

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DE ÁGUA E FERTIRRIGAÇÃO EM UM SISTEMA
MODULAR DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO**

ADILSON LUIZ BORSSOI

CASCADEL - PR

Outubro - 2009

ADILSON LUIZ BORSSOI

**UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DE ÁGUA E FERTIRRIGAÇÃO EM UM SISTEMA
MODULAR DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, pela UNIOESTE, *campus* de Cascavel, área de concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientador: Professor Dr. Márcio Antonio Vilas Boas

CASCADEL - PR

Outubro - 2009

Ficha catalográfica

Elaborada pela Biblioteca Central do Campus de Cascavel - Unioeste

B747u Borssoi, Adilson Luiz
Uniformidade de aplicação de água e fertirrigação em um sistema modular de irrigação por gotejamento / Adilson Luiz Borssoi — Cascavel, PR: UNIOESTE, 2009.
65 f. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Antonio Vilas Boas
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.
Bibliografia.

1. Método de Keller & Karmeli (1975). 2. Método de Deniculi et al. (1980). 3. Irrigação familiar. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

CDD 21ed. 631.7

Bibliotecária: Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362

ADILSON LUIZ BORSSOI

“Uniformidade de aplicação de água e fertirrigação em um sistema modular de irrigação por gotejamento”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação “Stricto Sensu” em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, **aprovada** pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Marcio Antonio Vilas Boas
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Prof. Dr. Jadir Aparecido Rosa
Instituto Agrônômico do Paraná, IAPAR

Prof. Dr. Benedito Martins Gomes
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Cascavel, 10 de Julho de 2009.

BIOGRAFIA

Nascido em Catanduvas - PR em 1979, filho de Adelino José Borssoi e Terezinha Scopel Borssoi.

Em 1997 formou-se Técnico em Agropecuária; em 2007 formou-se em Engenharia Agrícola pela UNIOESTE, *campus* de Cascavel – PR e neste mesmo ano ingressou no Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola da UNIOESTE onde foi bolsista pela Capes durante um ano.

É pós-graduado em Engenharia de Segurança no Trabalho pela UNIPAN de Cascavel – PR.

Atualmente é contratado pela empresa SADIA S.A. de Toledo, PR, atuando como Engenheiro Agrícola na área de sustentabilidade, coordenando o Programa Suinocultura Sustentável Sadia – 3S.

DEDICATÓRIA

À minha esposa Andréia Rita Foltran Borssoi, pelo amor, companheirismo, apoio, dedicação, compreensão, confiança, e pelas muitas alegrias que vivemos e viveremos juntos, especialmente por nossa filha que em breve estará conosco, tornando-nos uma família completa.

Com muito carinho, dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por me iluminar nos momentos de dificuldade.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcio Antonio Vilas Boas, pela oportunidade de trabalharmos juntos, pelos ensinamentos e exemplo de profissionalismo.

A todos os professores e colegas do curso de mestrado, pelo convívio, amizade e companheirismo demonstrados durante este período.

Aos amigos Ricardo Hernández Hernández, Marcelo Reisdörfer, José Robson Nogueira Leite, Franciele Caovilla Follador e Leonardo Guillermo Felipe do grupo de pesquisas, pelo companheirismo e o apoio que proporcionaram esta Dissertação

À UNIOESTE, por proporcionar meu aperfeiçoamento profissional.

À CAPES, pelo apoio financeiro, concedendo uma bolsa de estudos.

À Sadia S.A., empresa a qual estou ligado atualmente, por proporcionar o tempo necessário para conclusão deste trabalho,

Aos meus pais Adelino J. Borssoi e Terezinha S. Borssoi e aos meus irmãos Adriana, Tatiani, Joelmir e Marinho Borssoi, pelo incentivo e por compartilharem comigo a realização de mais um sonho. Família – algo que devemos nos orgulhar, base do nosso caráter e de toda uma vida.

