), citados por PINTO et alii (1988), propuseram um índice para a determinação da uniformidade de aplicação, onde a coleta de dados de cada lateral é feita em quatro plantas distintas considerando o número de emissores por planta, segundo a proposta de MERRIAM et alii (1973) ou seja, primeira planta, plantas situadas a 1/3 e 2/3 do comprimento da linha lateral e a última planta da linha lateral.

$$CUA = 50 \left[\frac{\sum q_i'}{n'q_m} + \frac{q_m}{q_{max}} \right] \quad (14)$$

onde,

CUA = coeficiente de uniformidade absoluta de Abreu & Lopes, em porcentagem

q_{max} = média das 12,5% maiores valores de vazões (L^3T^{-1}).

Segundo PINTO et alii (1988) os coeficientes de uniformidade obtidos através da metodologia de Abreu & Lopes (1977), foram os que mais se aproximaram dos valores calculados pela metodologia de Christiansen (1942), para sistemas de irrigação localizada. Por outro lado, a metodologia recomendada por Keller & Karmeli (1974), foi a que apresentou valores mais baixos para os coeficientes de uniformidade. Os autores sugerem

o uso da metodologia denominada Novo Coeficiente para a irrigação por gotejamento, e para a microaspersão indicam a metodologia desenvolvida por Merriam et alii (1973) em decorrência das vantagens para o teste de campo.

De acordo com DENICULI (1979) a eficiência padrão de Criddle et alii, conduz a valores de coeficientes de uniformidade mais baixos quando comparados aos valores determinados pelo método de Christiansen, em razão de ser influenciado pelos valores extremos inferiores de vazão. Por outro lado, os métodos de Merriam et alii e Novo Coeficiente apresentaram valores bastantes discrepantes quando comparados com os de Christiansen e Criddle et alii, pelo fato de serem calculados com dados de poucos emissores, ao passo que, para Christiansen e Criddle et alii todos valores são considerados.

PINTO et alii (1988) compararam os diversos métodos de determinação do coeficiente de uniformidade, por linha lateral e para todo o sistema de irrigação, concluindo que os métodos de maior confiabilidade são justamente aqueles que mais se aproximam dos valores obtidos pela equação de Christiansen.

2.3. Uniformidade de Aplicação de Água

O espaçamento dos emissores na linha e entre pares linha está diretamente relacionado com o bulbo de umedecimento e com a uniformidade de aplicação pretendida. Fisher (1977) citado por NOGUEIRA (1989), comenta que, ao contrário do gotejamento, a redistribuição lateral de umidade pouco depende (ou independe) das características do solo quando se usa irrigação por microaspersão.

O raio de aplicação de água de um microaspersor depende do diâmetro do ponto de emissão, da vazão, do modelo e da qualidade de fabricação e da pressão de

operação do microaspersor. A vazão por sua vez, é função do diâmetro e da pressão do emissor. Para se adotar um bom perfil de distribuição de água, o microaspersor deve trabalhar dentro de certos limites adequados de pressão. Uma pressão muito alta causará uma excessiva pulverização do jato d'água do microaspersor, diminuindo o alcance, causando uma precipitação excessiva próximo ao emissor. FARIA et alii (1982), NOGUEIRA (1989) e PINTO et alii (1992), estudaram o perfil de distribuição de água de alguns microaspersores comerciais e encontraram uma concentração da precipitação próxima à haste para o microaspersor ASBRASIL com bailarina, principalmente para altas pressões.

NOGUEIRA & GORNAT (1990) elaboraram gráficos que mostram a variação do coeficiente de uniformidade de distribuição de água em função do espaçamento entre emissores. Para todos os emissores estudados, obtiveram um decréscimo do coeficiente uniformidade com o aumento do espaçamento.

COELHO (1990) comenta que, na seleção do espaçamento entre emissores objetivando uma elevada uniformidade, deve-se levar em consideração o custo do equipamento e o incremento de produção objetivando irrigações econômicas.

Segundo Armoni (1986), citado por ANDRADE (1990), na irrigação por aspersão, a disposição dos aspersores pode não fornecer um nível desejado de uniformidade de distribuição de água. Tal situação pode ser alterada pela mudança do espaçamento ou pelo acréscimo de um bocal. Já na microaspersão a situação é totalmente diferente, pois a água é aplicada com praticamente nenhuma sobreposição dos jatos de água dos microaspersores. NOGUEIRA (1989) estudando 5 microaspersores de fabricação nacional, encontrou valores de coeficientes de uniformidade extremamente baixos, inviabilizando segundo o autor, a recomendação desses microaspersores com sobreposição para uma aplicação uniforme de água.

Os sistemas de irrigação por aspersão têm sido avaliados pela uniformidade da água aplicada na superfície do solo. Porém, a planta retira água do solo dentro da zona de suas raízes, portanto pode-se supor que, a uniformidade da distribuição da água dentro do solo é mais importante que aquela na sua superfície. O crescimento uniforme das culturas irrigadas depende da uniformidade de aplicação de água na superfície e no interior do solo (NAKAYAMA & BUCKS 1986).

COELHO (1990) observou que, um único valor do coeficiente de uniformidade de Christiansen pode representar duas ou mais distribuições espaciais de água, resultando em diferentes produtividades de uma mesma cultura. Verificou uma maior variabilidade e queda de produtividade das culturas estudadas para coeficientes de uniformidade abaixo de 80%.

Davis (1963), citado por HART (1972), verificou que a redistribuição lateral reduz a grande diferença aparente na uniformidade indicada pelas medidas de superfície.

HART (1972) utilizando um modelo matemático para estudar a influência de diversas variáveis de irrigação na redistribuição da água dentro do solo, conclui que: a redistribuição é maior quando o solo está com umidade inicial mais alta. Para um mesmo tempo de aplicação, uma maior taxa de aplicação resulta em uma distribuição mais uniforme dentro do solo e a avaliação de superfície subestima a sua uniformidade, sendo portanto inadequada.

PAIVA (1980) observou um acréscimo na uniformidade da umidade ao longo do tempo, devido ao fato de que, ao se umedecer desuniformemente o solo, cria-se gradientes de tensões que provocam o movimento de água, tendendo a reduzir as diferenças de tensões. Há uma intensa redistribuição da água dentro do solo e conseqüentemente, uma uniformização das distribuições de umidade e tensões. Comenta ainda que, nas camadas

superiores do solo coberto com vegetação, a variação da umidade é maior que nas camadas mais profundas, devido a intensa atividade radicular e ao processo de drenagem variável com o tempo.

Biwas et alii (1966), citados por SALES (1990), salientaram que a taxa de redistribuição da água no perfil do solo depende da profundidade inicial de umedecimento e da inter-relação umidade, força capilar e condutividade hidráulica.

2.4. Hidráulica da Linha de Irrigação

Segundo SCALOPPI (1986) o dimensionamento adequado de tubulações com múltiplas derivações, baseado em modelos de distribuição da carga hidráulica ao longo de seu comprimento, permite estabelecer uma previsão da uniformidade de distribuição de água.

O cálculo da perda de carga em tubulações com múltiplas derivações é normalmente procedido em função de uma vazão constante em toda a sua extensão, corrigida por um fator. CHRISTIANSEN (1942) apresenta um fator de correção, em função do expoente de velocidade da equação utilizada no dimensionamento e do número de saídas equidistantes. SCALOPPI (1986) desenvolveu um fator ajustado, a partir do coeficiente proposto por Christiansen, para qualquer distância entre o início da tubulação e a primeira derivação.

AZEVEDO NETTO & ALVAREZ (1982), descrevem o conceito de vazão fictícia, utilizado por GONÇALVES (1988), para se determinar a perda de carga em condutos com distribuição em marcha.

CABELLO (1986) apresenta um método numérico que consiste em se dividir o comprimento do conduto em trechos. Com base na pressão inicial, calcula-se a pressão em qualquer ponto da rede, descontando as perdas de carga e diminuindo ou aumentando o desnível entre os pontos considerados.

As perdas de carga ocorrem, devido à dissipação de energia causada por resistências que se manifestam em oposições ao movimento do fluido em escoamento e pela presença de peças especiais. As equações empíricas formuladas para descrever a perda de carga ao longo do comprimento de um conduto, podem ser generalizadas da forma:

$$h_f = k \frac{L V^a}{D^b} \quad (15)$$

onde,

h_f = perda de carga ao longo do conduto ($M L^{-1} T^{-2}$);

L e D = representam o comprimento e diâmetro interno do conduto (L);

V = velocidade média de escoamento ($L T^{-1}$);

k = coeficiente que depende das características da tubulação e do regime de escoamento ($M L^{(b-a-1)} T^{-(a+2)}$),

a e b = expoentes que dependem do regime de escoamento.

Segundo Besdek & Solomon (1978); Assy (1977) e Feghali (1974) citados por GONÇALVES (1988), há uma preferência pela utilização das equações de Hazen-Williams e Darcy-Weisbach, sendo que, os resultados fornecidos pela equação Darcy-Weisbach são mais precisos. Essas expressões assumem as formas:

$$h_{f_{HW}} = 10,96 \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,852} \frac{L}{D^{4,87}} \quad (16)$$

$$h_{f_{DW}} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (17)$$

onde,

$h_{f_{HW}}$ e $h_{f_{DW}}$ = perdas de carga calculadas pelas equações de Hazen-Williams e Darcy-Weisbach, respectivamente ($M L^{-1} T^{-2}$);

L = comprimento do conduto (L);

Q = vazão ($L^3 T^{-1}$);

D = diâmetro do conduto (L);

g = aceleração da gravidade ($M T^{-2}$);

C = coeficiente de rugosidade da equação de Hazen-Williams, ($M^{-0,54} L^{1,45} T^{0,08}$);

f = fator de atrito da equação de Darcy-Weisbach ($M L^{-2} T^{-2}$).

HOWELL & BARINAS (1980) não verificaram diferenças significativas no cálculo da perda de carga contínua em linha lateral de polietileno usando as equações de Hazen-Williams e Darcy-Weisbach para número de Reynolds menor que 50000. Neste trabalho o fator de atrito (f) foi calculado pela equação de Blasius (18), e o valor do coeficiente de rugosidade (C), da equação de Hazen-Williams que manteve a aproximação, foi de 150.

$$f = 0,316 Re^{-0,25} \quad (18)$$

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (19)$$

onde,

Re = número de Reynolds, adimensional;

ν = viscosidade cinemática, ($L^2 T^{-1}$).

Paraqueima (1980), citado por SILVA (1984), não aconselha o cálculo de perda de carga pela utilização da equação de Hazen-Williams para tubos de pequenos diâmetros, nem para baixos valores de número de Reynolds, porque essa expressão não considera a viscosidade do fluido.

ANDRADE (1990) cita que Assy (1977) recomenda que, a utilização da equação de Hazen-Williams é correta apenas para tubos hidraulicamente lisos para o número de Reynolds acima de 50000, onde o coeficiente de rugosidade (C) é igual a 158. Nos demais casos, o valor de C é uma função do número de Reynolds e da rugosidade relativa.

As perdas de carga localizadas, resultantes da inserção do emissor na linha lateral, podem ser estimadas pela expressão:

$$h_{fg} = K_g \frac{V^2}{2g} \quad (20)$$

onde,

h_{fg} = perda de carga localizada ($M L^{-1} T^{-2}$);

K_g = coeficiente, ($M L^{-2} T^{-2}$).

Feghali (1974), citado por GONÇALVES (1988), comenta que o valor e K_g dependem principalmente da geometria das superfícies em contato, embora dependam também, do número de Reynolds e das rugosidades das paredes da tubulação. HOWELL & BARINAS (1980) deduziram uma relação que mostra que o coeficiente K_g independe da vazão transportada e varia inversamente com o diâmetro do conduto.

FARIA et alii (1987) estabeleceram por meio de regressão, expressões que relacionam o fator de atrito (f) da equação de Darcy-Weisbach, o coeficiente de rugosidade (C) da equação de Hazen-Williams e o coeficiente (K_g) em função do número de Reynolds para o tubo ASBRASIL DN = 1/2" como seguem:

$$f = 0,2815 * Re^{-0,2402} \quad (r^2 = 0,9760) \quad (21)$$

$$C = 89,9525 * Re^{0,0474} \quad (r^2 = 0,9995) \quad (22)$$

para $4697 < Re < 24579$ e,

$$K_g = 4,5425 * Re^{-0,2909} \quad (r^2 = 0,9995) \quad (23)$$

para $4435 < Re < 24200$

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição da Área Experimental

O ensaio foi realizado utilizando o sistema de irrigação por microaspersão do pomar da Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL), em uma área ocupada com citrus, situada a uma altitude de 918 metros, latitude 21°14'6" Sul e 45° de longitude Oeste Gr.

O sistema de microaspersão avaliado, foi implantado no ano de 1989, constituído de um conjunto moto-bomba, estação de controle (composta de registro de controle de vazão, manômetros do tipo Bourdon, filtro de tela, tanque de derivação de fluxo para aplicação de fertilizantes e válvulas 3 vias), linhas de derivação de PVC e linhas de irrigação de polietileno com diâmetro interno de 16,07 mm determinado por FARIA et alii (1987). A área foi dividida em 5 unidades operacionais, das quais, se avaliou um bloco constituído de duas unidades operacionais, Figura 1. Na primeira unidade foram avaliadas 12 linhas laterais, dispostas 6 de cada lado da linha de derivação e na segunda foram investigadas 11 linhas de irrigação, com 7 linhas dispostas do lado direito e 4 linhas do lado esquerdo. O número de emissores por linha variou entre 3 a 10, com um emissor por planta.

O microaspersor instalado é de fabricação da ASBRASIL do tipo giratório com bailarina e dispositivo autocompensante de pressão, (ASBRASIL, s.d.). O Quadro 1 apresenta as características hidráulicas deste microaspersor de acordo com FARIA et

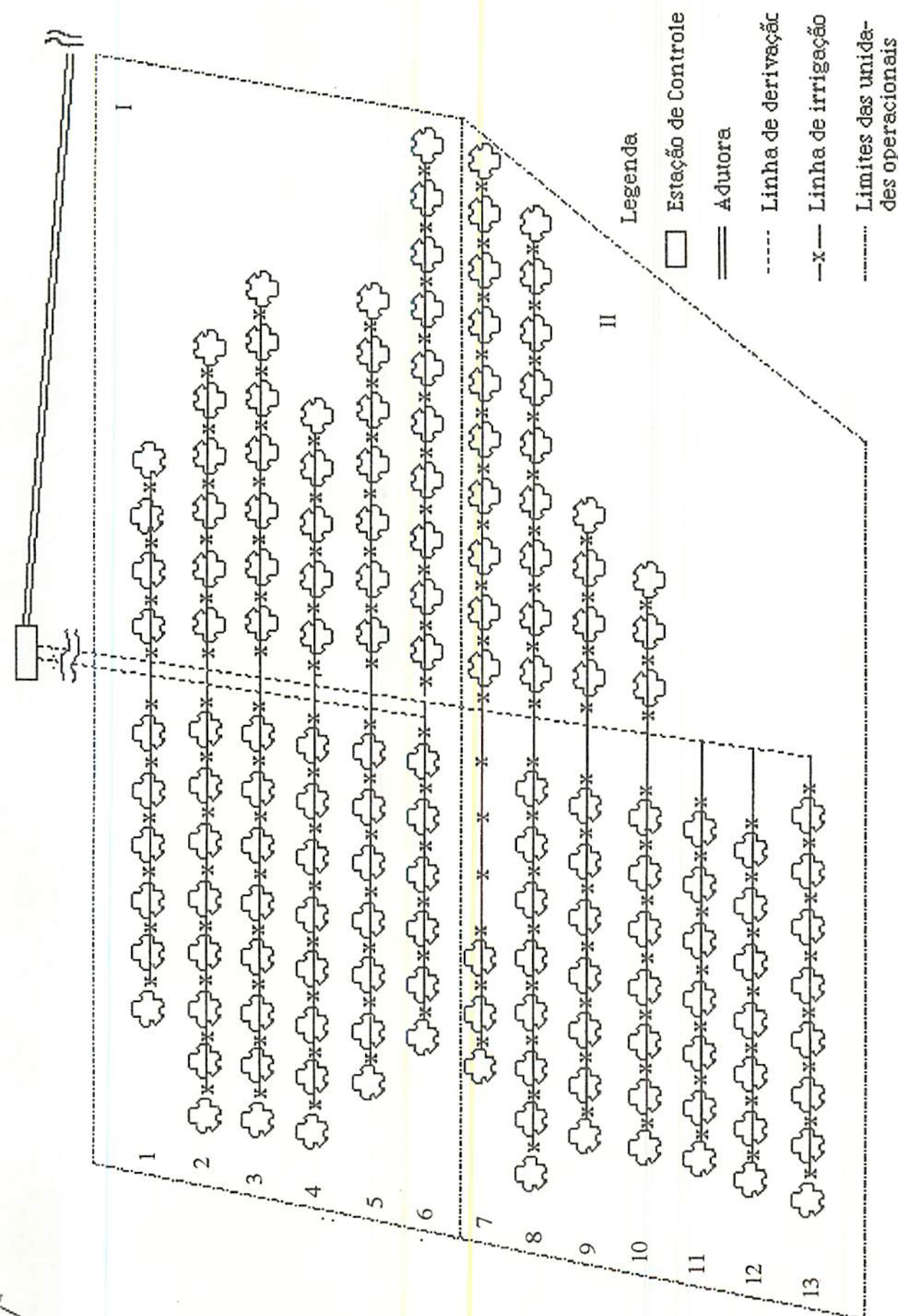


FIGURA 1 - Área experimental com a divisão do sistema de irrigação por microaspersão em unidades operacionais.

alii (1987), obtidas a nível de laboratório. A curva que expressa a relação vazão-pressão é representada na Figura 2, juntamente com a curva fornecida pelo fabricante.

QUADRO 1 - Características hidráulicas do microaspersor ASBRASIL, com bailarina giratória (FARIA et alii, 1987).

Pressão KPa	200,00
Vazão média l/h	77,51
CFV %	8,71
Equação característica	
$q = 33,4886 + 0,3989H - 1,12 \times 10^{-3} H^2 + 2,65 \times 10^{-9} H^4 - 6,33 \times 10^{-18} H^7$	
$q = 1/h$	$H = KPa \quad r^2 = 0,7380$

3.2. Seqüência de Execuções das Atividades

O trabalho consistiu nas distintas fases, abaixo relacionadas:

- Classificação e caracterização dos parâmetros físico-hídricos do solo;
- Avaliação da uniformidade de distribuição de vazão ao longo de cada linha lateral, dentro de cada unidade operacional e do bloco;
- Avaliação da uniformidade de distribuição de água na superfície e no perfil do solo, com base na distância radial e na posição de coleta;
- Avaliação hidráulica das linhas de irrigação.

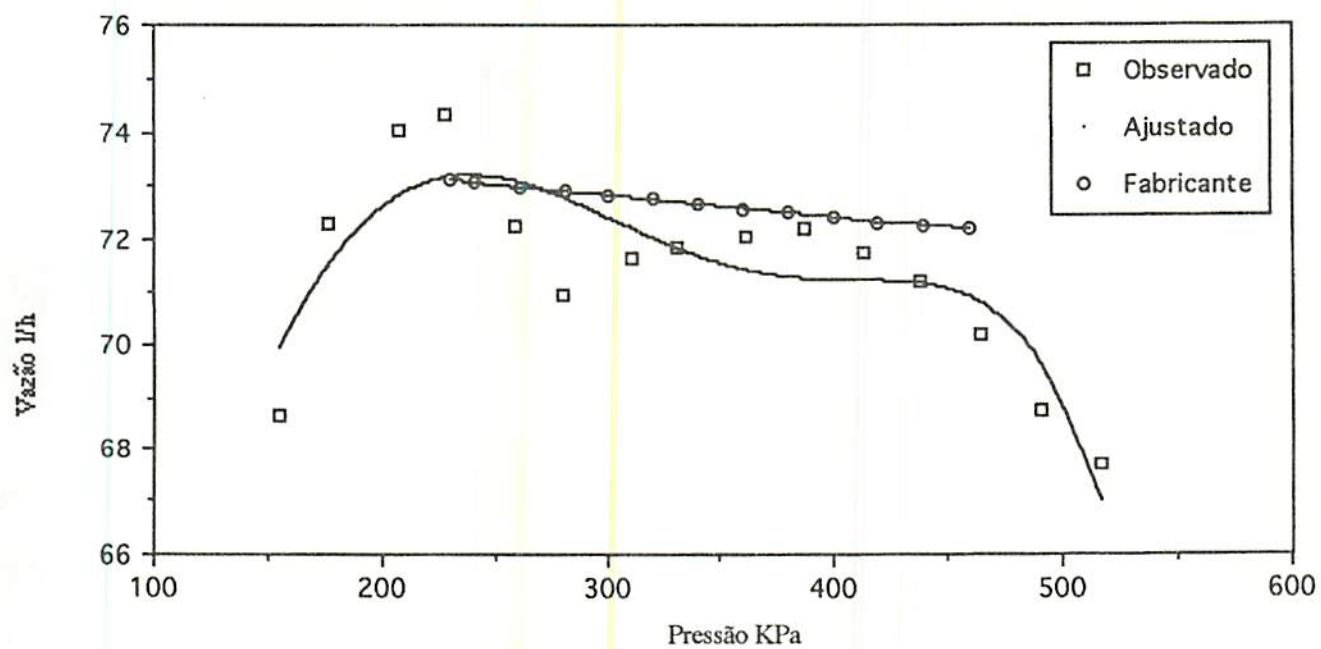


FIGURA 2 - Curva vazão-pressão do microaspersor ASBRASIL (FARIA et alii, 1987).

Para todos os testes, trabalhou-se com pressões fixas, ajustadas na estação de controle, por intermédio do registro de gaveta e das leituras dos manômetros de Bourdon, instalados antes e depois do filtro de tela. Estes manômetros indicaram pressões de 240 e 220 KPa, respectivamente.

3.2.1. - Caracterização dos parâmetros físico-hídricos do solo

Para a caracterização dos parâmetros físico-hídricos da área experimental, retirou-se aleatoriamente em 3 pontos, amostras indeformadas de solo em cilindros, com volume médio de $276,41 \text{ cm}^3$, para a determinação da massa específica aparente e da condutividade hidráulica saturada, e amostras deformadas, para a obtenção dos pontos da curva de retenção de umidade e massa específica real, nas camadas de 0 a 20; 20 a 40 e 40 a 60 cm.

Com base nos pontos de curva de retenção de umidade, utilizou-se o modelo proposto por Van GENUCHTEN (1980), para ajustar uma equação para cada camada amostrada. Para prever a condutividade hidráulica não saturada, utilizou-se o modelo apresentado por MUALEM (1976), a partir da curva de retenção de umidade descrita pela equação de Van GENUCHTEN (1980) e da condutividade saturada obtida em permeâmetro de carga constante.

3.2.2. Uniformidade de Distribuição de Vazão

A vazão dos emissores foi determinada pelo método direto, cronometrando o tempo de coleta para um volume fixo de 1,2 litros. Para isto, o microaspersor

foi acondicionado em um recipiente fechado com saída para a coleta do volume de água emitido. Para facilitar as medidas, o recipiente foi montado sobre um tripé com armação de vergalhões de aço. Para a coleta do volume de água aplicado pelo microaspersor utilizou-se um recipiente previamente graduado contendo externamente, um piezômetro lateral transparente, para permitir a visualização do nível da água dentro do recipiente.

Para o cálculo da vazão de cada ponto de emissão, da vazão média, do desvio padrão, do coeficiente de variação, do coeficiente de uniformidade de CHRISTIANSEN (1942) e dos coeficientes propostos por HART (1961), foi desenvolvido um programa em Basic, onde os valores de entrada foram os tempos de coleta dos respectivos emissores.

Assumindo-se a hipótese de que, as vazões calculadas se comportam segundo a distribuição normal, aplicou-se o teste de qui-quadrado, a um nível de significância de 5% de probabilidade, para a comprovação da representatividade dos coeficientes estudados. Os valores de vazão foram distribuídos em classes em relação a frequência de ocorrência, onde a frequência teórica foi calculada pela distribuição normal. Os parâmetros estimadores utilizados para a determinação do grau de liberdade do qui-quadrado tabelado, foram respectivamente a média e o desvio padrão. Para a confirmação da normalidade das vazões, o qui-quadrado tabelado, foi comparado com o valor calculado, segundo a expressão:

$$\chi_c^2 = \left[\frac{(F_{obs} - F_t)^2}{F_t} \right] \quad (24)$$

onde,

χ_c^2 = qui-quadrado calculado,

Fobs = frequência observada,

Ft = frequência teórica.

Com os valores das vazões de cada emissor, calculou-se a uniformidade de distribuição de vazão ao longo da linha pelas metodologias propostas por Criddle et alii, Merriam et alii, Denculi e Abreu & Lopes, com auxílio da planilha eletrônica LOTUS 1-2-3. Os resultados foram comparados entre si e com o método de Christiansen por intermédio de uma matriz de correlação e regressão linear. Com as equações de regressão, determinaram-se os intervalos de confiança para os coeficientes lineares e angulares para 5% de probabilidade. O erro de estimação foi calculado com base na distribuição t de Student (DRAPER & SMITH 1981).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \epsilon \quad (25)$$

onde,

Y = variável resposta;

x = variável regressora;

β_0 = intercepto da reta com o eixo y;

β_1 = inclinação da reta de regressão

ϵ = erro experimental

3.2.3. Avaliação da Distribuição de Água na Superfície e no Perfil do Solo

O estudo da uniformidade de distribuição de água na superfície e perfil do solo foi efetuado na unidade operacional II, por apresentar espaçamento regular entre plantas. As linhas de irrigação e os emissores selecionados foram os seguintes:

- linhas de irrigação identificadas pelos números 8, 10, 11 e 13;
- emissores identificados pelos números 2, 3, 5 e 6.

A avaliação foi realizada segundo a metodologia proposta por MERRIAM et alii (1973). A primeira linha da unidade identificada pelo número 7, foi desconsiderada pela falta de algumas plantas ao longo da linha, não representando a situação das demais linhas do sistema. O primeiro e último microaspersor de cada linha identificados pelos números 1 e 7 (7 e 8 da linha número 13), não foram avaliados devido a posição irregular que se encontram ao longo da linha.

Para a coleta da lâmina de água aplicada pelo emissor, foram traçadas duas linhas ortogonais com interseção no mesmo, constituindo-se quatro semi-eixos identificados pelas letras N, S, E e W, conforme Figura 3. Os coletores foram instalados no campo sobre suporte metálicos, para manter a horizontalidade da área de captação, espaçados de 0,5 m, a partir do ponto de interseção. Utilizou-se como coletores, latas de óleo cortadas ao meio, apresentando diâmetros médios de 8,13 e 9,95 cm. As leituras dos volumes de água aplicadas foram realizadas com auxílio de duas provetas de 250 e 10 ml, com precisão de leitura de 20 e 2 ml respectivamente.

Foram realizadas 4 irrigações, avaliando uma linha de emissores, por irrigação, devido ao grande número de amostras de solo. A duração do teste foi de 1 hora e 40 minutos, seguindo o manejo de irrigação apresentado no Quadro 2, com base nos dados de evaporação de água do tanque Classe A e precipitação pluviométrica, obtidos na estação climatológica situada no campus da ESAL. Durante a realização dos testes, registrou-se a velocidade do vento, através de um anemômetro totalizador de canecas e a evaporação de água, em dois recipientes de área transversal igual aos dos coletores.

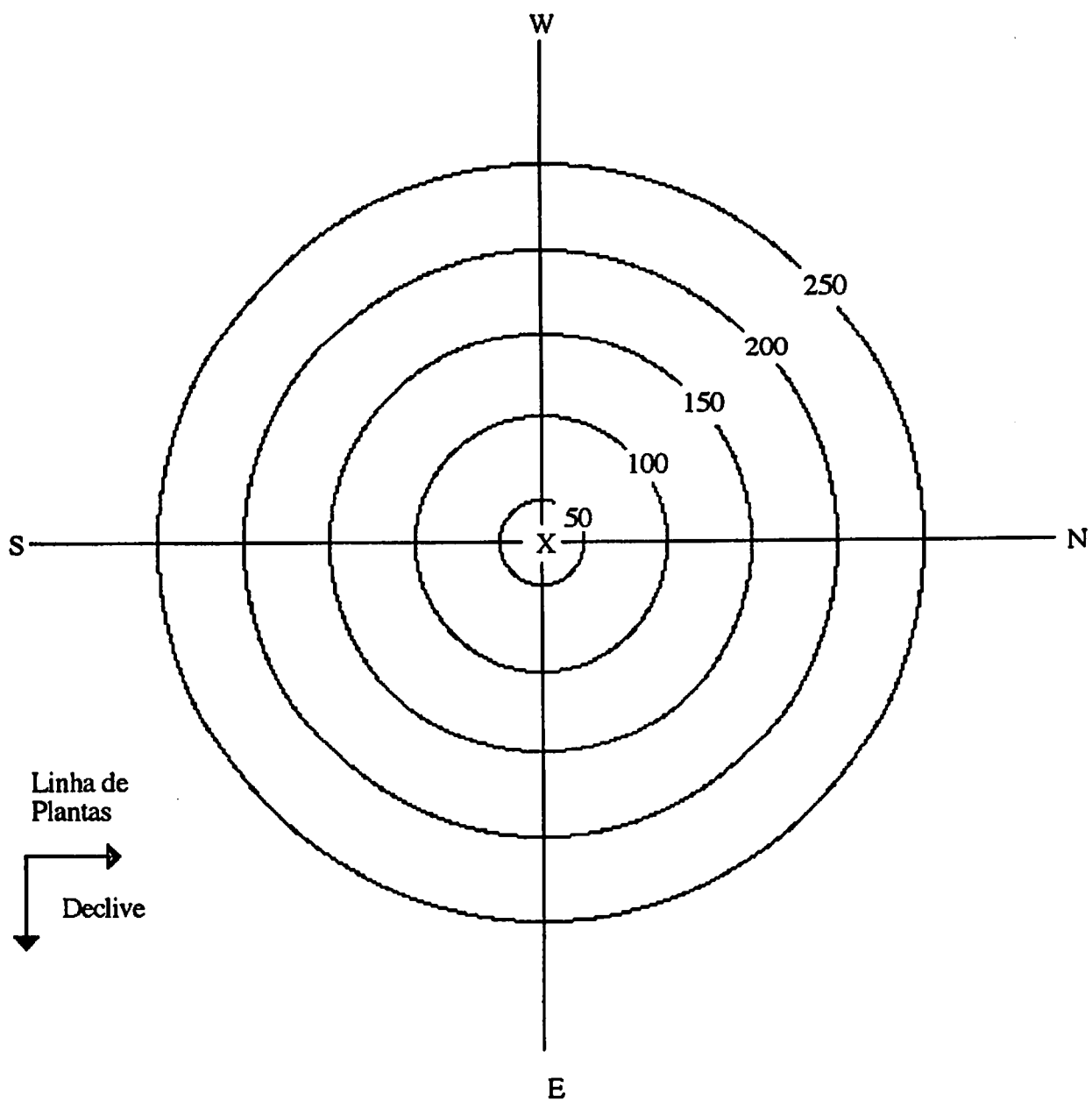


FIGURA 3 - Disposição dos coletores espaçados de 50 cm, em eixos ortogonais a partir do emissor.

QUADRO 2 - Manejo da irrigação com base nos dados da evaporação de água do tanque classe "A" (ECA) e da precipitação pluviométrica (P), (Julho, 1992).

Dia	ECA mm	P mm	ET * mm	Tempo Irrigação horas: minutos
1	2,80	4,4	1,79	
2	4,53	2,4	2,89	
3	2,34		1,49	
4	3,46		2,21	0:30
5	3,18		2,03	
6	3,06		1,82	
7	2,98		1,90	
8	3,42		2,18	
9	-		-	1: 54
10	3,04		1,94	
11	3,60		2,30	
12	2,52		1,61	
13	1,92		1,22	
14	4,50		2,68	1:43
15	4,22		2,51	
16	5,28		3,14	
17	2,66		1,69	1:40
18	4,92		3,14	
19	2,04		1,30	
20	4,16		2,48	
21	5,30		3,15	1:43
22	1,72		1,10	
23	5,28		3,37	
24	4,10		2,61	1:40
25	2,62		1,67	
26	5,16		3,07	
27	7,10		4,53	
28	-		-	
29	3,72		2,37	1: 51
30	3,20		1,90	
31	4,68		2,78	

* Evapotranspiração estimada.

A distribuição de água na superfície do solo foi avaliada pelo coeficiente de uniformidade de CHRISTIANSEN, considerando as seguintes situações.

- médias das lâminas coletadas nos raios de 50; 100; 150; 200 e 250 cm, onde a posição dos coletores nos eixos tiveram o efeito de repetição;
- lâminas coletadas por posição, fixando o eixo e raio de coleta.

Em cada semi-eixo, considerando os raios de 0; 50; 150 e 250 cm, foram retiradas amostras de solo nas camadas de 0 a 20; 20 a 40 e 40 a 60 cm, para a determinação da uniformidade da lâmina de água armazenada. As amostragens foram realizadas uma hora após o término da irrigação. Utilizou-se um trado do tipo de Veihmeyer com diâmetro médio de 18,5 mm, graduado de 20 em 20 cm para facilitar a operação, retirando amostras de tamanho equivalente à camada estudada, permitindo assim o cálculo da lâmina armazenada por estrato do solo.

A umidade das camadas amostradas, foi determinada em laboratório pelo processo gravimétrico, utilizando uma estufa, onde a temperatura foi regulada para 105° C e uma balança digital eletrônica com precisão de centésimo de grama. Para o cálculo da lâmina armazenada nas camadas de 20 cm de solo, utilizou-se a seguinte expressão:

$$A = U D_a Z \quad (26)$$

onde,

A = lâmina de água armazenada na camada de 20 cm (L);

U = teor de umidade com base em peso ($M M^{-1}$);

D_a = massa específica aparente ($M L^{-3}$);

Z = espessura do estrato amostrado (L).

O procedimento para a avaliação da uniformidade da lâmina de água armazenada nas camadas de 0 a 20; 20 a 40 e 40 a 60 cm, foi idêntico ao adotado para a avaliação da lâmina de água aplicada na superfície do solo.

No estudo da distribuição das lâminas de água armazenadas para os raios de 50, 150 e 250 cm, nas 3 camadas de solo, trabalhou-se com as médias para compensar o efeito da declividade natural do terreno. A análise por posição teve a finalidade de se verificar a variabilidade espacial do solo.

Para o estudo da redistribuição da umidade no solo e análise da uniformidade da lâmina armazenada nas camadas estudadas antes e após a irrigação, escolheu-se o microaspersor número 2, situado na linha 10.

A análise da uniformidade de distribuição de água na superfície e no perfil, foi feita individualmente e entre si, pelo coeficiente proposto por Christiansen. Para a verificação da normalidade dos valores das lâminas de água aplicadas na superfície do solo e armazenadas no perfil, aplicou-se o teste de qui-quadrado, a um nível de significância de 5% de probabilidade.

3.2.4. Avaliação hidráulica das linhas de irrigação

Para o cálculo das pressões com base nos dados levantados a nível de campo, adotou-se o procedimento proposto por CABELLO (1986), dividindo a linha de irrigação em trechos entre os microaspersores, devido ao fato de que as vazões em cada saída e o espaçamento entre emissores não são iguais.

Inicialmente, foi realizado o levantamento altimétrico das linhas de irrigação, para a obtenção das cotas, e do desnível entre os trechos.

Seguindo a metodologia proposta por MERRIAN et alii (1973), mediu-se no bloco, e em cada unidade operacional a pressão em todos os pontos de conexão dos microaspersores ao longo da linha, através de um manômetro em U com mercúrio como líquido indicador. O manômetro foi acoplado na linha por intermédio do conector do microtubo do microasporer. Nas demais linhas a pressão foi tomada no início e final da linha.

Para o cálculo das perdas de carga ao longo dos trechos selecionados, empregaram as equações de Hazen-Williams e Darcy-Weisbach, onde os coeficientes f e C foram determinados pelas expressões obtidas por FARIA et alii (1987), em função do número de Reynolds assumido de acordo com as unidades usadas, a seguinte forma :

$$h_{fHW} = 10L \left[\frac{77,34 Q}{CD} \right]^{1,852} \quad (27)$$

$$h_{fDW} = 63,7 f \frac{L Q^2}{D^5} \quad (28)$$

onde,

h_{fHW} e h_{fDW} = são as perdas de carga calculadas pelas equações de Hazen-Williams e Darcy-Weisbach, respectivamente (KPa);

L = comprimento do trecho (m);

Q = vazão do trecho (l/h);

Q = vazão do trecho (l/h);

D = diâmetro do conduto (mm);

C = coeficiente de rugosidade da equação de Hazen-Williams, adimensional;

f = fator de atrito da equação de Darcy-Weisbach.

$$Re = \frac{Q}{2827 * D * \nu} \quad (29)$$

onde,

ν = viscosidade cinemática, (m²/s).

Para efeito de cálculo, assumiu-se o valor da viscosidade cinemática igual a $1,003 \times 10^{-6}$ (m²/s) para temperatura de 20°C.

A perda de carga localizada devido a inserção do microaspersor na linha de irrigação, foi calculada pela equação (20) apresentada no referencial teórico. O coeficiente K_g foi calculado pela expressão obtida por FARIA et alii (1987), em função do número de Reynolds para o microaspersor ASBRASIL. A perda de carga total do trecho foi obtida pela soma das perdas contínuas calculadas pelas expressões de Hazen-Williams e Darcy-Weisbach, com a perda, devido a inserção do microaspersor na linha de irrigação, ou seja:

$$h_{ft(HW)} = h_{fHW} + h_{fg} \quad (30)$$

$$h_{ft(DW)} = h_{fDW} + h_{fg} \quad (31)$$

onde,

$h_{ft(HW)}$ = perda de carga total do trecho, calculada com base na equação de Hazen-Williams, (KPa).

$h_{ft(DW)}$ = perda de carga total do trecho, calculada com base na equação de Darcy-Weisbach, (KPa).

A pressão, em cada ponto de emissão foi obtida pela expressão da conservação de energia, levando em consideração o desnível do terreno.

$$H(i + 1) = H(i) - h_{ft} + dn \quad (32)$$

onde,

$H(i + 1)$ = pressão no emissor de ordem $i + 1$, (KPa);

$H(i)$ = pressão no emissor de ordem i , (KPa);

$dn = Z(i) - Z(i + 1)$

sendo que:

dn = diferença da energia de posição dos pontos de emissão, (KPa).

$Z(i)$ = energia de posição no emissor de ordem i (KPa),

$Z(i + 1)$ = energia de posição no emissor de ordem $i + 1$ (KPa).

Todos os cálculos foram realizados por um programa desenvolvido em linguagem Basic, segundo o fluxograma da Figura 4, onde os dados de entrada estão abaixo relacionados:

- número de emissores por linha;
- posição do emissor em relação ao terreno (cota);

- comprimento do trecho;
- vazão do trecho.

O programa fornece a perda de carga no trecho, o número de Reynolds, velocidade média de escoamento em cada trecho e a pressão em cada ponto de emissão.

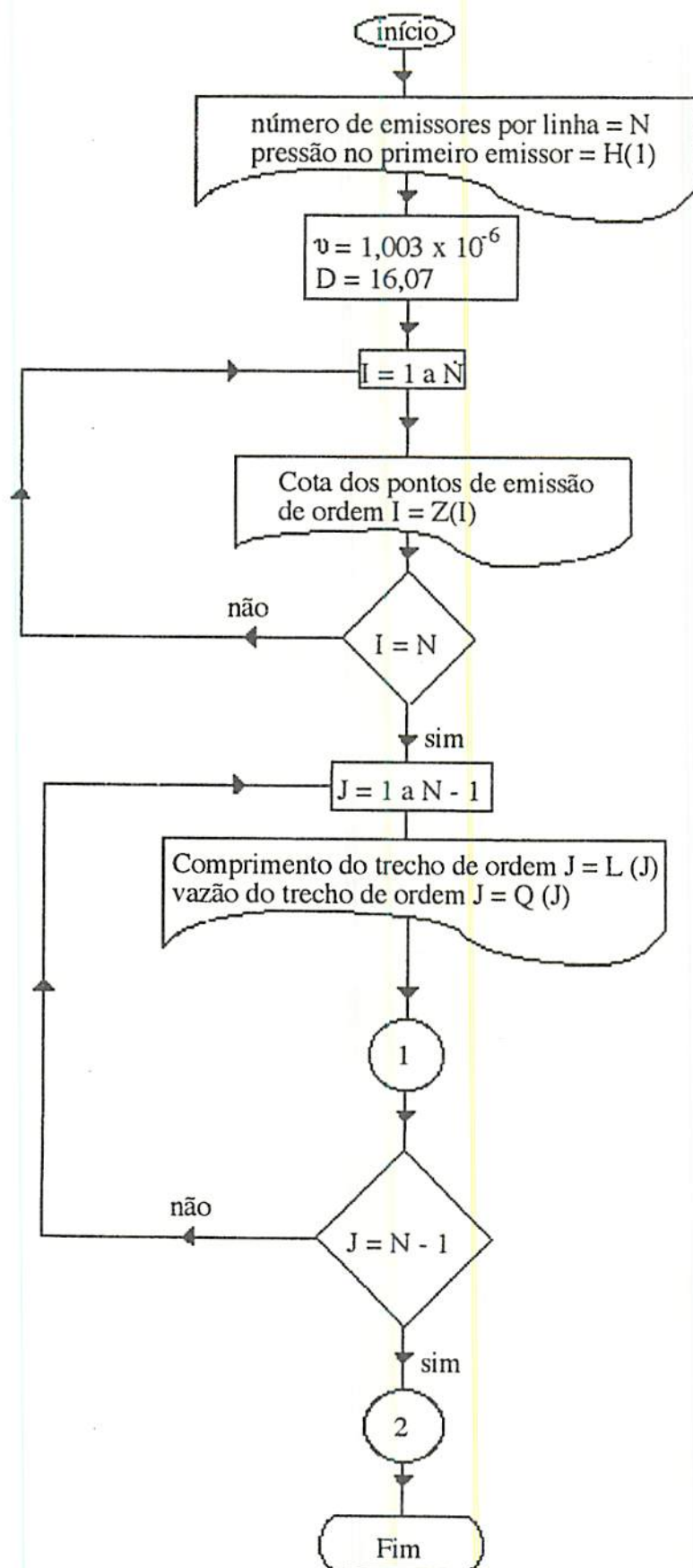


FIGURA 4a - Fluxograma do programa utilizado no cálculo da pressão nos pontos de emissão.

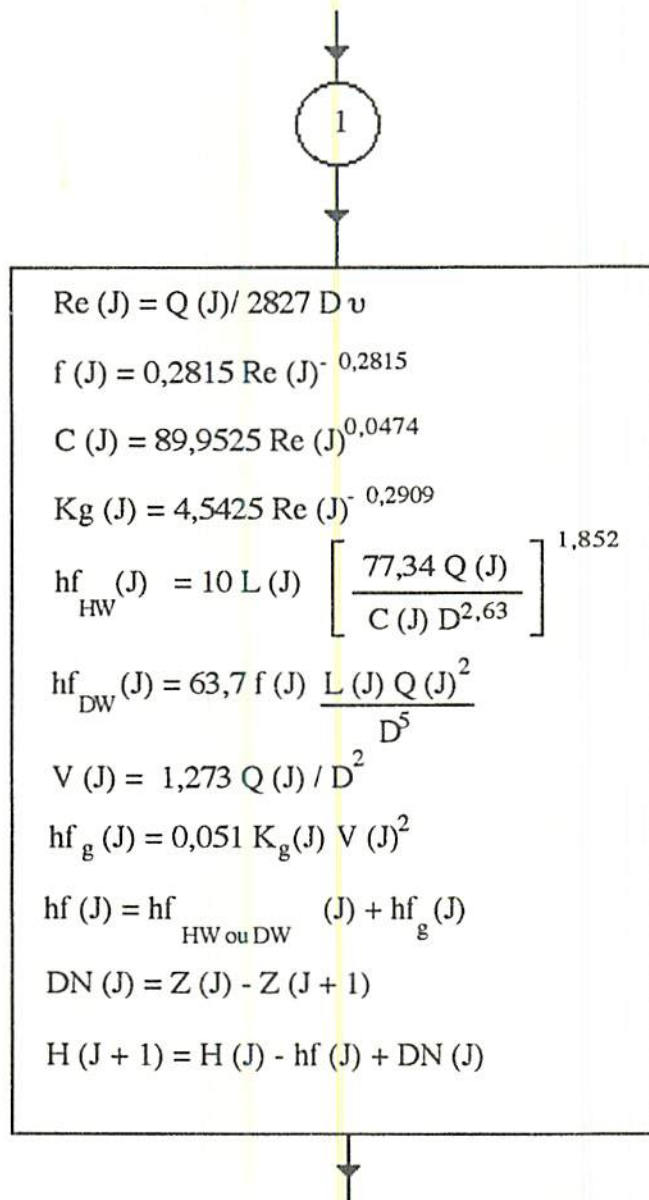


FIGURA 4b - Subrotina para o cálculo dos parâmetros hidráulicos.