E a todos que não foram citados, mas que de alguma forma contribuíram com a realização deste trabalho.

A todos, o meu muito obrigado!!!

UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DE ÁGUA E FERTIRRIGAÇÃO EM UM SISTEMA MODULAR DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO

RESUMO: A irrigação localizada por gravidade é uma técnica aplicada à agricultura familiar que está se difundindo no Brasil e é usada em programas sociais de alguns Estados ou comercializada diretamente aos produtores. Trata-se de conjuntos de irrigação que apresentam manejo simplificado e de baixo custo, os quais potencializam a produção agrícola, aumentam as perspectivas da vida no campo e, por conseguinte, fixam o pequeno produtor em sua propriedade. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e o coeficiente de variação (CV), comparar duas metodologias para avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento e determinar a melhor altura para instalação do reservatório que irá fornecer a pressão para o funcionamento do conjunto de irrigação por gravidade. O estudo foi implantado no Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola da UNIOESTE em Cascavel, Paraná. Foi avaliado um conjunto de irrigação para a agricultura familiar da marca NetafimTM, o qual é constituído de tubo gotejador tipo “micro drip” de $1,7 \text{ Lh}^{-1}$, filtro de tela, conectores de 12 mm e linha de derivação de polietileno de diâmetro de 20 mm. Foram realizados dois experimentos (irrigação e fertirrigação), submetidos a quatro pressões (1,2, 1,4, 1,6 e 1,8 mca) em um delineamento inteiramente casualizado, seguindo duas metodologias para coleta de vazões: a proposta por Keller & Karmeli (1975), e por Deniculi *et al.* (1980), com 16 e 32 gotejadores avaliados respectivamente. Foram feitas 20 coletas de vazões com três repetições no decorrer de 110 dias. Para o experimento de fertirrigação, o fertilizante foi diluído diretamente em um reservatório de 200 L, que abastecia outro recipiente de 30 L, adaptado para o controle da pressurização em função da altura do mesmo. A adubação foi simulada para a cultura do feijão utilizando Uréia, cloreto de potássio (KCl) e fosfato monoamônico (MAP). Os dados foram estatisticamente processados comparando-se entre os tratamentos e cada metodologia, classificando ainda o conjunto de irrigação pelas normas da ASAE. Para fertirrigação a melhor pressão foi de 1,6 mca e classificou-se como “excelente” para CUD (91,03%) e “marginal” para CV (7,47%). Para o tratamento irrigação, a melhor pressão foi de 1,6 mca e classificou-se como “excelente” para CUD (91,2%) e “marginal” para CV (7,68%). A metodologia de Deniculi *et al.* (1980) mostrou-se mais confiável para a avaliação de sistemas de gotejamento, por avaliar um número maior de emissores. Os tratamentos de fertirrigação não sofreram perda de uniformidade de distribuição e podem ser adotados para tal conjunto.

Palavras-chave: Irrigação Familiar, Método de Keller & Karmeli (1975); Método de Deniculi *et al.* (1980).