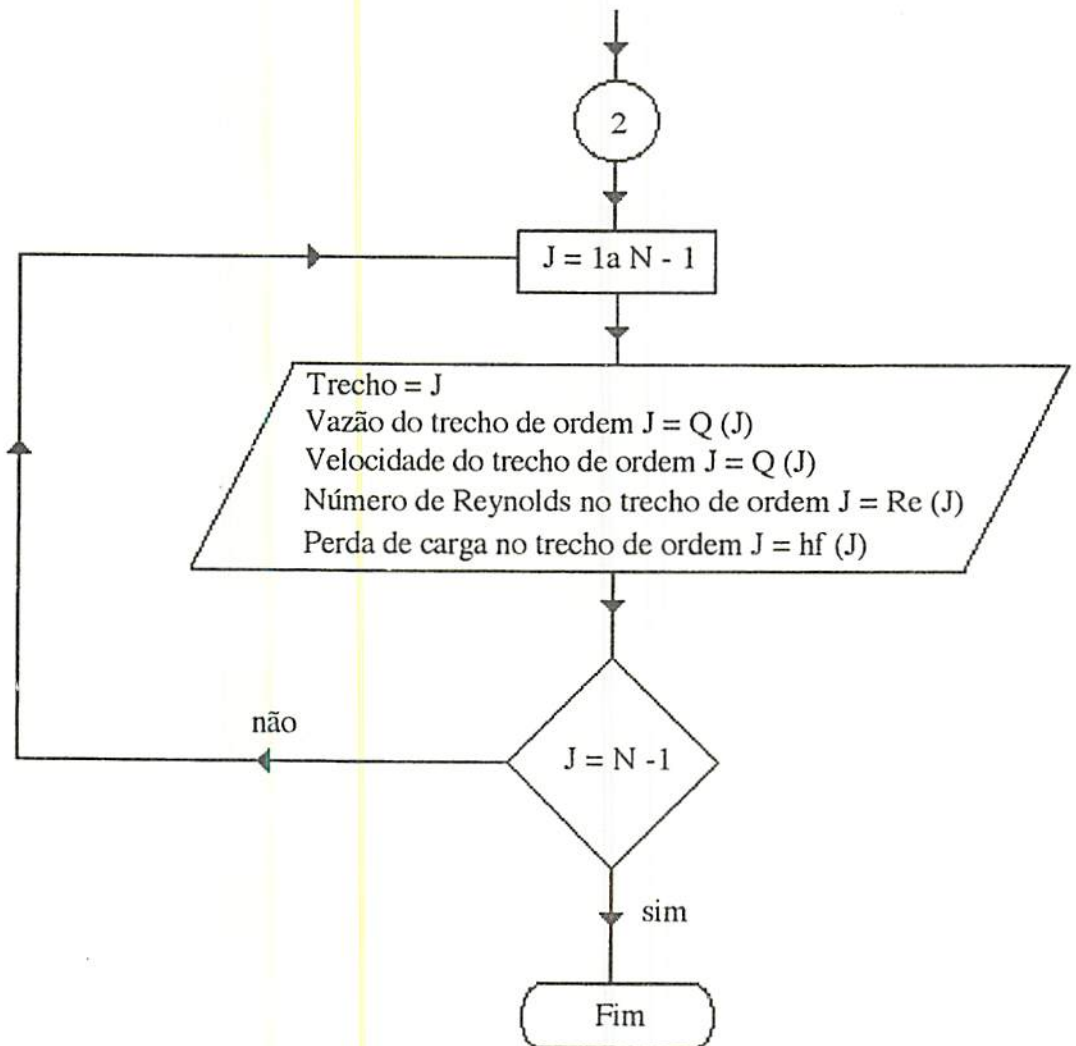


FIGURA 4c - Subrotina para impressão dos resultados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Classificação e caracterização dos parâmetros físico-hídricos do solo

O solo da área experimental pertence ao grupo Podzólico Vermelho Amarelo, apresentando um gradiente de textura com um horizonte B textural característico. O Quadro 3 apresenta os resultados da análise granulométrica e as massas específicas real e aparente, para as camadas amostradas. Estas análises foram realizadas pelo Laboratório de Ciências do Solo da ESAL. Segundo o triângulo textural da Sociedade Brasileira de Ciências do Solo apresentado por KIEHL (1979), as camadas amostradas classificam-se em:

- camada de 0 a 20 cm - textura argila arenosa;
- camadas de 20 a 40 e 40 a 60 cm - textura argilosa.

As figuras 5(a), 5(b), e 5(c) representam as curvas de retenção de umidade para as diferentes camadas do solo estudadas, ajustadas pela metodologia proposta por Van GENUCHTEN (1980), onde pode-se observar um bom ajuste aos dados observados. O Quadro 4, apresenta os parâmetros ajustados das equações de Van Genuchten e Mualem com os respectivos coeficientes de determinação e os valores da condutividade hidráulica saturada para as camadas amostradas.

QUADRO 3 - Análise granulométrica e massas específicas real e aparente para as diferentes camadas de solo.

Camada do solo cm	Areia %	Silte %	Argila %	Massas específicas	
				real g/cm ³	aparente g/cm ³
0 a 20	48,67	14,00	37,33	2,48	1,49
20 a 40	39,67	14,00	46,33	2,45	1,45
40 a 60	37,33	12,67	50,00	2,57	1,38

Considerando o potencial matricial na capacidade de campo, para solos de textura argilosa equivalente a 330 cm e no momento da irrigação de 1000 cm, segundo Stolzy et alii (1963) citados por MILLAR (1989), e com base na curva de retenção de umidade, o armazenamento de água realmente disponível para a cultura de laranja nas diferentes camadas estudadas, foram de:

- camada de 0 a 20 cm: 58,09 mm
- camada de 20 a 40 cm: 58,14 mm
- camada de 40 a 60 cm: 48,49 mm

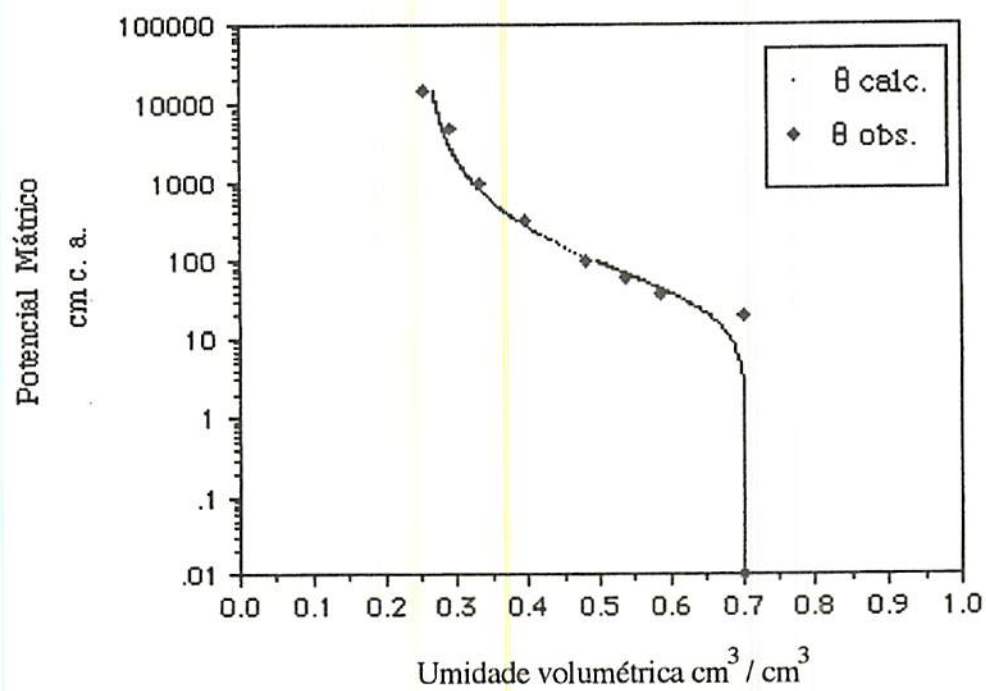


FIGURA 5a - Curva de retenção de umidade para a camada de 0 a 20 cm.

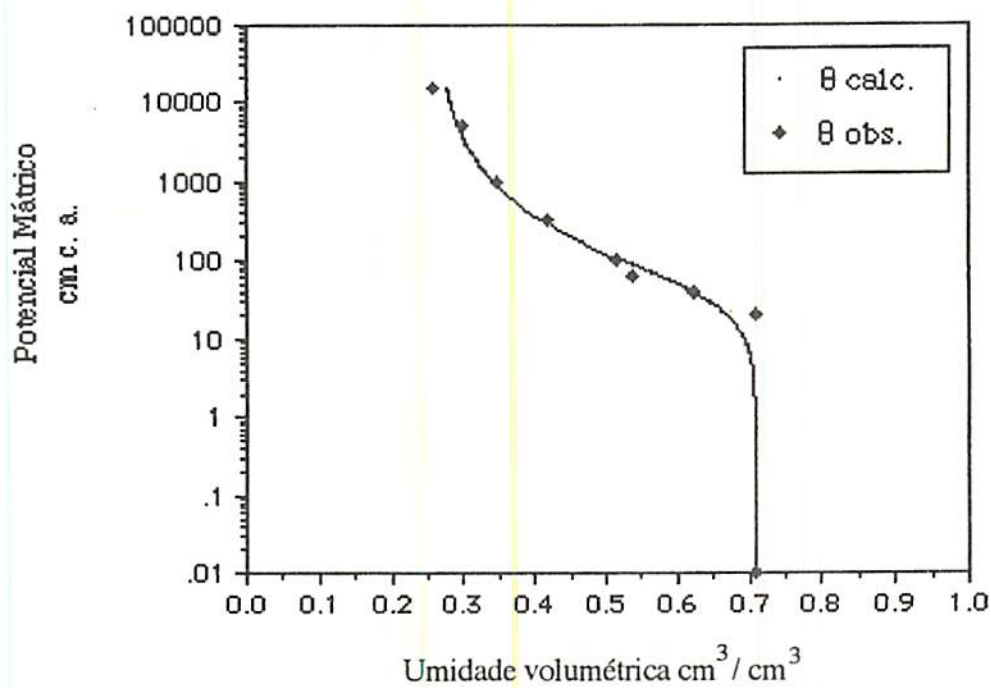


FIGURA 5b - Curva de retenção de umidade para a camada de 20 a 40 cm.

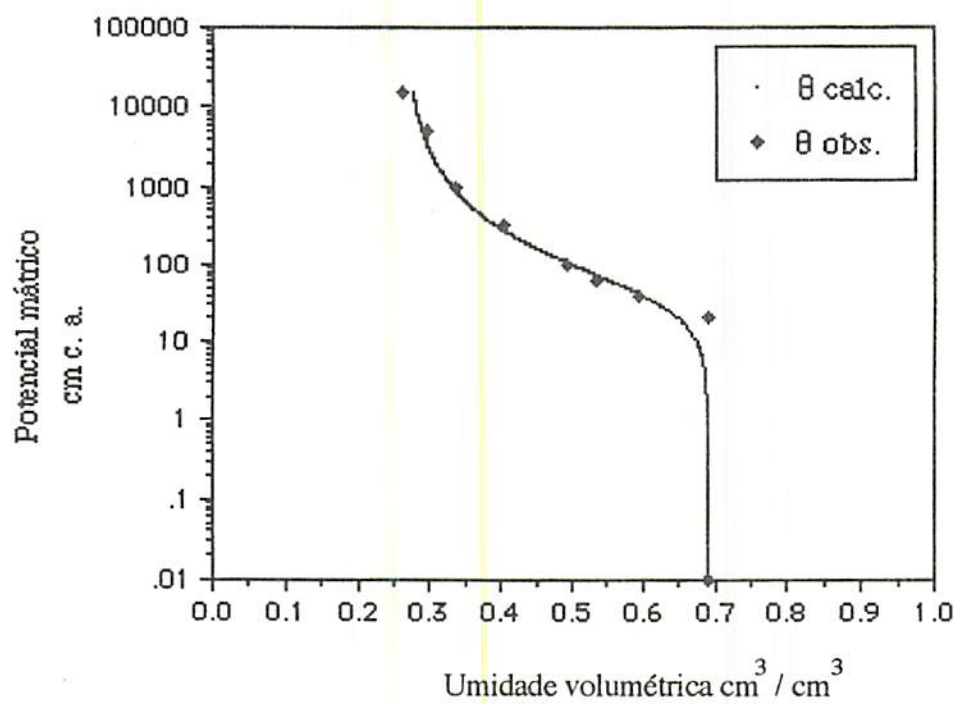


FIGURA 5c - Curva de retenção de umidade para camada de 40 a 60 cm.

QUADRO 4 - Condutividade hidráulica saturada, e parâmetros das equações ajustadas de Van Genuchten e Mualem com os respectivos coeficientes de determinação, para as diferentes camadas do solo.

Camada cm	Ko m/dia	θ_s cm ³ /cm ³	θ_r cm ³ /cm ³	α	n	m	r ²
0 a 20	0,3888	0,7027	0,2533	0,02598	1,57164	0,363720	0,9815
20 a 40	0,1325	0,7083	0,2577	0,02264	1,53925	0,350333	0,9785
40 a 60	0,1886	0,6899	0,2610	0,02429	1,57129	0,236358	0,9850

4.2. Avaliação da uniformidade de distribuição de vazão

Os Quadros do Apêndice A apresentam os valores das vazões de cada emissor, da vazão média em cada linha, do desvio padrão, do coeficiente de variação e da pressão medida a nível de campo com o auxílio de um manômetro em U.

O microaspersor avaliado é dotado de um dispositivo autocompensante que teoricamente, deveria manter uma descarga uniforme, dentro da amplitude de variação de pressão de trabalho que o emissor foi submetido. Pode-se constatar no Apêndice A, uma variação de vazão de 54, 68 a 105,37 l/h para uma variação de pressão de 258 a 435 KPa, que pode ser atribuída ao processo de fabricação, incrustações e principalmente ao tempo de vida do equipamento. A amplitude de variação de vazão encontrada pouco afetou a uniformidade de distribuição do sistema, pelo fato da ocorrência de valores próximos aos extremos, o que pode ser verificado pelas medidas de posição e dispersão apresentadas no Quadro 5, para as unidades operacionais avaliadas e do bloco. Segundo o Serviço de Conservação de Solo do USDA (1984), o emissor avaliado se classifica em marginal, com CV entre 7 e 11%. TELLES (1986) e CUENCA (1989) apresentam uma nova classificação, onde o microaspersor ASBRASIL se enquadra na faixa de CV entre 5 e 10% como médio.

QUADRO 5 - Medidas de posição e dispersão para os valores das vazões de cada emissor, referentes as unidades operacionais I e II e ao bloco.

Unidade	número de emissores	vazão média l/h	desvio padrão l/h	CV %
I	82	67,73	5,07	7,48
II	77	72,37	7,05	9,75
Bloco	159	69,98	6,52	9,32

Para a verificação da normalidade das vazões, os dados foram ordenados em classes com amplitude de 5,0 l/h, para as unidades I e II e para o bloco operacional. A frequência teórica foi calculada com base na distribuição normal. As frequências teóricas abaixo de 5 foram agrupadas para a aplicação do teste de aderência qui-quadrado, conforme recomendação de SPIEGEL (1985). Os valores de qui-quadrado calculados não foram significativos ao nível de 5%, confirmando a hipótese de que os dados se distribuem normalmente. As figuras 6 (a), 6 (b) e 6 (c) permitem uma melhor visualização da distribuição de frequência das vazões para as unidade I e II e o bloco operacional, respectivamente.

Nos Quadros 6 e 7 pode-se observar os coeficientes de uniformidade CUC, CUH, PE, PEH, CUA, NC e CUMKA, para cada linha lateral de irrigação pertencentes às unidades operacionais I e II, respectivamente. O Quadro 8 apresenta o resumo destes coeficientes de uniformidade para o bloco operacional como um todo. Observa-se que, para todas as linhas laterais de irrigação das unidades operacionais e do bloco como um todo, os valores de CUC são maiores que 87%, bem acima do limite recomendável por vários autores. PINTO et alii (1988) salientam que o CUC é o coeficiente que apresenta maior confiabilidade, o

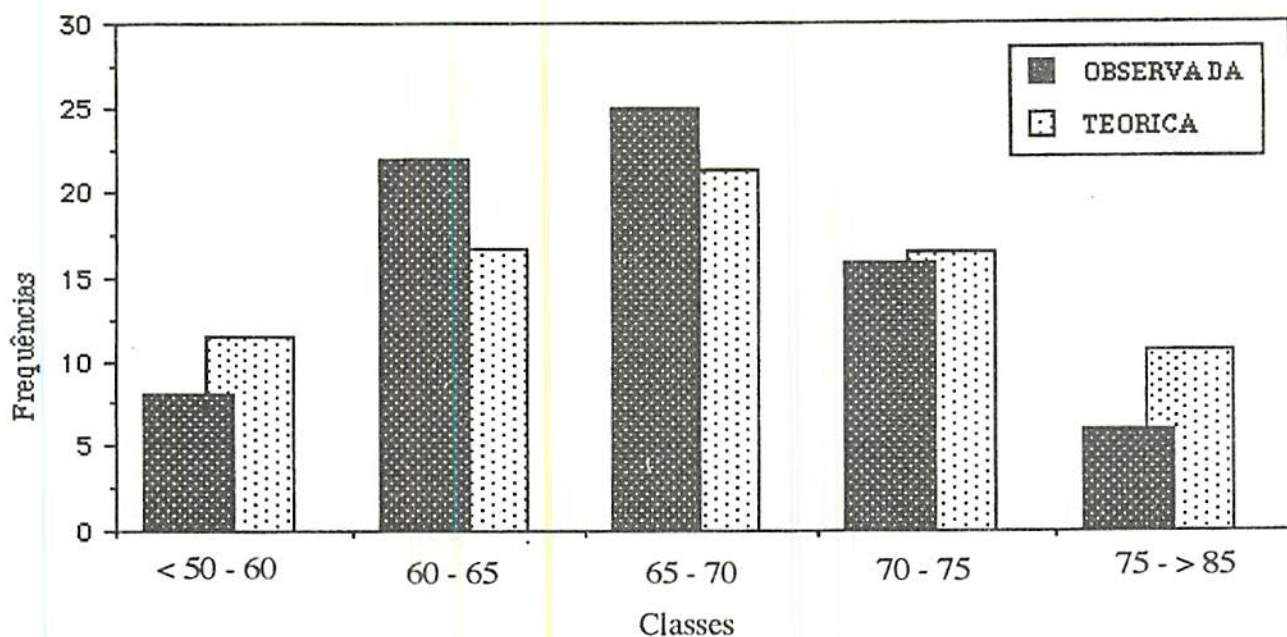


FIGURA 6a - Distribuição de frequências das vazões dos microaspersores da unidade operacional I.

$$\chi^2_C = 1,22$$

$$\chi^2_{(5\%,3)} = 7,82$$

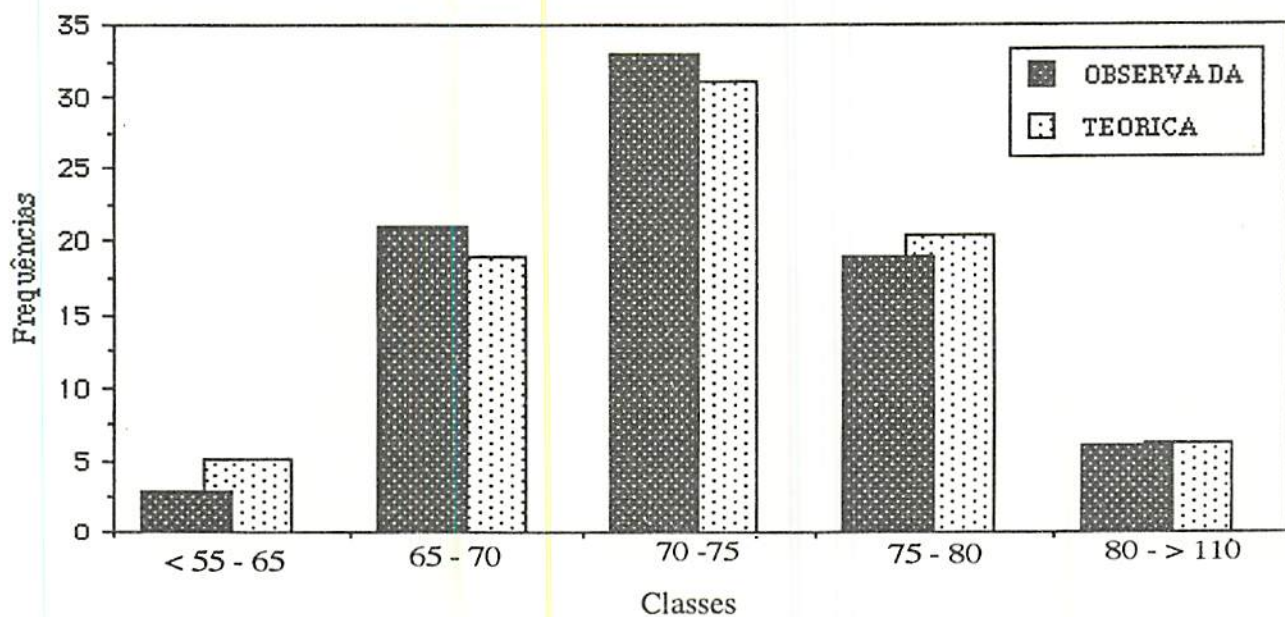


FIGURA 6b - Distribuição de frequências das vazões dos microaspersores da unidade operacional II.

$$\chi^2_C = 5,46$$

$$\chi^2_{(5\%,3)} = 7,82$$

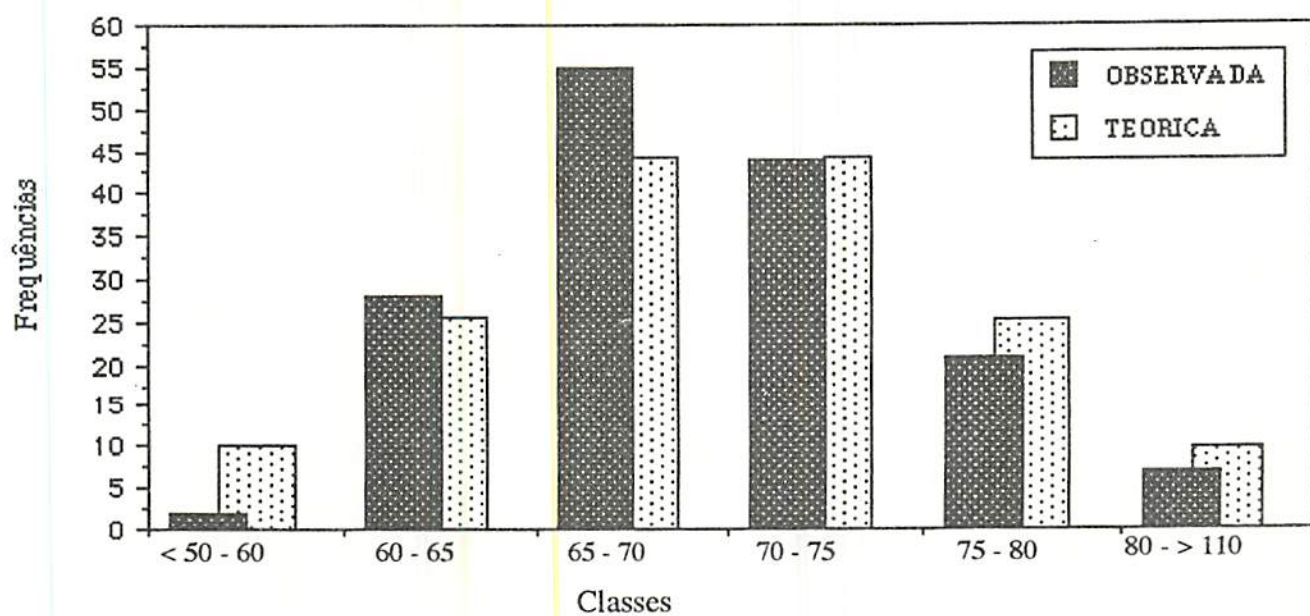


FIGURA 6c - Distribuição de frequência das vazões dos microaspersores de todo o bloco operacional.

$$\chi^2_C = 8,04$$

$$\chi^2_{(5\%,4)} = 9,45$$

QUADRO 6 - Coeficientes de uniformidade de aplicação de água para as linhas pertencentes a unidade operacional I.

Linha	CUC	CUH	PE	PEH	CUA	NC	CUMKA
1E	93,81	93,21	93,55	89,20	91,27	94,53	93,55
1D	94,32	93,58	93,35	89,78	89,36	93,35	90,13
2E	93,42	93,22	90,28	89,21	92,37	90,28	91,36
2D	92,62	91,79	89,41	86,94	85,45	84,41	84,85
3E	93,31	91,40	91,83	86,31	86,86	91,83	89,82
3D	95,85	95,92	94,00	93,50	95,16	94,00	96,19
4E	96,16	95,96	93,45	93,57	93,68	95,20	93,50
4D	92,87	93,00	89,48	88,86	87,37	89,48	83,00
5E	95,93	96,07	94,10	93,74	94,01	94,10	93,99
5D	95,28	95,26	92,67	92,45	92,26	92,67	90,05
6E	96,01	95,43	93,42	92,73	93,19	95,12	90,48
6D	98,53	98,49	97,92	97,60	98,42	97,92	98,74
Geral	94,29	94,03	91,11	97,50	89,77	91,00	92,10

E = LADO ESQUERDO

D = LADO DIREITO

CUC = Coeficiente de Uniformidade Christiansen

CUH = Coeficiente de Uniformidade de Hart

PE = Eficiência Padrão de Criddle et alii

PEH = Eficiência Padrão de Hart

CUA = Coeficiente de Uniformidade de Abreu & Lopes

NC = Novo Coeficiente

CUMKA = Coeficiente de Merriam, Keller & Alfaro

QUADRO 7 - Coeficientes de uniformidade de aplicação de água para as linhas pertencentes a unidade operacional II.

Linha	CUC	CUH	PE	PEH	CUA	NC	CUMKA
7E	94,83	94,80	94,19	91,72	97,04	95,98	96,77
7D	97,56	97,59	96,97	96,18	97,08	96,97	96,66
8E	95,12	94,42	91,52	91,12	92,79	92,82	90,44
8D	93,15	91,67	92,72	86,75	93,07	92,72	94,54
9E	87,19	85,62	74,37	77,12	80,05	89,43	74,37
9D	94,11	94,05	91,75	90,53	90,89	91,75	89,86
10E	96,56	96,44	94,84	94,25	96,16	98,71	94,84
10D	95,39	94,69	92,94	91,55	90,09	92,94	88,62
11D	96,10	96,38	95,21	94,25	98,70	94,21	98,78
12D	94,25	94,15	93,46	90,68	95,16	93,61	94,46
13D	90,06	86,80	89,83	78,98	95,65	91,61	95,46
Geral	92,04	92,22	90,16	87,62	88,61	90,46	89,47

E = LADO ESQUERDO

D = LADO DIREITO

CUC = Coeficiente de Uniformidade Christiansen

CUH = Coeficiente de Uniformidade de Hart

PE = Eficiência Padrão de Criddle et alii

PEH = Eficiência Padrão de Hart

CUA = Coeficiente de Uniformidade de Abreu & Lopes

NC = Novo Coeficiente

CUMKA = Coeficiente de Merriam, Keller & Alfaro

QUADRO 8 - Coeficientes de uniformidade de aplicação de água para o bloco operacional

Bloco	CUC	CUH	PE	PEH	CUA	NC	CUMKA
	93,28	92,56	89,87	88,17	91,09	91,14	91,98

E = LADO ESQUERDO

D = LADO DIREITO

CUC = Coeficiente de Uniformidade Christiansen

CUH = Coeficiente de Uniformidade de Hart

PE = Eficiência Padrão de Criddle et alii

PEH = Eficiência Padrão de Hart

CUA = Coeficiente de Uniformidade de Abreu & Lopes

NC = Novo Coeficiente

CUMKA = Coeficiente de Merriam, Keller & Alfaro

que confirma a boa uniformidade de distribuição de vazão do sistema avaliado. Para os demais coeficientes avaliados, verifica-se valores aceitáveis de uniformidade de vazão, mesmo para os coeficientes PE e PEH que são mais criteriosos. As linhas 9, do lado esquerdo, e a 13 apresentaram valores de PEH menores que 80%, devido as vazões de 56,60 l/h e 105,40 l/h, encontradas nos microaspersores 2 e 6 das respectivas linhas. Devido ao bom regime pluviométrico da região de Lavras, MG, com a média anual de 1529 mm, os valores encontrados pelos coeficientes PE e PEH, não invalidaram a boa uniformidade do sistema.

Os coeficientes CUH e PEH, para todas as linhas, se aproximaram dos valores calculados pela metodologia de Christiansen, devido a própria dedução desenvolvida por HART (1961), fornecendo valores confiáveis por se trabalhar com todos os dados.

As metodologias simplificadoras utilizadas para o cálculo do CUMKA, NC e CUA não apresentaram valores discrepantes em relação ao CUC, conforme constatação de DENICULI (1979) e PINTO et alii (1988), provavelmente devido ao pequeno número de emissores por linha.

Por meio de correlação simples, procurou-se observar a associação existente entre os coeficientes propostos para a avaliação da uniformidade de emissão das vazões. O Quadro 9 apresenta a matriz de correlação com os respectivos coeficientes entre os sete métodos. Com excessão, as associações entre PE e NC e entre CUH e CUMKA, que apresentaram não significância, ao nível de 5% de probabilidade, as demais não apresentaram diferenças significativas a nível de 1%, evidenciando a correlação entre os coeficientes. As melhores correlações foram encontradas entre os coeficientes: CUC e CUH, CUC e PE, CUC e PEH, CUH e PEH, PE e CUMKA, CUMKA e CUA.

Os coeficientes PE e PEH quando correlacionados com o CUC, não apresentaram diferenças entre si, o mesmo pode ser observado quando se analisa os coeficientes CUA, NC e CUMKA.

QUADRO 9 - Matriz de correlação simples entre os coeficientes de uniformidade estudados.

	CUC	CUH	PE	PEH	CUA	NC	CUMKA
CUC	1,0000	0,9794	0,8681	0,8576	0,7144	0,7118	0,7026
CUH		1,0000	0,7957	0,8645	0,6629	0,6603	0,6254
PE			1,0000	0,6902	0,8269	0,6266	0,8797
PEH				1,0000	0,7644	0,7947	0,6732
CUA					1,0000	0,7504	0,9533
NC						1,0000	0,6929
CUMKA							1,0000

CUC = Coeficiente de Uniformidade Christiansen

CUH = Coeficiente de Uniformidade de Hart

PE = Eficiência Padrão de Criddle et alii

PEH = Eficiência Padrão de Hart

CUA = Coeficiente de Uniformidade de Abreu & Lopes

NC = Novo Coeficiente

CUMKA = Coeficiente de Merriam, Keller & Alfaro

Baseando-se na correlação entre os coeficientes, procurou-se ajustar uma equação através de regressão linear, para analisar a tendência entre os coeficientes. O Quadro 10 apresenta as equações obtidas e os seus respectivos coeficientes de determinação e os intervalos de confiança para o intercepto e para a inclinação, para um nível de significância de 5%. Todas as equações ajustadas, apresentaram uma tendência crescente, como se pode observar pelos coeficientes angulares ($\beta_1 > 0$). A dependência entre os coeficientes verificada na matriz de correlação, pode ser confirmada pelos intervalos de confiança, que asseguram um coeficiente angular $\beta_1 \neq 0$. Com base nos coeficientes de determinação, observa-se que os melhores ajustes para explicar a correlação entre os modelos, evidenciou os resultados apresentados na matriz de correlação.

Os coeficientes propostos por HART (1961), apresentaram a mesma tendência quando comparados com o CUC, e entre si foram os que apresentaram o melhor ajuste, devido a própria dedução desses coeficientes.

Os coeficientes que mais se aproximaram do PE, foram o CUMKA e CUA pelo próprio conceito desses coeficientes e pelo número reduzido de emissores por linha. O coeficiente CUMKA recomendado pela ABNT, apresentou baixa correlação quando comparado com os coeficientes CUC, CUH, PEH e NC, sendo que, para o coeficiente CUA verificou-se um bom ajuste. Isto se deve à coincidência dos emissores avaliados, por apresentarem as linhas de irrigação, um emissor por planta. O Novo Coeficiente NC proposto por DENICULI (1979), foi o que apresentou o menor ajuste quando correlacionado com os demais.

QUADRO 10 - Equações ajustadas entre os coeficientes de uniformidade, de distribuição de vazão, dois a dois e seus respectivos coeficientes de determinação e intervalos de confiança de 95% para β_0 e β_1 .

Equações	r^2	Intervalo de confiança
1. $CUC = 21,411 + 0,77774 CUH$	0,960	$21,411 \pm 16,15515$ $0,77774 \pm 0,17194$
2. $CUC = 49,973 + 0,48227 PE$	0,793	$49,973 \pm 9,8738$ $0,48227 \pm 0,10720$
3. $CUC = 50,295 + 0,48894 PEH$	0,959	$50,295 \pm 6,75178$ $0,48894 \pm 0,07459$
4. $CUH = 37,136 + 0,62869 PEH$	1,000	$37,136 \pm 22,16181$ $0,62869 \pm 0,23587$
5. $PE = 28,514 + 0,69315 CUMKA$	0,733	$28,514 \pm 16,22005$ $0,69315 \pm 0,1766$
6. $CUMKA = 50,295 + 0,48894 CUA$	0,959	$50,295 \pm 17,00774$ $0,48894 \pm 0,18440$

CUC = Coeficiente de Uniformidade Christiansen

CUH = Coeficiente de Uniformidade de Hart

PE = Eficiência Padrão de Criddle et alii

PEH = Eficiência Padrão de Hart

CUMKA = Coeficiente de Merriam, Keller & Alfaro

CUA = Coeficiente de Uniformidade de Abreu & Lopes

4.3. Avaliação da distribuição da água na superfície e no perfil do solo

4.3.1. Avaliação da uniformidade das lâminas de água aplicadas em relação às distâncias radiais.

Para essa análise, utilizou-se os valores médios das lâminas de água aplicadas, considerando a mesma distância radial dos pontos de coleta em relação ao emissor nos semi-eixos N, S, E e W. Estes valores médios tendem amenizar os efeitos do declive do terreno, as possíveis variações de fabricação existentes no microaspersor e os efeitos externos (ventos, evaporação de água, impacto do jato d'água contra a copa das árvores e a haste de sustentação da bailarina).

O Quadro 11 apresenta os valores da velocidade média do vento e da evaporação da água para o período dos testes. A evaporação da água foi pequena devido à rápida duração dos testes e ao fato dos mesmos serem realizados na parte da manhã. Segundo BERNARDO (1986), a velocidade do vento ideal para a aspersão deve ser de no máximo 2,0 m/s. Para todos os testes realizados foram observados valores abaixo desse limite.

QUADRO 11 - Valores da velocidade média do vento e da evaporação de água durante a realização dos testes.

Data	Velocidade média do vento m/s	Evaporação da água mm
14/07	0,44	0,0010
17/07	0,81	0,0040
21/07	0,93	0,0040
24/07	0,81	0,0500

O Quadro 12 apresenta os valores médios das lâminas de água aplicadas, coletadas nos pluviômetros posicionados nos semi-eixos N, S, E e W, para as distâncias radiais de 50, 100, 150, 200 e 250 cm, e das lâminas de água coletadas nas proximidades de cada emissor avaliado. Em cada coluna deste quadro, aplicou-se o teste de qui-quadrado para a verificação da normalidade dos dados. Para todas as distâncias radiais avaliadas, percebe-se que os valores dos qui-quadrado calculados apresentaram-se abaixo dos valores de tabela para um nível de significância de 5%, comprovando que os dados seguem uma distribuição normal.

Para todos os emissores avaliados, observa-se uma redução da lâmina de água aplicada a partir do microaspersor, com o aumento da distância radial. Em alguns casos, verificou-se uma elevação desta lâmina, devido ao impacto do jato d'água com a copa das árvores e a sobreposição destes jatos.

O Quadro 13 apresenta os coeficientes de uniformidade de Christiansen para as lâminas médias aplicadas em relação às distâncias radiais, onde observa-se valores do CUC sempre abaixo de 80%.

QUADRO 13 - Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (%) para as lâminas médias coletadas nos pluviômetros em relação às distâncias radiais.

		Distância radial cm			
0	50	100	150	200	250
65,54	77,88	75,03	57,33	66,62	70,34

Nas proximidades do microaspersor, verifica-se um valor do CUC menor que os valores obtidos para as outras distâncias. O microaspersor identificado pelo número 6 posicionado na

QUADRO 12 - Valores médios¹ das lâminas de água aplicadas (mm) coletadas nos pluviômetros em relação às distâncias radiais (cm), para diferentes emissores e linhas.

linha	micro	Distância Radial cm					
		0	50	100	150	200	250
8	2	16,45	6,62	2,80	5,94	2,02	2,38
	3	19,40	6,51	2,93	2,39	3,33	2,19
	5	14,39	7,94	2,85	2,21	5,99	1,69
	6	16,97	3,84	1,92	1,53	3,22	1,37
10	2	11,82	5,77	3,20	7,20	4,26	1,91
	3	15,42	7,97	3,34	3,78	2,87	2,87
	5	27,25	6,94	1,56	1,06	5,75	1,94
	6	14,91	7,10	1,65	2,08	2,93	3,34
11	2	10,80	6,75	3,33	5,53	3,46	4,61
	3	20,31	7,97	3,18	2,46	2,03	1,98
	5	14,40	6,57	2,29	2,77	2,51	2,34
	6	12,34	11,73	4,03	4,64	2,29	1,56
13	2	20,82	8,10	2,15	2,31	2,44	3,49
	3	14,65	9,70	2,91	2,32	1,77	2,86
	5	14,65	2,69	1,76	1,91	1,27	1,72
	6	59,79	10,77	5,30	4,86	1,70	1,19
Média	=	19,02	7,39	2,83	3,16	3,21	2,47
Desvio Padrão	=	11,61	2,27	0,97	1,69	1,36	0,90
CV	=	61,01	30,64	34,25	53,60	42,36	36,59
χ_c^2	=	7,28	2,38	0,46	6,43	4,26	3,18
χ_c^2	=	7,81	7,81	5,99	9,49	7,81	5,99

¹ Média das lâminas precipitadas nos pluviômetros posicionados nos semi-eixos N, S, E e W.

linha 13, influenciou no baixo valor do CUC, conforme pode ser verificado pelo coeficiente de variação apresentado no Quadro 12. O menor valor do CUC foi encontrado para a distância radial de 150 cm, que coincide com a projeção da copa que intercepta o jato, promovendo uma elevação das lâminas precipitadas nos coletores posicionados no sentido das linhas das plantas (N-S). A distância radial de 50 cm foi a que recebeu uma lâmina média mais uniforme, próxima ao aceitável.

4.3.2. Avaliação da uniformidade das lâminas de água aplicadas em relação à posição de coleta

Na análise por posição, fixou-se o eixo e a distância radial, variando o ponto de coleta dentro da unidade operacional, ou seja, nas linhas de emissão avaliadas. Esse estudo teve a finalidade de verificar a influência da fabricação e da vida útil do microaspersor, além do declive e da interceptação do jato pela copa das laranjeiras.

Os Quadros 14 a 17, apresentam os valores das lâminas de água aplicadas para os eixos N - S, E - W, onde pode-se observar uma grande variabilidade para uma mesma distância radial nos diferentes emissores avaliados, conforme indicados pelas medidas de dispersão. Para um mesmo microaspersor e uma mesma distância radial, observa-se uma discrepância nos valores para os quatro semi-eixos avaliados. Tal variabilidade é atribuída aos defeitos inerentes aos emissores e ao choque do jato com a haste de sustentação da bailarina, uma vez que as condições climáticas não afetaram a distribuição.

A distribuição da água aplicada mostrou um comportamento diferente quando se analisou os eixos ortogonais. Os semi-eixos E e W, dispostos no sentido transversal às linhas de plantas, apresentaram uma tendência de decréscimo da pluviometria com o aumento da distância radial, segundo constatação de FARIA et alii (1987), NOGUEIRA (1989) e

QUADRO 14 - Valores das lâminas de água aplicadas (mm) em relação à posição de coleta para o semi-eixo N.

linha	micro	RAIO cm				
		50	100	150	200	250
8	2	4,37	3,73	16,73	1,17	0,54
	3	9,00	2,07	3,86	6,81	2,83
	5	12,85	4,11	2,47	16,58	0,75
	6	5,40	2,16	1,70	8,48	0,41
10	2	6,79	5,54	15,40	6,56	5,40
	3	5,43	2,70	4,65	2,42	3,08
	5	11,57	1,83	1,18	9,25	0,95
	6	11,05	2,74	1,18	2,69	5,40
11	2	7,45	2,60	5,91	2,72	11,82
	3	6,68	3,20	2,49	2,70	2,98
	5	3,78	2,03	5,40	0,41	0,73
	6	7,23	4,37	4,11	3,08	2,13
13	2	5,91	3,05	3,67	3,21	4,47
	3	6,68	2,31	3,01	0,85	4,59
	5	3,16	3,24	3,93	0,44	0,67
	6	11,05	3,47	10,54	1,41	0,50
Média	=	7,41	3,02	5,39	4,40	2,95
Desvio Padrão	=	2,91	1,01	4,74	4,31	2,99
CV	=	39,31	33,51	87,99	100,20	101,06
χ_c^2	=	2,10	4,19	6,81	8,43	6,45
χ_c^2	=	4,49	7,81	7,81	5,99	5,99

QUADRO 15 - Valores das lâminas de água aplicadas (mm) em relação à posição de coleta para o semi-eixo S.

linha	micro	RAIO cm				
		50	100	150	200	250
8	2	7,45	2,44	2,21	1,93	2,16
	3	3,34	1,92	1,92	1,95	0,90
	5	4,63	2,49	1,59	2,04	1,53
	6	3,93	2,31	1,43	1,26	1,72
10	2	7,71	1,97	6,94	6,17	1,23
	3	10,02	2,75	3,37	4,22	3,16
	5	2,96	0,90	0,92	10,54	0,72
	6	4,37	1,57	3,19	4,88	0,00
11	2	5,41	3,60	1,54	2,34	4,11
	3	11,82	2,83	2,54	1,98	1,59
	5	19,79	2,28	1,39	5,63	4,16
	6	7,33	3,06	3,52	2,96	2,29
13	2	9,51	1,72	2,34	3,21	5,27
	3	11,82	3,16	2,06	2,55	1,62
	5	2,36	1,13	0,78	2,34	1,41
	6	7,20	2,70	2,57	2,31	2,15
Média	=	7,04	2,30	2,35	3,52	2,15
Desvio Padrão	=	4,69	1,74	1,53	2,36	1,41
CV	=	66,68	32,04	68,00	66,98	65,25
χ_c^2	=	5,76	0,19	2,34	10,30	4,18
χ_c^2	=	7,81	5,99	5,99	8,81	9,49

QUADRO 16 - Valores das lâminas de água aplicadas (mm) em relação à posição de coleta para o semi-eixo E.

linha	micro	RAIO cm				
		50	100	150	200	250
8	2	6,68	2,29	1,67	1,80	1,68
	3	7,52	2,16	1,27	1,35	1,42
	5	8,90	3,08	2,44	2,34	1,98
	6	3,73	1,88	1,72	1,29	1,59
10	2	4,16	2,11	1,80	1,54	0,87
	3	6,68	2,33	2,21	2,00	1,46
	5	4,24	1,33	0,98	0,95	1,28
	6	7,71	1,08	1,08	1,08	1,27
11	2	3,62	1,72	1,29	0,95	1,05
	3	8,23	3,21	2,57	1,98	1,41
	5	3,34	2,06	2,31	2,82	2,39
	6	10,28	3,01	2,44	2,21	1,70
13	2	10,02	2,67	1,80	1,67	2,51
	3	10,28	3,13	2,21	1,85	1,49
	5	2,77	1,02	1,18	1,13	0,90
	6	5,91	3,19	2,31	1,75	1,28
Média	=	6,12	2,26	1,72	1,53	1,52
Desvio Padrão	=	2,99	0,74	0,69	0,59	0,46
CV	=	48,89	32,76	39,99	38,65	30,49
χ_c^2	=	1,20	3,80	1,23	0,48	0,19
χ_c^2	=	7,81	7,81	3,84	3,84	3,84

QUADRO 17 - Valores das lâminas de água aplicadas (mm) em relação à posição de coleta para o semi-eixo W.

linha	micro	RAIO cm				
		50	100	150	200	250
8	2	7,97	2,75	3,14	3,19	5,14
	3	6,17	5,59	2,51	3,21	3,60
	5	4,37	1,72	2,34	3,01	2,49
	6	2,31	1,33	1,26	1,85	1,75
10	2	5,40	3,34	4,63	2,77	0,13
	3	8,74	5,65	4,88	2,83	3,78
	5	9,00	2,16	1,16	2,26	4,81
	6	5,27	1,93	2,24	3,06	6,68
11	2	10,79	5,40	5,40	7,97	1,44
	3	9,00	3,47	2,23	1,46	1,93
	5	7,33	2,81	1,98	1,90	2,06
	6	9,51	5,67	8,48	0,92	0,13
13	2	6,94	1,17	1,44	1,67	1,72
	3	10,02	3,03	2,00	1,85	3,73
	5	2,47	1,64	1,75	1,16	3,91
	6	18,90	11,82	4,01	1,34	0,39
Média	=	6,90	3,72	2,91	2,38	2,73
Desvio Padrão	=	4,47	2,68	2,04	1,70	1,89
CV	=	64,77	72,18	70,08	71,61	69,39
χ_c^2	=	3,08	1,51	7,34	5,67	2,23
χ_c^2	=	7,81	5,99	5,99	5,99	11,10

PINTO et alii, (1992). Já no sentido das linhas de plantas (eixo N - S), percebe-se um decréscimo da pluviometria até a distância radial de 100 cm, crescendo para as distâncias de 150 e 200 cm e voltando a decrescer. A não coincidência dos pontos de elevação é explicada pela posição do emissor, que não mantém uma equidistância entre os caules das árvores. O aumento na pluviometria é atribuído à interceptação do jato d'água pelas copas das árvores, promovendo uma redistribuição da água nos pontos mais distantes, pelos galhos e folhas. As Figuras 7 (a) e 7 (b) apresentam a pluviometria média do microaspersor ASBRASIL nos eixos avaliados com relação aos pontos de coleta, evidenciando as distorções anteriormente comentadas.

Os Quadros 18 e 19 mostram a distribuição porcentual da pluviometria do microaspersor ASBRASIL com a faixa radial irrigada nas direções N - S e E - W. Observa-se em ambos os quadros uma grande concentração da água aplicada na faixa de 0 a 50 cm, que representa apenas 4% da área irrigada pelo microasperso, sendo que o raio de projeção da copa varia de 150 a 250 cm.

Os valores do CUC apresentado no Quadro 20 estão abaixo do recomendado (80%). Os menores valores foram observados na direção N - S, principalmente para os pontos mais distantes do ponto de emissão, devido a variabilidade na distribuição provocada pela interceptação do jato d'água pela copa.

Pelo teste qui-quadrado, verifica-se a não normalidade do dados observados para as distâncias radiais de 200 e 250 cm, como mostram os Quadros 14 e 15.

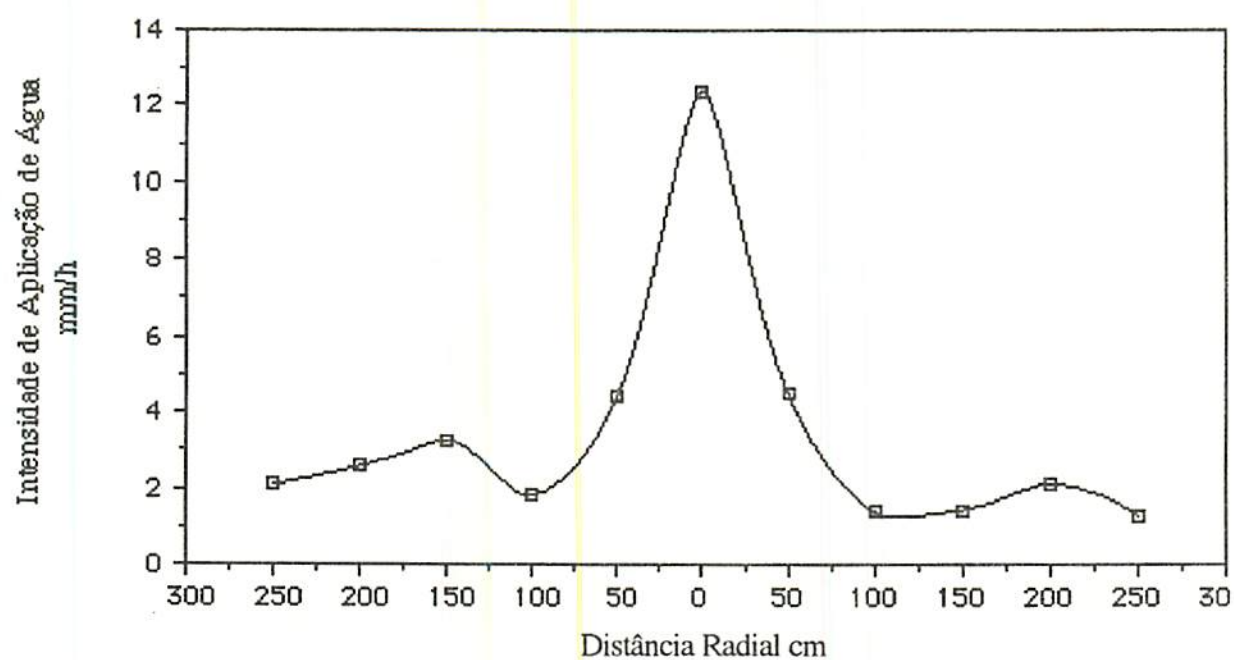


FIGURA 7a - Pluviometria do microaspersor ASBRASIL no eixo N - S.

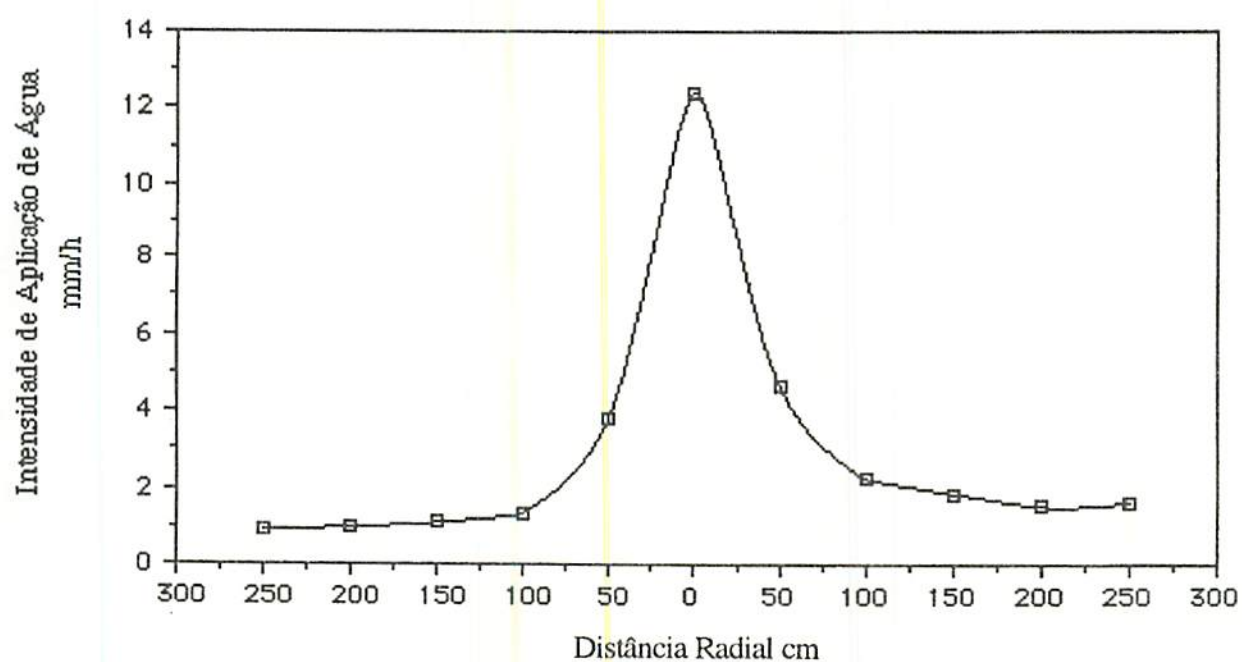


FIGURA 7b - Pluviometria do microaspersor ASBRASIL no eixo E - W.

QUADRO 18 - Intensidade de aplicação média de água (mm/h) em relação à faixa irrigada no sentido N-S.

Faixa Irrigada cm	Área relativa %	Intensidade de Precipitação média mm/h
0 - 50	4	8,43
50 - 100	12	3,04
100 - 150	20	1,98
150 - 200	28	2,35
200 - 250	36	2,02

QUADRO 19 - Intensidade de aplicação média de água (mm/h) em relação à faixa irrigada no sentido E-W.

Faixa Irrigada cm	Área relativa %	Intensidade de Precipitação média mm/h
0 - 50	4	8,31
50 - 100	12	3,02
100 - 150	20	1,64
150 - 200	28	1,37
200 - 250	36	1,26

QUADRO 20 - Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (%) para a lâmina de água coletada nos pluviômetros em relação às posições e distâncias radiais.

Semi-Eixo	Distância Radial cm					
	0	50	100	150	200	250
N	65,54	68,71	73,34	37,27	23,83	27,75
S	65,54	54,20	74,85	58,02	43,57	49,80
E	65,54	62,97	73,71	72,92	73,95	72,80
W	65,54	59,59	47,77	50,00	56,99	45,39

Na direção E - W, verifica-se uma distribuição de água mais uniforme no semi-eixo E, favorecido pelo declive natural do terreno, que posiciona todos os coletores abaixo do plano de instalação do microaspersor. Observa-se que no semi-eixo W a uniformidade de aplicação de água é afetada pela interceptação do jato pelo terreno natural.

Em geral, a distância radial de 100 cm foi a que recebeu uma aplicação de água mais uniforme para os eixos avaliados, onde a área de influência de absorção de água pelas plantas inicia-se na distância radial de 150 cm.

4.3.3. Avaliação da uniformidade das lâminas de água armazenadas no solo em relação às distâncias radiais

A análise da uniformidade das lâminas de água armazenadas no solo assume uma importância maior que a uniformidade de água aplicada na sua superfície, pois é do

solo que as plantas retiram a água que necessitam para as funções metabólicas e fisiológicas. Seguiu-se o procedimento descrito na metodologia para o cálculo das lâminas de água armazenadas, nos solos, correspondente as camadas de 0 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm. Na análise, usou-se a média das lâminas de água armazenadas no solo para cada distância radial (50, 150 e 200 cm), considerando os pontos de amostragens nos semi-eixos N, S, E e W com a finalidade de amenizar o efeito do declive. Nas proximidades do microaspersor, foram coletadas amostras de solo para a determinação das lâminas armazenadas abaixo do ponto de emissão.

Os Quadros 21 a 24, apresentam os valores médios das lâminas de água armazenadas no solo em relação às distâncias radiais e camadas amostradas. A semelhança do ocorrido na superfície do solo, observou-se um decréscimo da lâmina de água armazenada com o aumento da distância radial, em todo o perfil do solo. A variabilidade das lâminas médias de água armazenadas foi baixa, como indicado pelas medidas de dispersão (Quadros 21 a 24). Também, verificou-se uma normalidade dos dados pela comparação dos qui-quadrados calculados e tabelados. Essa baixa variabilidade é explicada pelo fato de se trabalhar com os valores médios das lâminas de água armazenadas, amenizando o efeito da declividade nas profundidades de amostragens.

O Quadro 25 apresenta os valores dos CUC para as lâminas médias de água armazenadas nas diferentes camadas do solo em relação às distâncias radiais. A baixa variabilidade dos dados pode ser explicada pelos valores do CUC acima de 80%, os quais são atribuídos ao fenômeno da redistribuição da água no solo, e a alta frequência de irrigação. Estas características, são inerentes a este método de irrigação onde, o solo é mantido com alto teor de água, favorecendo o processo de redistribuição da umidade, pelo aumento da condutividade hidráulica (HART, 1972). Devido ao grande número de amostras de solo coletada em cada ensaio, não foi possível acompanhar o processo de redistribuição com o tempo após a irrigação, onde acredita-se que a uniformidade da lâmina de água armazenada no solo tende a aumentar.

QUADRO 21 - Valores das lâminas de água armazenadas mm próximo ao ponto de emissão.

linha	micro	camadas amostradas cm		
		0 - 20	20 - 40	40 - 60
8	2	93,96	94,27	84,47
	3	96,92	103,92	100,00
	5	104,71	93,31	107,73
	6	91,93	82,01	87,99
10	2	101,60	84,81	87,90
	3	110,80	90,39	86,65
	5	87,05	87,35	78,78
	6	90,59	85,82	89,22
11	2	93,05	85,82	59,71
	3	98,10	92,41	84,50
	5	83,16	82,65	84,04
	6	103,83	80,51	75,71
13	2	92,53	95,52	95,14
	3	102,26	88,31	79,18
	5	86,35	81,44	70,96
	6	83,16	80,13	73,95
Média geral	=	95,00	87,67	84,12
Desvio padrão	=	8,12	6,88	11,52
CV	=	8,55	7,84	13,69
χ_c^2	=	2,55	4,19	5,46
χ_t^2	=	9,49	7,81	11,10

QUADRO 22 - Valores médios¹ das lâminas de água armazenadas mm, para a distância radial de 50 cm e camadas amostradas.

linha	micro	camadas amostradas cm		
		0 - 20	20 - 40	40 - 60
8	2	97,32	87,57	75,77
	3	88,64	82,64	80,36
	5	87,11	89,18	88,41
	6	84,29	83,71	85,37
10	2	85,90	70,82	64,05
	3	82,38	78,52	76,61
	5	78,11	78,56	79,10
	6	80,80	77,29	76,67
11	2	92,52	75,12	75,48
	3	87,91	91,37	85,52
	5	87,30	81,09	74,70
	6	88,99	79,74	74,82
13	2	84,79	84,38	80,00
	3	85,58	80,66	72,39
	5	76,13	75,67	72,26
	6	83,89	73,66	74,02
Média geral	=	85,54	80,62	77,22
Desvio padrão	=	5,23	5,69	5,95
CV	=	6,11	7,05	7,71
χ_c^2	=	0,90	1,15	3,76
χ_t^2	=	5,99	5,99	5,99

¹ Valores médios obtidos nos semi-eixos N, S, E e W.

QUADRO 23 - Valores médios¹ das lâminas de água armazenadas mm, para a distância radial de 150 cm e camadas amostradas.

linha	micro	camadas amostradas cm		
		0 - 20	20 - 40	40 - 60
8	2	88,81	87,04	82,60
	3	88,37	82,21	80,94
	5	84,83	83,00	84,04
	6	81,75	76,68	76,23
10	2	81,22	72,61	70,42
	3	77,49	75,30	64,89
	5	65,11	70,15	72,23
	6	76,18	74,15	71,99
11	2	85,89	81,15	69,96
	3	89,15	79,47	76,01
	5	76,98	73,99	74,14
	6	86,11	77,33	72,23
13	2	81,39	75,22	76,73
	3	85,55	78,30	75,07
	5	68,40	68,58	65,25
	6	84,74	80,13	74,20
Média geral	=	81,37	77,19	74,12
Desvio padrão	=	7,04	4,80	5,33
CV	=	8,65	6,22	7,19
χ_c^2	=	0,81	0,09	0,45
χ_t^2	=	5,99	7,81	7,81

¹ Valores médios obtidos nos semi-eixos N, S, E e W.

QUADRO 24 - Valores médios¹ das lâminas de água armazenadas mm, para a distância radial de 250 cm e camadas amostradas.

linha	micro	camadas amostradas cm		
		0 - 20	20 - 40	40 - 60
8	2	88,02	82,05	80,98
	3	81,59	79,13	76,64
	5	76,67	78,04	78,14
	6	86,40	78,51	78,14
10	2	84,15	67,57	68,43
	3	84,63	70,70	68,76
	5	77,10	73,95	71,64
	6	76,42	68,95	68,31
11	2	82,04	84,40	77,74
	3	84,20	76,86	70,25
	5	73,81	71,93	72,95
	6	85,81	75,03	73,31
13	2	83,46	78,50	82,35
	3	76,81	77,15	71,56
	5	67,63	69,57	68,81
	6	83,70	76,63	73,61
Média geral	=	80,74	75,55	73,85
Desvio padrão	=	5,54	4,80	4,61
CV	=	6,86	6,35	6,24
χ_c^2	=	2,03	2,56	4,90
χ_t^2	=	7,81	5,99	5,99

¹ Valores médios obtidos nos semi-eixos N, S, E e W.

Para as camadas de solos mais profundas, observa-se uma proximidade nos valores das lâminas armazenadas no que se refere a uniformidade, tendo em vista o alto teor de argila, favorecendo a retenção da umidade.

QUADRO 25 - Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (%) para as lâminas médias de água armazenadas em relação as distâncias radiais.

Distância Radial cm	Camadas amostradas cm		
	0 - 20	20 - 40	40 - 60
0	93,00	93,66	90,12
50	95,42	94,48	94,26
150	93,41	94,85	94,07
250	93,99	94,38	94,38

A Figura 8 apresenta o perfil do armazenamento de água no solo para as camadas de 0 a 20; 20 a 40 e 40 a 60 cm em relação às distâncias radiais obtido por amostragem uma hora após o término da irrigação, onde pode-se visualizar um decréscimo da lâmina de água armazenada com a profundidade. Esta diferença provavelmente, tende-se a reduzir com o tempo devido ao fenômeno da redistribuição, onde as camadas superficiais perdem água por drenagem, aumentando a umidade das camadas mais profundas.

4.3.4. Avaliação da uniformidade das lâminas de água armazenadas no solo em relação à posição de amostragem.

Estudou-se o efeito da posição de amostragem e do declive sobre a uniformidade das lâminas de água armazenadas nas diferentes camadas de solo, em cada semi-eixo. Os dados foram obtidos nas distâncias radiais de 50, 150 e 200 cm a partir do ponto de

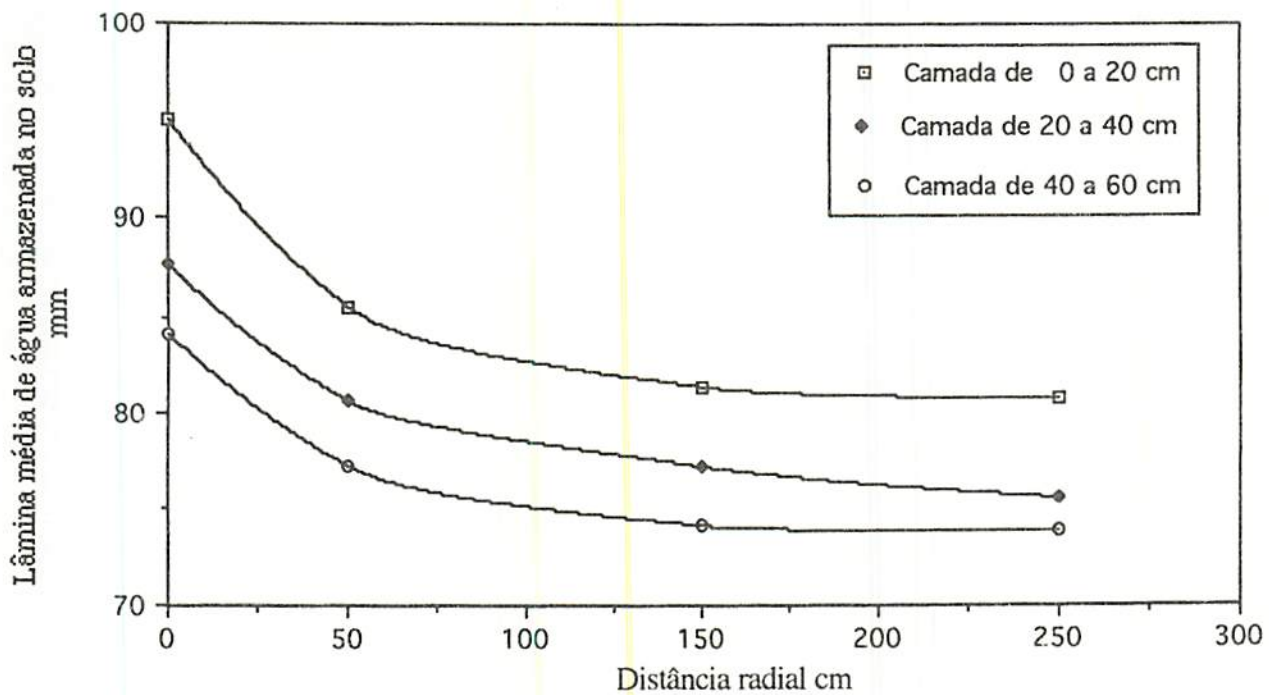


FIGURA 8 - Armazenamento de água em relação às distâncias radiais para as diferentes camadas do solo.

emissão (Quadros 1 a 12 do Apêndice B). Verificou-se um decréscimo das lâminas médias de água armazenadas médias no solo com as camadas amostradas, e também com relação às distâncias radiais. Ocorreu uma redução dos valores das lâminas armazenadas a partir da distância radial de 150 cm, região de maior concentração do sistema radicular, em relação às faixas mais próximas ao ponto de emissão.

A análise das medidas de dispersão indicou uma menor variabilidade dos dados na direção da fileira das plantas (N - S) em comparação com a direção E - W, sentido do declive. Para os semi-eixos E e W, o efeito da declividade nas camadas amostradas afetou o aumento da variabilidade das lâminas armazenadas. Em todas as situações analisadas nesse estudo, verificou-se uma normalidade nos dados pela aplicação do teste de adequacidade qui-quadrado. (Apêndice B).

O Quadro 26 apresenta os valores dos CUC para as lâminas de água armazenadas para as diferentes camadas do solo em relação à distância radial de cada semi-eixo. Verificou-se uma boa uniformidade com valores de CUC superiores ao limite de 80%. Este resultado indica que a variabilidade espacial e o declive não afetaram a uniformidade do armazenamento de água no solo.

4.3.5. - Avaliação da uniformidade das lâminas de água armazenadas nas diferentes camadas do solo antes e após a irrigação.

Para esta análise, foram retiradas amostras de solo para as diferentes camadas e distâncias radiais um dia antes e após uma hora do término da irrigação, sendo que os valores sob a forma de lâminas médias de água armazenadas para as diferentes camadas do solo, obtidas do microaspersor número 2 da linha 10, encontra-se no Quadro 27.

QUADRO 26 - Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (%) para as lâminas de água armazenadas em relação às posições de amostragem.

Camada de solo cm	Distância radial cm			
	0	50	150	250
Semi-Eixo N				
0 - 20	93,00	94,40	89,01	85,95
20 - 40	93,66	93,21	92,39	91,12
40 - 60	90,12	93,43	91,52	92,11
Semi-Eixo S				
0 - 20	93,00	94,90	88,08	83,91
20 - 40	93,66	94,44	94,86	89,36
40 - 60	90,12	94,51	91,01	93,04
Semi-Eixo E				
0 - 20	93,00	91,86	89,14	89,74
20 - 40	93,66	91,04	93,27	92,21
40 - 60	90,12	92,53	91,31	90,79
Semi-Eixo W				
0 - 20	93,00	91,98	88,34	94,34
20 - 40	93,66	93,23	92,67	94,47
40 - 60	90,12	89,42	94,08	91,04

QUADRO 27 - Lâminas médias de água armazenadas (mm) no solo, para diferentes camadas de solo, antes e após a irrigação, em relação as distancias radiais.

Distância Radial cm	Camadas amostradas cm					
	0 - 20		20 - 40		40 - 60	
	antes	após	antes	após	antes	após
0	93,16	101,60	82,24	84,82	87,90	94,82
50	78,28	85,90	68,78	70,82	67,44	64,06
150	67,04	81,22	70,06	70,26	69,96	73,06
250	75,76	83,92	64,22	73,34	66,56	71,84

Houve um aumento na lâmina de água armazenada após a irrigação para as diferentes camadas de solo principalmente nas distâncias radiais de 150 a 250 cm, onde se concentram as raízes com base na projeção da copa da laranja, evidenciando a reposição de água pela irrigação.

Para as camadas de 0 - 20 e 20 - 40 cm, as lâminas de água armazenadas nas diferentes distâncias radiais antes da irrigação, não atingiram o potencial matricial de 1000 cm recomendado por Stolzy et alii (1963), citado por MILLAR (1989), tomando-se como base a curva de retenção de umidade. Após a irrigação, as lâminas de água armazenadas nas camadas superficiais ficaram acima do limite da capacidade de campo, o que favorecer a drenagem para as camadas profundas com o tempo.

A uniformidade de armazenamento de água no solo avaliada pelo coeficiente proposto por Christiansen, foi superior a 80%, antes e após a irrigação, conforme indicado no Quadro 28. Em alguns casos, verificou-se um decréscimo na uniformidade, devido às variabilidades na posição dos pontos amostrados, a não coincidência das posições de amostragens antes e após a irrigação, o efeito do declive natural do terreno e os efeitos de superfície.

QUADRO 28 - Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (%) para as diferentes camadas de solo, antes e após a irrigação, em relação as distancias radiais.

Distância Radial cm	Camadas amostradas cm					
	0 - 20		20 - 40		40 - 60	
	antes	após	antes	após	antes	após
50	90,48	95,73	89,84	89,26	78,68	96,36
150	84,97	89,20	93,73	90,81	95,18	94,91
250	92,96	88,64	86,53	95,57	90,80	95,38

4.3.6. - Comparação da uniformidade de distribuição de água na superfície e no perfil do solo

Pretende-se com esta comparação, mostrar a importância de se avaliar a uniformidade de distribuição da lâmina de água armazenada no perfil do solo, em relação a aplicada na sua superfície. Geralmente, os sistemas de irrigação são avaliados quanto à aplicação e distribuição da água na superfície do solo.

O Quadro 29 é um resumo dos Quadros 13 e 25, onde são apresentados os dados usados na análise da uniformidade de distribuição das lâminas médias de água aplicada na superfície e armazenadas no perfil do solo em relação às distâncias radiais. Os valores para o CUC no perfil do solo apresentam-se bem superiores aos da sua superfície, devido a redistribuição da água no solo, comprovando as conclusões obtidas por HART (1972) e PAIVA (1980). Os coeficientes de uniformidade relativos à superfície e perfil do solo, não indicam nenhuma relação entre si.

QUADRO 29 - Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (%) para as lâminas médias de água aplicadas na superfície e armazenadas no perfil do solo em relação as distâncias radiais.

	Distância radial cm			
	0	50	150	250
Superfície	65,54	77,88	57,32	70,34
Perfil do Solo *	92,26	94,72	94,11	94,25

* média do perfil

Com relação à posição, obteve-se uma flutuação maior quando se compara os valores dos CUC obtidos na superfície e no perfil do solo, conforme o Quadro 30. Observa-se que, mesmo para os menores CUC obtidos na superfície devido aos efeitos de declive e impacto do jato, no solo os valores de uniformidade no perfil do solo foram todos acima de 80%, confirmando a conclusão de HART (1972) de que a avaliação de superfície subestima a uniformidade do sistema.

4.4. - Avaliação hidráulica das linhas de irrigação

As pressões em todos os pontos de emissão foram tomadas segundo a metodologia proposta por MERRIAM et alii (1973), para as linhas 1, 5, 8 e 13. Dentro de cada unidade operacional, as pressões foram medidas no primeiro emissor, no emissor situado a 1/3 e 2/3 do comprimento e o último emissor da linha para as linhas 1, 3, 5 e 6 (Unidade Operacional I) e linhas 7, 9, 11 e 13 (Unidade Operacional II).

QUADRO 30 - Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (%) para as lâminas de água médias aplicadas e armazenadas no solo em relação às posições.

		Distância radial cm			
		0	50	150	250
N	Superfície	65,54	68,71	37,27	27,75
	Perfil do Solo *	92,26	93,68	90,97	85,95
S	Superfície	65,54	54,20	58,02	49,80
	Perfil do Solo *	92,26	94,62	91,31	88,77
E	Superfície	65,54	62,97	72,92	72,80
	Perfil do Solo *	92,26	91,81	91,24	90,91
W	Superfície	65,54	59,59	50,00	45,39
	Perfil do Solo *	92,26	91,21	91,70	93,28

* média do perfil

Nas demais linhas, as pressões foram tomadas no início e no final. Os Quadros 1 a 23 do Apêndice C, apresentam as pressões calculadas para cada ponto de emissão e as características hidráulicas de cada trecho para as linhas de irrigação. Para o cálculo das pressões, foi fornecido ao programa a pressão no primeiro ponto de emissão, as vazões e comprimento dos trechos entre dois pontos de emissão.

Os valores das pressões calculadas aproximaram-se dos observados (Apêndice C), comprovando a adequacidade das expressões obtidas por FARIA et alii (1987),

mesmo para valores do número de Reynolds abaixo dos limites utilizados na geração dessas expressões. Para uma faixa do número de Reynolds encontrada de 1374 a 13977, os coeficientes C , f e K_g variaram de 126,70 a 141,42; 0,028 a 0,050 e 0,283 a 0,555, com valores médios de 134,40; 0,038 e 0,395, respectivamente.

Em algumas linhas pôde-se observar diferenças entre os valores calculados e medidos, como é o caso das linhas: 1, 6, 7 e 13, posicionadas à direita da linha de derivação e 9, posicionada à esquerda da linha de derivação. Essas diferenças se devem ao fato de que as referidas linhas, apresentam emendas nos trechos não consideradas pelos cálculos, devido à falta de conhecimento do valor da perda de carga localizada nos adaptadores.

No Apêndice C, observa-se baixos valores de perda de carga para as linhas avaliadas, devido ao reduzido número de emissores por linha e aos valores de velocidade média de escoamento abaixo do recomendável.

Os valores das perdas de carga obtidos pela equação de Hazen-Williams pouco diferiram dos determinados pela equação de Darcy-Weisbach, o que garante a confiabilidade de utilização da equação do coeficiente de rugosidade (C), obtida por FARIA et alii (1987), como função do número de Reynolds.

O microaspersor ASBRASIL, por apresentar um dispositivo autocompensante, permite um maior número de emissores por linha. FARIA et alii (1987) apresentam para este microaspersor uma tabela referente ao número máximo de emissores por linha, para uma variação de vazão entre o primeiro e o último emissor, menor ou igual a 10%. Para os espaçamentos de 5,0; 5,5; 6,0; 6,5 e 7,0 metros os autores recomendam o número máximo de emissores por linha de 30; 29; 28; 27 e 26 respectivamente. Isto permite concluir que, as linhas de irrigação pertencentes ao bloco operacional avaliado, apresentam comprimentos aquém do recomendável.

5 - CONCLUSÕES

Com base nos dados levantados a nível de campo e nas análises, pode-se concluir que:

A uniformidade de distribuição de vazão para o bloco operacional avaliado pelos coeficientes CUC, CUH, PE, PEH, CUA, NC e CUMKA, apresentaram valores maiores que 80%, caracterizando a boa uniformidade de emissão mantida pelo dispositivo autocompensante. Os coeficientes de uniformidade propostos para a análise, apresentaram entre si, uma correlação a um nível de significância de 5%.

A distribuição das lâminas de água aplicadas na superfície do solo pelos microaspersores, em relação às distâncias radiais e às posições de coleta nos eixos ortogonais, apresentou-se irregular com baixos valores de CUC, com uma grande concentração próximo ao emissor que se encontra em uma posição incorreta em relação às plantas de laranja.

A distribuição do armazenamento da água no solo apresentou coeficientes de uniformidade superiores aos obtidos na superfície, com valores de CUC acima de 80%. Em geral, houve uma elevação nos valores de CUC após a irrigação, e os níveis de umidade nas camadas superficiais do solo, foram próximos dos esperados, em função do manejo adotado para o sistema de irrigação.

Na superfície e no perfil do solo, verificou-se um decréscimo nas lâminas de água aplicada e armazenada a partir do ponto de emissão, não se observando nenhuma correlação entre os coeficientes de uniformidade na superfície e no perfil do solo.

As pressões calculadas com base nas equações de Hazen-Williams e Darcy Weisbach se aproximaram das pressões medidas a nível de campo, constatando a validade das expressões obtidas por FARIA et alii (1987). Os valores das perdas de carga calculadas pela equação de Hazen-Williams se aproximaram das calculadas pela equação de Darcy-Weisbach, quando se utilizou o coeficiente de rugosidade (C) em função do número de Reynolds, para condutos de pequeno diâmetro.

6. RESUMO

O trabalho teve como objetivos, avaliar o desempenho hidráulico do microaspersor autocompensante ASBRASIL em um bloco operacional, a uniformidade de distribuição da lâmina de água aplicada na superfície e da água armazenada no perfil do solo e as equações obtidas por FARIA et alii (1987): $C = 89,9525 Re^{0,0474}$ para o cálculo do coeficiente de rugosidade; $f = 0,2815 Re^{-0,2402}$ para o cálculo do fator de atrito e $Kg = 4,5425 Re^{-0,2909}$ para o cálculo do coeficiente da perda de carga localizada devido a inserção do emissor na linha de irrigação, todas em função do número de Reynolds (Re).

O bloco operacional avaliado pertence ao sistema de irrigação por microaspersão, situado no pomar da Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL), em uma área cultivada com citrus. As vazões foram obtidas pelo método direto. As pressões nos pontos de emissão foram tomadas com auxílio de um manômetro em U, tendo o mercúrio como líquido indicador. Em 16 emissores pertencentes à unidade operacional II, do bloco operacional avaliado, foram instalados duas linhas ortogonais de pluviômetros com o microaspersor na sua interseção espaçados de 50 cm, para coleta das lâminas de água aplicadas. As amostras de solo coletadas em camadas de 20 cm até uma profundidade de 60 cm, retiradas com o auxílio do trado tipo Veihmeyer segundo as distâncias radiais de 0, 50, 150 e 250 cm nas linhas ortogonais. O manejo da irrigação baseou-se nos dados da evaporação de água do tanque classe "A" e nas precipitações pluviométricas, com um turno de rega de 4 dias.

A distribuição da vazão ao longo de cada linha de irrigação e do bloco operacional como um todo, apresentou-se uniforme com coeficientes acima de 80%, o que pode ser atribuído ao desempenho do dispositivo autocompensante. Os coeficientes de Christiansen, Criddle et alii, Hart, Abreu & Lopes, Deniculi e Merriam et alii utilizados na avaliação da distribuição de vazão, apresentaram entre si uma correlação a um nível de 5% de significância.

A distribuição das lâminas de água aplicadas em relação às distâncias radiais e à posição nos semi-eixos N, S, E e W apresentou-se irregular com coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) menores que 80%, devido às variações inerentes ao processo de fabricação e ao tempo de uso, ao impacto do jato d'água contra a copa das árvores de laranja e à haste de sustentação da bailarina do microaspersor e, ainda, aos planos de fixação dos coletores em relação ao ponto de emissão. No perfil do solo, houve uma redistribuição da umidade, uniformizando as lâminas de água armazenadas nas camadas estudadas com CUC acima de 80%, devido à manutenção de elevada umidade no solo. Na superfície, houve um decréscimo das lâminas de água aplicadas com as distâncias radiais, concentrando-se próximo ao ponto de emissão, que se encontra mal posicionado em relação a área de influência do sistema radicular das laranjeiras. Também, verificou-se um decréscimo no armazenamento de água no perfil do solo com as distâncias radiais, nas diferentes camadas estudadas.

A partir das pressões calculadas com base nas equações de Darcy-Weisbach e Hazen-Williams, pode-se constatar a validade das expressões obtidas por FARIA et alii (1987), quando comparados com as pressões medidas a nível de campo. Os valores das perdas de carga obtidos pela equação de Hazen-Williams se aproximaram dos calculados pela equação de Darcy-Weisbach para o conduto de polietileno, onde o coeficiente de rugosidade (C) foi obtido em função do número de Reynolds. Os valores das perdas de carga e das velocidades médias de fluxo ao longo das linhas avaliadas foram baixos, devido ao pequeno número de emissores por linha, para o microaspersor autocompensante ASBRASIL.

7. SUMMARY

This work evaluated the hydraulics performance of self-regulated microsprinklers manufactured by ASBRASIL, a company established at Brazil. The distribution uniformity of water applied on the soil surface and stored in the soil profile was determined. Validity of equations obtained by Faria et al. (1987) to calculate the roughness coefficient, the attrition factor and the coefficient for calculating the insertion head loss as function of Reynolds number were also evaluated.

The area where the experiment was set up is located in a citrus orchard at Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL). Flow rate was measured volumetrically and water pressure determined by a mercury manometer. The experiment involved 16 emitters through which two orthogonal catch can lines were installed spaced 50 cm apart. Soil samples were collected in 20 cm layers up to 60 cm deep. To do so, a Veihmeyer auger type was used and samples were collected at radial distances of 0, 50, 150 and 250 cm along the orthogonal lines.

The irrigation management was established following data obtained from a class A pan, and from rain gages, being the citrus orchard irrigated every fourth day.

The flow rate distribution along each lateral was acceptable, once all distribution coefficients determined were higher than 80%. Such high values can be attributed to presence of self regulating mechanisms in the microsprinklers. It was also observed that

Christiansen, Criddle et al., Hart, Abreu and Lopes, Deniculi, and Merriam et al. coefficients were statistically correlated to each other at 5% significance level.

The distribution of water over the catch cans was, however, less uniform. The Christiansen's coefficient of uniformity (CUC) was below 80%, a relative failure that can be attributed to variations of manufacturing processes, age of emitters, jet interception by citrus leaves, bending of the microsprinkler stake or even the slope of soil surface. Moisture gains evaluated inside the soil profile revealed that the moisture redistribution in soil can turn the water distribution more even. In fact, the CUC values for this case were higher than 80%.

Water distribution along orthogonal axis passing through the emitter was more intense near the stake than at positions far from it. Such distribution is not very acceptable once the emitter can be badly positioned in relation to the citrus tree. Decreases in water in the soil profile was also observed at points located farther from the stake.

Pressure values calculated by Darcy-Weisbach and Hazen-Williams equations were close and validate the use of expressions suggested by Faria et al. The head losses and velocities along the laterals were relatively small due to the low number of emitters along each lateral.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

01. ANDRADE, D. V. **Avaliação hidráulica de tubos flexíveis de polietileno perfurados a laser utilizados na irrigação.** Piracicaba, USP, 1990. 147p. (Dissertação de Mestrado).
02. ASBRASIL. **Irrigação localizada.** São Bernardo do Campo. s. d. n. p.
03. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **Projeto 12:02.08-021 - Emissores para sistema de irrigação localizada: avaliação de características operacionais,** s. 1., 1986.
04. _____ - **Projeto 12:02.08-020 - Sistema de irrigação localizada avaliação do desempenho,** s. 1., 1987.
05. AZEVEDO NETTO, J. M. & ALVAREZ, G. A. **Manual de hidráulica.** São Paulo, Edgard Blucher, 1982. v.1, 335p.
06. BERNARDO, S. **Manual de irrigação.** Viçosa, Imprensa Universitária, 1989. 596 p.
07. BOTREL, T. A. **Simulação da distribuição da água em solo irrigado com gotejadores.** Piracicaba, ESALQ, 1988. 61p. (Dissertação de Doutorado).

08. CABELLO, F. P. **Riegos localizados de alta frecuencia: Goteo, Microaspersión e Exudación.** Madrid, Ediciones Mundi - Prensa, 1986. 461p.
09. CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling.** Berkeley, University of California, 1942. 124p. (Bulletin, 670).
10. CLOTHIER, B.; SCOTTER, D. & HARPER, E. Three-dimensional infiltration and trickler irrigation. **Transaction of ASAE**, St. Joseph, **28(2):497-501**, 1985.
11. COELHO, R. D. **Regulagens de aspersores e seus efeitos sobre uniformidade de aplicação de água e produtividade das culturas.** Piracicaba, USP, 1990. 141p. (Dissertação de Mestrado).
12. CUENCA, R. H. **Irrigation system design: an engineering approach.** New Jersey, Prentice Hall, 1989. 532p.
13. DENICULI, W. **Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo, no sistema de irrigação por gotejamento.** Viçosa, UFV, 1979. 41p. (Dissertação de Mestrado).
14. DRAPER, N. R. & SMITH, H. **Applied Regression Analysis.** 2nd ed. New York, John Wiley & Sons, 1981. 709p.
15. FARIA, M. A.; BERNARDO, S.; FERREIRA, P. A. & LOUREIRO, B. T. Irrigação por gotejamento: I - Características hidráulicas do microgotejador IRTEC. **Revista Ceres**, Viçosa, **29(165):471-8**, 1982.

16. FARIA, M. A. ; SILVA, A. M. ; SILVA, E. L. ; FERREIRA, E. & TEIXEIRA, H. A. **Avaliação de produtos disponíveis para pequena irrigação e adaptação a sistemas de baixo custo.** Lavras. ESAL, Lavras, 1987. (Relatório de pesquisa não publicado).
17. GONÇALVES, A. C. A. **Análise da perda de carga em tubos perfurados para irrigação, pela comparação entre o conceito de vazão fictícia e a metodologia proposta por Christiansen.** Viçosa, UFV, 1988. 80p. (Dissertação de Mestrado).
18. HART, W. E. Overhead irrigation pattern parameters. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, **42(7):354-5**, 1961.
19. _____ . Subsurface distribution of non-uniformly applied surface waters. **Transactions of the ASAE**. St. Joseph, **15(4):656-66**, 1972.
20. HOWELL, T. A. & BARINAS, F. A. Pressure losses across trickle irrigation fittings and emitters. **Transactions of the ASAE**. St. Joseph, **23 (4):928-33**, 1980.
21. JUAN, J. A. M. S. **Riego por goteo : teoria y practica.** Madrid, Ediciones Mundi-Prensa, 1985. 216p.
22. KELLER, J. & KARMELI, D. **Trickler irrigation design.** Glendora, Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1974. 182p.
23. KIEHL, E. J. **Manual de edafologia.** São Paulo, Agronômica Ceres, 1979. 262p.
24. MATSURA, E. E. **Eficiência de irrigação e uniformidade de distribuição de água em sistema de irrigação por aspersão.** Piracicaba, USP, 1987. 124p. (Dissertação de Mestrado).

25. MERRIAM, J. L. ; KELLER, J. & ALFARO, J. F. **Irrigation system evaluation and improvement.** Logan. Department of Agriculture and Irrigation Engineering. Utah water Research Labratory. Utah State University, 1973. p. ir.
26. MILLAR, A. A. **Manejo racional da irrigação: uso de informações básicas sobre diferentes culturas.** Brasília, PRONI/IICA, 1989. 57 p.
27. MORAES, O. **Determinação do coeficiente de variação de gotejadores e sua influência na uniformidade de emissão em linhas laterais de irrigação por gotejamento.** Piracicaba, USP, 1984. 192p. (Dissertação de Mestrado).
28. MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. **Water Resoucer Research**, Washington, **3**(12):513-21, 1976.
29. NAKAYAMA, F. S. & BUCKS, D. A. **Trickler irrigation for crop production : desing, operation and management.** Arizona, USDA, 1986. 383p.
30. NOGUEIRA, A. M. **Características hidráulicas e de distribuição de água por microaspersores.** Piracicaba, USP, 1989. 57p. (Dissertação de Mestrado).
31. NOGUEIRA, L. C. & GORNAT, B. Desempenho de gotejador autocompensante. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, **42**:22-8, 1990.
32. OLITTA, A. F. L. **Os métodos de irrigação.** São Paulo, Nobel, 1985. 267p.
33. PAIVA, J. B. D. **Uniformidade de aplicação de água abaixo da superfície do solo, utilizando irrigação por aspersão.** São Carlos, USP, 1980. 333p. (Dissertação Mestrado).

34. PINTO, J. M. ; SOARES, J. M. & NASCIMENTO, T. Análise de coeficientes de uniformidade de distribuição de água em sistema de irrigação localizada. In : CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, VIII, Florianópolis, 1988. **Anais...** Florianópolis, Imprensa Oficial de Santa Catarina, 1988. v. 1. p.309-26.
35. _____ ; _____ & _____ . Caracterização hidráulica de microaspersores. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 9, Natal, 1991. **Anais...** Fortaleza, 1992. v. 1.p. 191-243.
36. RODRIGUES, F. Custos de benefícios da irrigação no Brasil. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, 41:6-11, 1990.
37. SALLES, E. S. **Efeito da vazão e do volume de água aplicados por um emissor puntual nas dimensões do bulbo molhado em latossolo vermelho-escuro álico**. Viçosa, UFV, 1990. 66p. (Dissertação de Mestrado).
38. SCALOPPI, E. J. Hidráulica de tubulações com múltiplas derivações. In : CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, VII, Brasília, 1986. **Anais...** Brasília, Gráfica e Encadernadora Brasil. 1986. v.3. p.1085-100.
39. SILVA, J. G. F. **Características hidráulicas de tubos de polietileno perfurados para irrigação por gotejamento**. Viçosa, UFV, 1984. 63p. (Dissertação Mestrado).
40. SOIL CONSERVATION SERVICE. Trickle irrigation. In: UNITED STATES DEPARTAMENT OF AGRICULTURE. **National Engineering Handbook**. Washington, 1984. cap. 7, sec. 15, 129p.

41. SOLOMON, K. Manufacturing variation of trickler emitters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **22(5)**:1034-8, 1979.
42. SPIEGEL, M. R. **Estatística**. São Paulo, McGraw do Brasil, 1985. 454p.
43. TELLES, D. A. Métodos de irrigação. In: PROGRAMA NACIONAL DE IRRIGAÇÃO: **Curso de Elaboração de Projetos de Irrigação**. Brasília, Fundação CTH, 1986. p.3-101.
44. VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, **44**:892-8, 1980.
45. ZANINI, J. R. Distribuição de água e do íon K^+ no solo aplicados por fertirrigação em gotejamento. I - formação do bulbo molhado. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, **45**:13-24, 1991.

APÊNDICE A - Valores das vazões de cada emissor e das pressões observadas para as linhas laterais pertencentes às unidades operacionais I e II.

QUADRO A1 - Vazão e pressão dos pontos de emissão das linhas 1, pertencentes a unidade operacional I.

posição:	esquerda		direita	
micro	vazão l/h	pressão KPa	vazão l/h	pressão KPa
1	69,31	264,98	62,31	262,05
2	79,02	264,49	78,08	260,06
3	65,78	264,17	64,80	257,99
4	67,15	263,92	69,68	259,76
5			67,15	259,97
6			66,46	257,99
média =	70,32		68,08	
desvio padrão =	5,98		5,48	
CV (%)	8,51		8,05	

QUADRO A2 - Vazão e pressão dos pontos de emissão das linhas 2, pertencentes a unidade operacional I.

posição:	esquerda		direita	
micro	vazão l/h	pressão KPa	vazão l/h	pressão KPa
1	72,00	267,11	74,91	264,97
2	61,42		54,68	
3	67,82		61,71	
4	70,05		64,16	
5	57,09		63,72	
6	65,45	263,98	74,48	
7			62,61	
8			64,48	259,96
média =	65,64		65,09	
desvio padrão =	5,58		6,69	
CV (%)	8,50		10,28	

QUADRO A3 - Vazão e pressão dos pontos de emissão das linhas 3, pertencentes a unidade operacional I.

posição:	esquerda		direita	
micro	vazão 1/h)	pressão (KPa)	vazão (1/h)	pressão (KPa)
1	62,01	280,05	68,25	279,95
2	65,78		67,50	
3	65,13	277,03	64,80	276,00
4	60,85		63,84	
5	65,78	276,84	64,80	273,30
6	66,13	60,85		
7	82,55	275,03	68,93	
8			71,61	270,00
média =	66,89		66,32	
desvio padrão =	7,21		3,39	
CV (%)	10,78		5,12	

QUADRO A4 - Vazão e pressão dos pontos de emissão das linhas 4, pertencentes a unidade operacional I.

posição:	esquerda		direita	
micro	vazão 1/h	pressão KPa	vazão 1/h	pressão KPa
1	71,33	316,05	69,31	314,94
2	64,96		67,50	
3	62,61		70,82	
4	67,15		61,42	
5	68,93	314,95	55,86	
6			64,48	
7			61,71	
8			73,22	310,02
média=	67,00		65,54	
desvio padrão =	3,39		5,75	
CV (%)	5,06		8,77	

QUADRO A5 - Vazão e pressão dos pontos de emissão das linhas 5, pertencentes a unidade operacional I.

posição:	esquerda		direita	
micro	vazão l/h	pressão KPa	vazão l/h	pressão KPa
1	74,06	328,02	75,79	329,96
2	72,81	329,03	78,08	328,02
3	71,20	326,79	67,50	325,93
4	65,45	336,07	72,00	323,95
5	68,85	327,05	66,46	321,98
6	70,05	327,09	71,20	321,83
7	65,45	326,03	74,91	317,81
média =	69,56		72,28	
desvio padrão =	3,43		4,30	
CV (%)	4,93		5,94	

QUADRO A6 - Vazão e pressão dos pontos de emissão das linhas 6, pertencentes a unidade operacional I.

posição:	esquerda		direita	
micro	vazão l/h	pressão KPa	vazão l/h	pressão KPa
1	68,57	335,97	67,85	335,05
2	69,68		69,12	331,99
3	63,84	333,02	71,20	
4	61,42		70,05	328,06
5	68,21	69,68		
6	68,21	67,85	324,94	
7	70,44	323,95		
8	75,56			
9	66,13			
10	70,82	322,02		
média =	68,29		69,29	
desvio padrão =	3,91		1,31	
CV (%)	5,73		1,89	

QUADRO A7 - Vazão e pressão dos pontos de emissão das linhas 7, pertencentes a unidade operacional II.

posição:	esquerda		direita	
micro	vazão l/h	pressão KPa	vazão l/h	pressão KPa
1	70,05	301,03	67,85	301,03
2	67,15		68,93	298,95
3	80,00		69,68	
4	72,00	297,96	67,15	
5	65,45		72,00	294,95
6	76,23	67,15		
7	72,81	292,01	72,00	292,95
8	67,50			
9	67,15			
10	68,57	289,98		
média =	70,69		69,25	
desvio padrão =	4,61		2,09	
CV (%)	6,52		3,02	

QUADRO A8 - Vazão e pressão dos pontos de emissão das linhas 8, pertencentes a unidade operacional II.

posição:	esquerda		direita	
micro	vazão l/h	pressão KPa	vazão l/h	pressão KPa
1	74,48	322,06	67,50	319,96
2	71,20	318,02	73,63	318,00
3	71,20	317,05	78,08	316,01
4	73,63	315,05	75,35	315,00
5	75,79	316,01	68,93	312,01
6	63,84	314,01	93,24	308,55
7	82,02	315,02	73,22	308,31
8	79,02	310,02	73,22	307,95
9	72,81	306,96		
média =	73,78		75,89	
desvio padrão =	5,16		7,92	
CV (%)	6,99		10,43	

QUADRO A9 - Vazão e pressão dos pontos de emissão das linhas 9, pertencentes a unidade operacional II.

posição:	esquerda		direita	
micro	vazão l/h	pressão KPa	vazão l/h	pressão KPa
1	88,76	358,25	70,82	362,10
2	56,60	356,61	79,51	
3	79,51	360,03	78,08	357,71
4	79,51	360,00	67,85	
5			73,63	361,98
6			70,44	
7			64,48	360,03
média =	76,10		72,12	
desvio padrão =	13,71		5,38	
CV (%)	18,02		7,46	

QUADRO A10 - Vazão e pressão dos pontos de emissão das linhas 10, pertencentes a unidade operacional II.

posição:	esquerda		direita	
micro	vazão l/h	pressão KPa	vazão l/h	pressão KPa
1	70,05	328,50	69,68	328,06
2	70,05		68,21	
3	64,77	326,02	73,22	
4			69,68	
5			77,14	
6			66,80	
7			62,61	322,97
média =	68,29		69,62	
desvio padrão =	3,05		4,63	
CV (%)	4,47		6,65	

QUADRO A11 - Vazão e pressão dos pontos de emissão das linhas 11 e 12 pertencentes a unidade operacional II.

posição:	direita linha 11		direita linha 12	
micro	vazão l/h	pressão KPa	vazão l/h	pressão KPa
1	80,00	330,72	64,48	350,06
2	71,35		62,61	
3	78,08	330,00	71,20	
4	73,63		61,42	
5	79,27	326,98	67,85	
6	73,22	75,35		
7	77,84	325,05	68,57	342,05
média =	76,20		67,36	
desvio padrão =	3,39		4,94	
CV (%)	4,45		7,34	

QUADRO A12 - Vazão e pressão dos pontos de emissão da linha 13, pertencentes a unidade operacional II.

posição :	direita	
micro	vazão l/h	pressão KPa
1	75,48	434,94
2	72,81	429,94
3	74,91	427,00
4	68,21	424,98
5	68,57	422,01
6	105,37	421,98
7	67,32	421,18
8	70,82	421,78
média =	75,39	
desvio padrão =	12,48	
CV (%)	16,55	

APÊNDICE B - Valores das lâminas de água armazenadas nas diferentes camadas de solo (mm)
em relação às posições de coleta das amostras.

QUADRO B1 - Valores das lâminas de água armazenadas no solo (mm), no semi-eixo N para a camada de 0 a 20 cm.

linha	distância radial cm			
	micro	50	150	250
8	2	93,05	91,95	79,05
	3	89,37	90,53	80,44
	5	86,31	79,13	66,13
	6	91,03	79,29	69,74
10	2	85,54	94,19	92,50
	3	91,66	81,14	69,66
	5	73,51	54,42	54,83
	6	74,91	65,93	65,92
11	2	90,75	95,77	88,43
	3	84,46	85,38	92,55
	5	77,50	85,14	59,30
	6	84,33	79,99	79,44
13	2	81,00	78,27	84,41
	3	86,53	86,56	70,33
	5	79,68	61,78	55,08
	6	86,57	93,71	81,30
Média geral =		84,76	81,45	74,32
Desvio padrão =		5,99	11,96	12,30
CV =		7,07	14,69	16,55
$\chi_c^2 =$		3,44	7,81	2,94
$\chi_t^2 =$		7,81	12,60	9,49

QUADRO B2 - Valores das lâminas de água armazenadas no solo (mm), no semi-eixo N para a camada de 20 a 40 cm.

linha	distância radial cm			
	micro	50	150	250
8	2	90,95	88,19	80,48
	3	89,67	81,20	79,36
	5	86,15	84,97	70,62
	6	87,09	79,71	74,45
10	2	69,36	72,86	72,16
	3	80,86	74,53	67,10
	5	75,92	66,95	64,68
	6	73,86	65,31	66,82
11	2	75,99	77,17	86,11
	3	84,74	77,85	83,40
	5	81,84	77,89	64,39
	6	79,50	71,99	78,74
13	2	82,43	69,40	80,74
	3	84,78	79,24	79,24
	5	68,08	64,14	63,25
	6	77,22	83,27	81,33
Média geral =		80,53	75,92	74,55
Desvio padrão =		6,76	7,072	7,57
CV =		8,40	9,31	10,15
$\chi_c^2 =$		0,11	0,84	2,81
$\chi_t^2 =$		5,99	9,49	9,49

QUADRO B3 - Valores das lâminas de água armazenadas no solo (mm), no semi-eixo N para a camada de 40 a 60 cm.

linha	distância radial cm			
	micro	50	150	250
8	2	83,58	83,93	76,49
	3	88,50	84,85	80,00
	5	84,37	83,94	79,54
	6	87,36	84,13	73,36
10	2	65,44	64,09	74,24
	3	80,60	72,00	63,57
	5	81,14	71,08	72,66
	6	76,80	68,67	75,60
11	2	69,71	87,90	85,63
	3	83,18	73,99	59,59
	5	82,39	77,39	68,62
	6	75,25	71,99	79,97
13	2	79,55	72,55	71,64
	3	73,73	76,76	63,01
	5	73,96	59,32	66,92
	6	75,36	73,83	79,86
Média geral =		78,81	75,40	73,17
Desvio padrão =		6,33	8,01	7,28
CV =		8,03	10,62	9,94
$\chi_c^2 =$		1,81	3,69	1,57
$\chi_t^2 =$		7,81	7,81	7,81

QUADRO B4 - Valores das lâminas de água armazenadas no solo (mm), no semi-eixo S para a camada de 20 a 40 cm.

linha	distância radial cm			
	micro	50	150	250
8	2	95,53	90,70	101,09
	3	86,88	92,93	69,36
	5	91,99	107,38	81,29
	6	82,94	84,58	101,96
10	2	90,04	85,79	73,42
	3	89,53	82,67	70,85
	5	79,57	82,54	90,50
	6	82,36	90,25	81,02
11	2	91,77	95,27	93,54
	3	84,43	85,86	69,06
	5	83,14	79,23	84,88
	6	82,79	84,14	91,72
13	2	77,22	89,48	80,52
	3	83,14	97,81	77,99
	5	76,47	77,37	82,51
	6	85,02	83,26	92,78
Média geral =	85,17	88,08	83,91	
Desvio padrão =	5,43	7,62	10,57	
CV =	6,37	8,65	12,59	
$\chi_c^2 =$	1,61	1,45	7,03	
$\chi_t^2 =$	7,81	9,49	11,10	

QUADRO B5 - Valores das lâminas de água armazenadas no solo (mm), no semi-eixo S para a camada de 20 a 40 cm.

linha	distância radial cm			
	micro	50	150	250
8	2	90,01	88,73	86,60
	3	81,16	78,66	69,25
	5	91,22	94,67	80,08
	6	79,35	82,58	94,65
10	2	81,87	81,73	52,95
	3	80,59	75,99	67,56
	5	72,56	75,61	87,58
	6	77,25	77,03	75,77
11	2	76,75	86,45	92,94
	3	86,38	85,62	73,44
	5	83,14	78,21	82,36
	6	75,27	78,80	70,88
13	2	77,22	82,09	74,90
	3	80,25	80,54	82,35
	5	76,81	74,24	75,64
	6	68,24	78,45	86,98
Média geral =		79,87	81,22	78,39
Desvio padrão =		5,96	5,43	10,64
CV =		7,46	6,68	13,57
$\chi_c^2 =$		0,81	2,81	2,52
$\chi_t^2 =$		5,99	7,81	11,10

QUADRO B6 - Valores das lâminas de água armazenadas no solo (mm), no semi-eixo S para camada de 40 a 60 cm.

linha	distância radial cm			
	micro	50	150	250
8	2	82,15	84,15	89,19
	3	75,60	75,48	74,48
	5	86,25	86,56	75,23
	6	82,25	81,24	83,81
10	2	64,29	78,96	67,54
	3	78,86	44,13	66,06
	5	73,06	75,27	79,27
	6	77,77	77,28	74,48
11	2	80,28	58,99	85,22
	3	80,07	79,33	71,12
	5	75,32	81,00	84,37
	6	74,57	72,95	69,81
13	2	76,33	77,91	75,83
	3	71,66	71,51	82,35
	5	72,41	68,30	77,51
	6	70,07	75,32	78,76
Média geral =		76,31	74,27	77,19
Desvio padrão =		5,43	10,34	6,66
CV =		7,11	13,92	8,63
$\chi_c^2 =$		0,87	6,66	0,47
$\chi_t^2 =$		7,81	7,81	7,81

QUADRO B7 - Valores das lâminas de água armazenadas no solo (mm), no semi-eixo E para a camada de 0 a 20 cm.

linha	distância radial cm			
	micro	50	150	250
8	2	107,11	79,15	81,58
	3	92,99	81,77	91,22
	5	88,01	81,62	77,56
	6	73,77	85,72	93,94
10	2	89,10	76,40	95,46
	3	75,91	71,58	86,76
	5	80,95	64,47	79,18
	6	77,19	77,00	69,67
11	2	92,47	74,52	74,91
	3	88,21	102,58	89,90
	5	86,23	63,72	65,54
	6	87,22	100,40	76,35
13	2	91,61	102,47	89,62
	3	80,21	89,31	84,61
	5	76,30	79,72	60,37
	6	77,04	79,45	76,74
Média geral =		85,27	81,87	80,84
Desvio padrão =		8,72	11,92	10,22
CV =		10,23	14,56	12,64
$\chi_c^2 =$		3,25	3,11	1,37
$\chi_t^2 =$		9,49	9,49	7,81

QUADRO B8 - Valores das lâminas de água armazenadas no solo (mm), no semi-eixo E para a camada de 20 a 40 cm.

linha	distância radial cm			
	micro	50	150	250
8	2	90,49	84,88	77,75
	3	82,69	82,53	84,21
	5	96,84	81,18	82,26
	6	87,98	73,66	73,58
10	2	57,05	71,71	73,81
	3	77,46	69,64	73,22
	5	81,72	68,45	70,07
	6	76,20	80,77	69,23
11	2	71,93	77,86	81,59
	3	88,22	78,87	74,52
	5	80,09	62,44	64,10
	6	88,25	80,16	70,27
13	2	88,89	78,31	85,65
	3	75,02	83,87	88,82
	5	77,96	74,93	71,87
	6	73,40	83,57	67,56
Média geral =		80,89	77,05	75,53
Desvio padrão =		9,50	6,40	7,11
CV =		11,75	8,30	9,42
$\chi_c^2 =$		2,17	6,35	4,84
$\chi_t^2 =$		9,49	7,81	9,49

QUADRO B9 - Valores das lâminas de água armazenadas no solo (mm), no semi-eixo E para a camada de 40 a 60 cm.

linha	distância radial cm			
	micro	50	150	250
8	2	83,52	79,27	73,02
	3	81,24	79,89	76,64
	5	97,35	87,20	83,16
	6	91,20	73,10	82,86
10	2	59,37	66,55	55,81
	3	73,46	62,69	73,36
	5	77,41	74,32	69,04
	6	73,94	69,64	68,20
11	2	72,91	61,23	62,82
	3	78,71	74,59	69,90
	5	79,05	62,97	65,62
	6	78,53	74,97	72,88
13	2	86,21	86,41	82,31
	3	78,08	82,28	84,30
	5	74,46	68,68	66,91
	6	75,85	75,85	64,22
Média geral =		78,83	73,73	71,94
Desvio padrão =		8,47	8,08	8,27
CV =		10,74	10,96	11,50
$\chi_c^2 =$		3,59	0,37	3,07
$\chi_t^2 =$		7,81	7,81	9,49

QUADRO B10 - Valores das lâminas de água armazenadas no solo (mm), no semi-eixo W para a camada de 0 a 20 cm.

linha	distância radial cm			
	micro	50	150	250
8	2	96,59	93,45	90,37
	3	85,33	88,25	78,49
	5	82,92	71,20	81,67
	6	89,41	77,40	80,84
10	2	78,92	68,50	75,22
	3	72,41	74,57	84,25
	5	78,39	59,01	83,88
	6	88,74	71,53	78,67
11	2	95,08	78,01	71,28
	3	94,52	82,78	80,90
	5	92,67	79,81	83,16
	6	101,62	79,91	95,73
13	2	89,34	55,35	79,28
	3	80,53	68,53	74,29
	5	72,06	54,73	72,57
	6	86,92	80,55	83,98
Média geral =		86,59	73,97	80,91
Desvio padrão =		8,60	11,00	6,30
CV =		9,93	14,87	7,79
$\chi_c^2 =$		1,67	1,97	2,15
$\chi_t^2 =$		11,10	9,49	5,99

QUADRO B11 - Valores das lâminas de água armazenadas no solo (mm), no semi-eixo W para a camada de 20 a 40 cm.

linha	distância radial cm			
	micro	50	150	250
8	2	78,84	86,35	83,06
	3	77,08	82,46	83,70
	5	82,51	71,17	79,20
	6	80,42	70,78	71,37
10	2	74,98	64,14	71,35
	3	74,95	81,05	74,99
	5	84,05	69,58	72,81
	6	81,86	76,69	63,98
11	2	75,83	83,11	76,99
	3	108,75	75,54	76,09
	5	79,28	77,42	76,87
	6	75,95	75,63	80,23
13	2	88,99	71,08	72,69
	3	82,59	69,55	74,96
	5	79,82	61,00	67,51
	6	75,79	75,21	70,68
Média geral =		81,35	74,42	74,79
Desvio padrão =		8,26	6,89	5,33
CV =		10,15	9,25	7,13
$\chi_c^2 =$		6,78	1,29	0,85
$\chi_t^2 =$		7,81	9,49	5,99

QUADRO B12 - Valores das lâminas de água armazenadas no solo (mm), no semi-eixo W para a camada de 40 a 60 cm.

linha	distância radial cm			
	micro	50	150	250
8	2	53,84	83,04	85,21
	3	76,12	79,53	75,43
	5	85,66	78,49	74,63
	6	80,66	66,44	72,55
10	2	67,07	72,13	76,13
	3	73,52	80,75	72,05
	5	84,78	68,27	65,59
	6	78,18	72,37	51,95
11	2	79,03	71,71	77,25
	3	100,12	76,14	80,38
	5	62,06	75,21	80,14
	6	70,95	69,03	70,57
13	2	77,03	70,06	99,62
	3	66,08	69,74	69,09
	5	68,19	64,72	63,91
	6	73,98	71,80	71,59
Média geral =		74,88	73,09	73,69
Desvio padrão =		10,74	5,30	10,15
CV =		14,35	7,25	13,77
$\chi_c^2 =$		1,12	0,31	4,24
$\chi_t^2 =$		9,49	7,81	7,81

APÊNDICE C - Pressões observadas e calculadas pelas equações de Hazen-Williams (HW) e Darcy-Weirbach e características hidráulicas das linhas laterais pertencentes às unidades operacionais I e II.

QUADRO C. 1 - Pressões observadas e calculadas pelas equações de Hazen-Williams (HW) e Darcy-Weisbach (DW) e características hidráulicas da linha 1, lado direito, pertencente a unidade operacional I.

	Observadas	Pressão HW	DW	D	L	Q	V	Re	DW	h_f HW	
micro		KPa	trecho	mm	m	l/h	m/s			KPa	
1	262,05	262,05	262,05	1	16,07	7,30	346,17	0,47	7597,00	1,75	1,74
2	260,06	260,09	260,07	2	16,07	6,05	268,09	0,37	5883,52	0,93	0,92
3	257,99	258,31	258,29	3	16,07	6,05	203,29	0,28	4461,48	0,57	0,57
4	259,76	258,30	258,27	4	16,07	5,45	133,62	0,13	2932,33	0,25	0,24
5	259,97	259,96	259,92	5	16,07	5,14	66,46	0,09	1458,57	0,07	0,07
6	257,99 ¹	259,90	259,90								

¹ = Trecho com emenda

D = Diâmetro médio do conduto ASBRASIL

L = Comprimento do trecho

Q = vazão do trecho

V = velocidade média de escoamento no trecho

Re = número de Reynolds

h_f = perda de carga no trecho

QUADRO C. 2 - Pressões observadas e calculadas pelas equações de Hazen-Williams (HW) e Darcy-Weisbach (DW) e características hidráulicas da linha 1, lado esquerdo, pertencentes à unidade operacional I.

	Observadas	Pressão HW	DW		D	L	Q	V	Re	h _f	HW
micro		KPa	trecho		mm	m	l/h	m/s		KPa	
1	264,98	264,98	264,98	1	16,07	5,63	211,96	0,29	4651,63	0,57	0,57
2	264,95	265,13	265,12	2	16,07	6,3	132,94	0,18	2917,45	0,28	0,28
3	264,17	264,75	264,74	3	16,07	6,18	67,15	0,09	1473,76	0,08	0,08
4	263,92	264,72	264,71								

D = Diâmetro médio do conduto ASBRASIL

L = Comprimento do trecho

Q = vazão do trecho

V = velocidade média de escoamento no trecho

Re = número de Reynolds

h_f = perda de carga no trecho

QUADRO C. 3 - Pressões observadas e calculadas pelas equações de Hazen-Williams (HW) e Darcy-Weisbach (DW) e características hidráulicas da linha 2, lado direito, pertencentes à unidade operacional I.

micro	Observadas	Pressão		D	L	Q	V	Re	h_f		
		HW	DW						DW	HW	
		KPa	trecho	mm	m	l/h	m/s		KPa		
1	267,11	264,97	264,97	1	16,07	6,35	445,84	0,61	9784,57	2,38	2,37
2		261,77	260,09	2	16,07	5,94	391,16	0,53	8584,48	1,77	1,76
3		259,84	258,31	3	16,07	5,95	329,45	0,45	7230,09	1,31	1,30
4		260,53	258,30	4	16,07	5,74	265,29	0,36	5821,99	0,87	0,86
5		259,56	259,96	5	16,07	5,20	201,57	0,28	4423,66	0,47	0,48
6		261,98	262,03	6	16,07	3,05	127,09	0,17	2789,05	0,13	0,13
7		260,68	260,73	7	16,07	2,45	64,48	0,09	1415,03	0,03	0,03
8	263,98	258,82	258,87								

D = Diâmetro médio do conduto ASBRASIL

L = Comprimento do trecho

Q = vazão do trecho

V = velocidade média de escoamento no trecho

Re = número de Reynolds

h_f = perda de carga no trecho

QUADRO C. 4 - Pressões observadas e calculadas pelas equações de Hazen-Williams (HW) e Darcy-Weisbach (DW) e características hidráulicas da linha 2, lado esquerdo, pertencentes à unidade operacional I.

	Observadas	Pressão HW	DW	D	L	Q	V	Re		h_f	HW
micro		KPa	trecho	mm	m	l/h	m/s			KPa	
1	267,11	267,11	267,11	1	16,07	7,05	321,84	0,44	7063,07	1,49	1,48
2		264,71	264,72	2	16,07	6,00	260,41	0,36	5715,04	0,88	0,87
3		264,15	264,17	3	16,07	6,54	192,59	0,26	4226,70	0,56	0,55
4		265,00	265,02	4	16,07	5,85	122,54	0,17	2689,37	0,23	0,22
5		265,09	265,12	5	16,07	5,28	65,45	0,09	1436,47	0,07	0,07
6	263,90	265,16	265,19								

D = Diâmetro médio do conduto ASBRASIL

L = Comprimento do trecho

Q = vazão do trecho

V = velocidade média de escoamento no trecho

Re = número de Reynolds

h_f = perda de carga no trecho

QUADRO C. 5 - Pressões observadas e calculadas pelas equações de Hazen-Williams (HW) e Darcy-Weisbach (DW) e características hidráulicas da linha 3, lado direito, pertencentes à unidade operacional I.

	Observadas	Pressão HW	DW	D	L	Q	V	Re	h_f	HW	
micro		KPa	trecho	mm	m	l/h	m/s		KPa		
1	279,95	279,95	279,95	1	16,07	5,83	462,32	0,63	10146,05	2,34	2,32
2		276,42	276,43	2	16,07	5,84	394,82	0,54	8664,68	1,77	1,76
3	276,00	274,25	274,28	3	16,07	5,86	330,02	0,45	7242,65	1,30	1,29
4		272,70	272,74	4	16,07	5,73	266,08	0,36	5841,62	0,87	0,86
5	273,02	272,28	272,33	5	16,07	5,46	201,38	0,27	4419,59	0,51	0,50
6		271,82	271,88	6	16,07	5,35	140,54	0,19	3084,28	0,27	0,26
7		272,21	272,27	7	16,07	4,30	71,61	0,10	1571,48	0,07	0,06
8	270,00	271,29	271,35								

D = Diâmetro médio do conduto ASBRASIL

L = Comprimento do trecho

Q = vazão do trecho

V = velocidade média de escoamento no trecho

Re = número de Reynolds

h_f = perda de carga no trecho

QUADRO C. 6 - Pressões observadas e calculadas pelas equações de Hazen-Williams (HW) e Darcy-Weisbach (DW) e características hidráulicas da linha 3, lado esquerdo, pertencentes à unidade operacional I.

	Observadas	Pressão HW	DW	D	L	Q	V	Re	DW	h_f	HW
micro		KPa	trecho	mm	m	l/h	m/s			KPa	
1	280,05	280,05	280,05	1	16,07	6,35	406,22	0,56	8914,94	2,02	2,01
2		278,02	278,04	2	16,07	5,95	340,43	0,47	7471,25	1,39	1,38
3	277,03	277,28	277,31	3	16,07	6,17	275,31	0,38	6041,92	0,99	0,98
4		275,94	275,97	4	16,07	5,75	214,46	0,29	4706,61	0,60	0,59
5	276,84	275,24	275,28	5	16,07	5,35	148,68	0,20	3262,92	0,29	0,29
6		274,09	274,13	6	16,07	5,55	82,55	0,11	1811,72	0,11	0,11
7	275,03	274,48	274,53								

D = Diâmetro médio do conduto ASBRASIL

L = Comprimento do trecho

Q = vazão do trecho

V = velocidade média de escoamento no trecho

Re = número de Reynolds

h_f = perda de carga no trecho

QUADRO C. 7 - Pressões observadas e calculadas pelas equações de Hazen-Williams (HW) e Darcy-Weisbach (DW) e características hidráulicas da linha 4, lado direito, pertencentes à unidade operacional I.

	Observadas	Pressão HW	DW	D	L	Q	V	Re	DW	h_f	HW
micro		KPa	trecho	mm	m	l/h	m/s			KPa	
1	314,94	314,94	314,94	1	16,07	4,50	455,02	0,62	9985,94	1,77	1,76
2		313,35	313,36	2	16,07	5,53	387,52	0,53	8504,58	1,63	1,62
3		312,50	312,53	3	16,07	5,98	316,70	0,43	6950,36	1,23	1,22
4		310,80	310,83	4	16,07	5,50	255,28	0,35	5602,33	0,78	0,77
5		309,97	310,01	5	16,07	5,97	199,41	0,27	4376,32	0,54	0,54
6		309,93	309,97	6	16,07	5,22	134,93	0,18	2961,29	0,24	0,24
7		309,41	309,46	7	16,07	4,40	73,22	0,10	1606,90	0,07	0,07
8	310,02	309,57	309,62								

D = Diâmetro médio do conduto ASBRASIL

L = Comprimento do trecho

Q = vazão do trecho

V = velocidade média de escoamento no trecho

Re = número de Reynolds

h_f = perda de carga no trecho

QUADRO C. 8 - Pressões observadas e calculadas pelas equações de Hazen-Williams (HW) e Darcy-Weisbach (DW) e características hidráulicas da linha 4, lado esquerdo, pertencentes à unidade operacional I.

	Observadas	Pressão HW	DW		D	L	Q	V	Re	DW	h_f HW
micro		KPa		trecho	mm	m	l/h	m/s			KPa
1	316,05	316,05	316,05	1	16,07	6,12	263,66	0,36	5786,25	0,91	0,90
2		315,19	315,20	2	16,07	6,24	198,69	0,27	4360,58	0,57	0,56
3		314,85	314,86	3	16,07	6,13	136,09	0,19	2986,56	0,29	0,28
4		314,99	315,00	4	16,07	6,35	68,93	0,09	1512,80	0,09	0,09
5	314,95	314,73	314,74								

D = Diâmetro médio do conduto ASBRASIL

L = Comprimento do trecho

Q = vazão do trecho

V = velocidade média de escoamento no trecho

Re = número de Reynolds

h_f = perda de carga no trecho

QUADRO C. 9 - Pressões observadas e calculadas pelas equações de Hazen-Williams (HW) e Darcy-Weisbach (DW) e características hidráulicas da linha 5, lado direito, pertencentes à unidade operacional I.

	Observadas	Pressão HW	DW		D	L	Q	V	Re	DW	h_f HW
micro		KPa		trecho	mm	m	l/h	m/s			KPa
1	329,96	329,96	329,96	1	16,07	5,90	400,15	0,55	8781,78	1,83	1,82
2	328,02	327,95	327,93	2	16,07	5,80	322,08	0,44	7068,30	1,23	1,22
3	325,93	327,23	327,20	3	16,07	5,75	254,58	0,35	5586,94	0,80	0,80
4	323,95	325,53	325,49	4	16,07	5,70	212,58	0,29	4665,20	0,58	0,58
5	321,98	323,90	323,86	5	16,07	5,30	146,11	0,20	3206,63	0,28	0,28
6	321,83	323,72	323,68	6	16,07	5,40	74,91	0,10	1643,96	0,07	0,07
7	317,81	323,83	323,79								

D = Diâmetro médio do conduto ASBRASIL

L = Comprimento do trecho

Q = vazão do trecho

V = velocidade média de escoamento no trecho

Re = número de Reynolds

h_f = perda de carga no trecho

QUADRO C.10 - Pressões observadas e calculadas pelas equações de Hazen-Williams (HW) e Darcy-Weisbach (DW) e características hidráulicas da linha 5, lado esquerdo, pertencentes à unidade operacional I.

	Observadas	Pressão HW	DW	D	L	Q	V	Re	h_f	HW	
micro		KPa	trecho	mm	m	l/h	m/s		KPa		
1	328,02	328,02	328,02	1	16,07	5,70	412,83	0,56	9059,95	1,87	1,86
2	329,03	329,61	329,60	2	16,07	5,00	340,01	0,46	7461,98	1,17	1,16
3	326,79	328,45	328,42	3	16,07	6,30	268,81	0,37	5899,31	0,98	0,96
4	326,07	327,61	327,58	4	16,07	5,90	203,35	0,28	4462,84	0,56	0,55
5	327,05	326,98	326,95	5	16,07	5,70	135,50	0,18	2973,80	0,26	0,26
6	327,09	326,86	326,82	6	16,07	5,90	65,45	0,09	1436,47	0,08	0,08
7	326,03	327,64	327,60								

D = Diâmetro médio do conduto ASBRASIL

L = Comprimento do trecho

Q = vazão do trecho

V = velocidade média de escoamento no trecho

Re = número de Reynolds

h_f = perda de carga no trecho

QUADRO C.11- Pressões observadas e calculadas pelas equações de Hazen-Williams (HW) e Darcy-Weisbach (DW) e características hidráulicas da linha 6, lado direito, pertencentes à unidade operacional I.

	Observadas	Pressão HW	DW	D	L	Q	V	Re		h_f	
		KPa	trecho	mm	m	l/h	m/s		DW	KPa	HW
1	355,04	335,04	335,04	1	16,07	5,90	347,90	0,48	7635,10	1,43	1,42
2	331,99	333,96	333,97	2	16,07	5,85	278,78	0,38	6118,19	0,96	0,96
3		332,53	332,46	3	16,07	5,95	207,58	0,28	4555,52	0,58	0,58
4	328,06	331,62	331,65	4	16,07	5,70	137,53	0,19	3018,19	0,27	0,27
5		331,40	331,43	5	16,07	5,50	67,85	0,09	1489,04	0,08	0,08
6	324,94 ¹	330,48	330,51								

¹ = Trecho com emenda

D = Diâmetro médio do conduto ASBRASIL

L = Comprimento do trecho

Q = vazão do trecho

V = velocidade média de escoamento no trecho

Re = número de Reynolds

h_f = perda de carga no trecho

QUADRO C.12 - Pressões observadas e calculadas pelas equações de Hazen-Williams (HW) e Darcy-Weisbach (DW) e características hidráulicas da linha 6, lado esquerdo, pertencentes à unidade operacional I.

micro	Observadas	Pressão		D	L	Q	V	Re	h _f		
		HW	DW						DW	HW	
		KPa		trecho	mm	m	l/h	m/s		KPa	
1	335,97	335,97	335,97	1	16,07	5,20	614,32	0,84	13481,88	3,45	3,43
2	334,37	334,39	2	16,07	6,30	544,64	0,74	11952,73	3,36	3,34	
3	333,02	331,66	331,70	3	16,07	5,80	580,80	0,66	10551,71	2,49	2,48
4		328,97	329,02	4	16,07	5,55	419,38	0,57	9203,68	1,88	1,86
5		327,24	327,31	5	16,07	5,95	351,16	0,48	7706,64	1,47	1,46
6		326,07	326,15	6	16,07	6,85	282,95	0,39	6209,61	1,15	1,14
7	323,95	324,82	324,91	7	16,07	6,00	212,51	0,29	4663,76	0,61	0,61
8		324,80	324,90	8	16,07	4,50	136,94	0,19	3005,42	0,21	0,21
9		324,03	324,13	9	16,07	4,30	70,82	0,10	1554,22	0,06	0,06
10	322,01	323,77	323,87								

D = Diâmetro médio do conduto ASBRASIL

L = Comprimento do trecho

Q = vazão do trecho

V = velocidade média de escoamento no trecho

Re = número de Reynolds

h_f = perda de carga no trecho

QUADRO C.13- Pressões observadas e calculadas pelas equações de Hazen-Williams (HW) e Darcy-Weisbach (DW) e características hidráulicas da linha 7, lado direito, pertencentes à unidade operacional II.

	Observadas	Pressão HW	DW	D	L	Q	V	Re	h_f	HW	
micro		KPa	trecho	mm	m	l/h	m/s		KPa		
1	301,03	301,03	301,03	1	16,07	6,00	416,92	0,57	9149,71	2,00	1,99
2	298,95	298,99	299,01	2	16,07	5,50	347,98	0,48	7636,89	1,34	1,33
3		297,31	297,34	3	16,07	5,80	278,31	0,38	6107,76	0,95	0,94
4		294,96	294,99	4	16,07	5,50	211,15	0,29	4634,00	0,56	0,55
5	294,95	294,24	294,28	5	16,07	4,44	139,15	0,19	3053,88	0,22	0,21
6		294,93	294,97	6	16,07	6,55	72,00	0,10	1580,12	0,10	0,10
7	292,95 ¹	295,58	295,62								

¹ = Trecho com emenda

D = Diâmetro médio do conduto ASBRASIL

L = Comprimento do trecho

Q = vazão do trecho

V = velocidade média de escoamento no trecho

Re = número de Reynolds

h_f = perda de carga no trecho

QUADRO C.14 - Pressões observadas e calculadas pelas equações de Hazen-Williams (HW) e Darcy-Weisbach (DW) e características hidráulicas da linha 7, lado esquerdo, pertencentes à unidade operacional II.

micro	Observadas	Pressão	DW	D	L	Q	V	Re	h _f		
		HW							DW	HW	
		KPa	trecho	mm	m	l/h	m/s		KPa		
1	301,03	301,03	301,03	1	16,07	5,70	636,88	0,87	13976,98	4,02	3,99
2		299,05	299,08	2	16,07	5,60	569,73	0,78	12503,27	3,24	3,23
3		295,93	295,97	3	16,07	5,50	489,72	0,67	10747,53	2,44	2,43
4	294,96	293,06	293,12	4	16,07	5,70	417,72	0,57	9167,40	1,91	1,90
5		291,90	291,97	5	16,07	6,00	352,27	0,48	7730,93	1,49	1,48
6		290,17	290,25	6	16,07	5,15	276,04	0,38	6057,97	0,84	0,83
7	292,01	290,17	290,26	7	16,07	6,20	203,22	0,28	4460,00	0,58	0,58
8		289,59	289,68	8	16,07	5,15	135,72	0,18	2978,64	0,24	0,24
9		289,28	289,38	9	16,07	7,00	68,57	0,09	1504,83	0,10	0,10
10	289,98	288,35	288,45								

D = Diâmetro médio do conduto ASBRASIL

L = Comprimento do trecho

Q = vazão do trecho

V = velocidade média de escoamento no trecho

Re = número de Reynolds

h_f = perda de carga no trecho

QUADRO C.15- Pressões observadas e calculadas pelas equações de Hazen-Williams (HW) e Darcy-Weisbach (DW) e características hidráulicas da linha 8, lado direito, pertencentes à unidade operacional II.

	Observadas	Pressão HW	DW	D	L	Q	V	Re	h_f	HW	
micro		KPa	trecho	mm	m	l/h	m/s		KPa		
1	319,96	319,96	319,96	1	16,07	4,30	539,60	0,74	11842,17	2,28	2,27
2	317,99	317,68	317,67	2	16,07	5,80	465,97	0,64	10226,23	2,36	2,34
3	316,00	314,44	314,41	3	16,07	5,90	387,89	0,53	8512,74	1,74	1,72
4	314,99	312,27	312,22	4	16,07	5,60	312,54	0,43	6859,03	1,13	1,12
5	312,01	310,25	310,20	5	16,07	5,55	243,61	0,33	5346,23	0,72	0,72
6	308,31	309,20	309,14	6	16,07	4,20	150,36	0,21	3299,89	0,24	0,23
7	308,31	309,30	309,24	7	16,07	3,05	77,14	0,11	1692,99	0,05	0,05
8	307,95	309,15	309,08								

D = Diâmetro médio do conduto ASBRASIL

L = Comprimento do trecho

Q = vazão do trecho

V = velocidade média de escoamento no trecho

Re = número de Reynolds

h_f = perda de carga no trecho

QUADRO C.16 - Pressões observadas e calculadas pelas equações de Hazen-Williams (HW) e Darcy-Weisbach (DW) e características hidráulicas da linha 8, lado esquerdo, pertencentes à unidade operacional II.

	Observadas	Pressão		D	L	Q	V	Re	h_f		
		HW	DW						DW	HW	
micro		KPa	trecho	mm	m	l/h	m/s		KPa		
1	322,06	322,06	322,06	1	16,07	5,90	589,52	0,81	12937,74	3,62	3,60
2	318,02	318,50	318,48	2	16,07	5,60	518,32	0,71	11375,07	2,75	2,73
3	317,05	315,41	315,38	3	16,07	5,65	447,11	0,61	9812,40	2,14	2,12
4	315,05	314,09	314,04	4	16,07	5,95	373,48	0,51	8196,46	1,64	1,62
5	316,01	313,17	313,10	5	16,07	5,30	297,69	0,41	6533,18	0,98	0,97
6	314,00	313,39	313,32	6	16,07	6,00	233,85	0,32	5132,16	0,72	0,72
7	315,02	312,27	312,19	7	16,07	5,25	151,83	0,21	3332,13	0,30	0,29
8	310,01	310,88	310,80	8	16,07	6,10	72,81	0,10	1597,96	0,09	0,09
9	306,96	310,64	310,55								

D = Diâmetro médio do conduto ASBRASIL

L = Comprimento do trecho

Q = vazão do trecho

V = velocidade média de escoamento no trecho

Re = número de Reynolds

h_f = perda de carga no trecho

QUADRO C.17- Pressões observadas e calculadas pelas equações de Hazen-Williams (HW) e Darcy-Weisbach (DW) e características hidráulicas da linha 9, lado direito, pertencentes à unidade operacional II.

	Observadas	Pressão HW	DW	D	L	Q	V	Re	DW	h _f	HW
micro		KPa	trecho	mm	m	l/h	m/s			KPa	
1	362,10	362,10	362,10	1	16,07	4,60	433,95	0,59	9524,37	1,66	1,65
2		360,76	360,77	2	16,07	5,34	354,47	0,48	7779,35	1,34	1,33
3	357,71	357,84	357,86	3	16,07	5,70	276,40	0,38	6065,87	0,93	0,92
4		356,34	356,37	4	16,07	5,90	208,55	0,28	4576,82	0,58	0,58
5	361,98	355,18	355,22	5	16,07	5,45	134,92	0,18	2960,88	0,25	0,25
6		354,83	354,87	6	16,07	4,45	64,48	0,09	1415,03	0,06	0,06
7	360,02	356,31	356,35								

D = Diâmetro médio do conduto ASBRASIL

L = Comprimento do trecho

Q = vazão do trecho

V = velocidade média de escoamento no trecho

Re = número de Reynolds

h_f = perda de carga no trecho

QUADRO C.18- Pressões observadas e calculadas pelas equações de Hazen-Williams (HW) e Darcy-Weisbach (DW) e características hidráulicas da linha 9, lado esquerdo, pertencentes à unidade operacional II.

	Observadas	Pressão HW	DW	D	L	Q	V	Re	DW	h_f	HW
micro		KPa	trecho	mm	m	l/h	m/s			KPa	
1	358,25	358,25	358,25	1	16,07	5,65	215,62	0,30	4732,12	0,59	0,59
2	356,61 ¹	358,16	358,16	2	16,07	5,40	159,03	0,22	3490,05	0,33	0,33
3	360,03	358,83	358,84	3	16,07	5,30	79,51	0,11	1745,02	0,10	0,10
4	360,00	358,93	358,94								

¹ = Trecho com emenda

D = Diâmetro médio do conduto ASBRASIL

L = Comprimento do trecho

Q = vazão do trecho

V = velocidade média de escoamento no trecho

Re = número de Reynolds

h_f = perda de carga no trecho

QUADRO C.19- Pressões observadas e calculadas pelas equações de Hazen-Williams (HW) e Darcy-Weisbach (DW) e características hidráulicas da linha 10, lado direito, pertencentes à unidade operacional II.

micro	Observadas	Pressão HW	DW	D	L	Q	V	Re	h _f	HW	
		KPa	trecho	mm	m	l/h	m/s		KPa		
1	328,06	328,06	328,06	1	16,07	4,45	417,66	0,57	9166,10	1,50	1,49
2		324,49	324,50	2	16,07	5,40	349,45	0,47	7669,07	1,33	1,32
3		323,51	323,53	3	16,07	5,70	276,23	0,38	6062,17	0,92	0,92
4		321,88	321,91	4	16,07	5,60	206,55	0,28	4533,02	0,55	0,54
5		321,23	321,26	5	16,07	5,20	129,41	0,18	2840,03	0,22	0,22
6		321,51	321,34	6	16,07	4,75	62,61	0,08	1374,02	0,06	0,06
7	322,97	321,75	321,79								

D = Diâmetro médio do conduto ASBRASIL

L = Comprimento do trecho

Q = vazão do trecho

V = velocidade média de escoamento no trecho

Re = número de Reynolds

h_f = perda de carga no trecho

QUADRO C.20- Pressões observadas e calculadas pelas equações de Hazen-Williams (HW) e Darcy-Weisbach (DW) e características hidráulicas da linha 10, lado esquerdo, pertencentes à unidade operacional II.

	Observadas	Pressão HW	DW		D	L	Q	V	Re	DW	h_f HW
micro		KPa		trecho	mm	m	l/h	m/s			KPa
1	328,95	328,95	328,95	1	16,07	5,45	134,82	0,18	2958,73	0,25	0,25
2		328,80	328,80	2	16,07	4,96	64,77	0,09	1421,40	0,06	0,06
3	326,02	329,29	329,29								

D = Diâmetro médio do conduto ASBRASIL

L = Comprimento do trecho

Q = vazão do trecho

V = velocidade média de escoamento no trecho

Re = número de Reynolds

h_f = perda de carga no trecho

QUADRO C.21- Pressões observadas e calculadas pelas equações de Hazen-Williams (HW) e Darcy-Weisbach (DW) e características hidráulicas da linha 11, lado direito, pertencentes à unidade operacional II.

	Observadas	Pressão HW	DW		D	L	Q	V	Re	DW	h_f	HW
micro		KPa		trecho	mm	m	l/h	m/s			KPa	
1	330,72	330,72	330,72	1	16,07	3,90	453,38	0,62	9949,91	1,53		1,52
2		329,39	329,40	2	16,07	5,35	323,03	0,52	8384,14	1,54		1,52
3	330,00	326,65	326,68	3	16,07	5,70	303,96	0,42	6670,66	0,09		1,08
4		325,32	325,35	4	16,07	5,60	230,32	0,32	5054,72	0,66		0,65
5	326,98	323,77	323,81	5	16,07	5,40	151,06	0,21	3315,14	0,30		0,30
6		323,97	324,01	6	16,07	4,40	77,84	0,11	1708,24	0,08		0,08
7	325,05	323,81	323,85									

D = Diâmetro médio do conduto ASBRASIL

L = Comprimento do trecho

Q = vazão do trecho

V = velocidade média de escoamento no trecho

Re = número de Reynolds

h_f = perda de carga no trecho

QUADRO C.22- Pressões observadas e calculadas pelas equações de Hazen-Williams (HW) e Darcy-Weisbach (DW) e características hidráulicas da linha 12, lado direito, pertencentes à unidade operacional II.

micro	Observadas	Pressão		D	L	Q	V	Re	h _f		
		HW	DW						DW	HW	
		KPa	trecho	mm	m	l/h	m/s		KPa		
1	350,06	350,06	350,06	1	16,07	3,20	407,01	0,56	8932,34	1,05	1,04
2		348,13	348,14	2	16,07	5,10	344,40	0,47	7558,33	1,22	1,21
3		346,24	346,26	3	16,07	5,30	273,12	0,37	5993,90	0,84	0,84
4		345,51	645,45	4	16,07	5,50	211,77	0,29	4647,62	0,56	0,55
5		344,73	344,76	5	16,07	5,80	143,92	0,20	3158,59	0,30	0,29
6		344,28	344,31	6	16,07	3,75	68,57	0,09	1504,88	0,05	0,05
7	342,05	344,22	344,26								

D = Diâmetro médio do conduto ASBRASIL

L = Comprimento do trecho

Q = vazão do trecho

V = velocidade média de escoamento no trecho

Re = número de Reynolds

h_f = perda de carga no trecho

QUADRO C.23- Pressões observadas e calculadas pelas equações de Hazen-Williams (HW) e Darcy-Weisbach (DW) e características hidráulicas da linha 13, lado direito, pertencentes à unidade operacional II.

	Observadas	Pressão		D	L	Q	V	Re	h_f		
		HW	DW						DW	HW	
micro		KPa	trecho	mm	m	l/h	m/s		KPa		
1	434,95	434,95	434,95	1	16,07	3,75	528,01	0,72	11587,86	1,93	1,91
2	429,94 ¹	432,90	432,88	2	16,07	5,40	455,20	0,62	9989,89	2,11	2,10
3	427,00 ¹	430,71	430,68	3	16,07	5,50	380,29	0,52	8345,93	1,57	1,55
4	424,97 ¹	428,51	428,47	4	16,07	5,85	321,08	0,42	6848,90	1,17	1,16
5	422,01 ¹	426,55	426,50	5	16,07	5,60	243,51	0,33	5344,02	0,73	0,72
6	421,98 ¹	424,87	424,81	6	16,07	4,05	138,14	0,19	3031,65	0,20	0,19
7	421,85	423,78	423,72	7	16,07	2,70	70,82	0,10	1554,21	0,04	0,04
8	421,78	423,87	423,81								

¹ = Trecho com emenda

D = Diâmetro médio do conduto ASBRASIL

L = Comprimento do trecho

Q = vazão do trecho

V = velocidade média de escoamento no trecho

Re = número de Reynolds

h_f = perda de carga no trecho