UNIFORMITY OF APPLICATION WITH WATER AND FERTIRRIGATION IN A MODULAR SYSTEM BY DRIPPING

Abstract: Irrigation by gravity is a technique applied to familiar farming that has been spread in Brazil. It is put into practice in social programs of some States or sold directly to producers. These sets of irrigation management have simplified and low costs, which improve the agricultural production, raise prospective life in countryside and therefore settle the small producer down on his farm. Based on this, the present study evaluated the coefficient of distribution uniformity (CDU) and coefficient of variation (CV), compared two methodologies to evaluate drip irrigation systems and determined the best height to set a tank that will provide pressure for the correct operation of all irrigation by gravity. The study was carried out at the Experimental Center of Agricultural Engineering of UNIOESTE, in Cascavel, Paraná. A set of irrigation, Netafim™, was evaluated for familiar farming. It consists of a 1.7 Lh⁻¹ drip tube as micro drip, screen filter, 12 mm connectors and a 20 mm diameter derivation line of polyethylene. Two experiments were carried out (irrigation and fertirrigation) and put under four pressures (1.2, 1.4, 1.6 and 1.8 mca) in a completely randomized design, according to two methodologies for flow collection: one proposed by Keller & Karmeli (1975) and the other by Deniculi *et al.* (1980), with 16 and 32 drippers that were evaluated respectively. Twenty flow collections were done with three replications, during 110 days. In the experiment fertirrigation, the first one was diluted directly into a 200 L tank, which supplied another 30 L container, adapted to control the pressurization according to its height. Fertilization was simulated for bean crop using urea, potassium chloride (KCl) and mono-ammonium phosphate (MAP). Data were statistically processed by comparison among treatments and each methodology, while the irrigation set was classified by the pattern by ASAE. For fertirrigation, the best pressure was 1.6 mca, classified as 'excellent' for CDU (91.03%) and 'marginal' for CV (7.47%). For the irrigation treatment, the best pressure was 1.6 mca, classified as 'excellent' for CDU (91.2%) and 'marginal' for CV (7.68%). Deniculi *et al.* (1980) methodology was more reliable for the evaluation of drip systems, since it evaluates a larger number of drippers. Treatments based on fertirrigation did not suffer any loss of distribution uniformity and can be adopted for such set.

Keywords: Familiar irrigation, Method of Keller & Karmeli (1975), Method of Deniculi *et al.* (1980).

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	XI
LISTA DE FIGURAS.....	XIII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XV
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1 A DISPONIBILIDADE DE ÁGUA E A IRRIGAÇÃO.....	2
2.2 AGRICULTURA FAMILIAR.....	3
2.3 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO.....	4
2.4 SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO DE BAIXO CUSTO.....	5
2.5 UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA.....	6
2.5.1 PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO.....	7
2.6 A FERTIRRIGAÇÃO.....	10
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	11
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO CONJUNTO DE IRRIGAÇÃO UTILIZADO.....	11
3.3 MONTAGEM DO EXPERIMENTO.....	11
3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	14
3.4.1 METODOLOGIA DE KELLER E KARMELI (1975).....	15
3.4.2 METODOLOGIA DE DENÍCULI <i>ET AL.</i> (1980).....	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
4.1 EXPERIMENTO IRRIGAÇÃO.....	19
4.1.1 CUD DA IRRIGAÇÃO SEGUNDO A METODOLOGIA DE KELLER E KARMELI (1975).....	19
4.1.2 CV DA IRRIGAÇÃO PELA METODOLOGIA DE KELLER E KARMELI (1975).....	21
4.1.3 CUD DA IRRIGAÇÃO PELA METODOLOGIA DE DENÍCULI <i>ET AL.</i> (1980).....	22
4.1.4 CV DA IRRIGAÇÃO PELA METODOLOGIA DE DENÍCULI <i>ET AL.</i> (1980).....	24
4.1.5 TESTE DE HIPÓTESES ENTRE AS METODOLOGIAS DE KELLER E KARMELI (1975) E DENÍCULI <i>ET AL.</i> (1980) PARA IRRIGAÇÃO.....	25
4.2 EXPERIMENTO FERTIRRIGAÇÃO.....	27
4.2.1 CUD DA FERTIRRIGAÇÃO SEGUNDO METODOLOGIA DE KELLER E KARMELI (1975).....	28
4.2.2 CV DA FERTIRRIGAÇÃO PELA METODOLOGIA DE KELLER E KARMELI (1975).....	29
4.2.3 CUD DA FERTIRRIGAÇÃO SEGUNDO A METODOLOGIA DE DENÍCULI <i>ET AL.</i> (1980).....	30
4.2.4 CV DA FERTIRRIGAÇÃO PARA DENÍCULI <i>ET AL.</i> (1980).....	32
4.2.5 TESTES DE HIPÓTESE ENTRE AS METODOLOGIAS DE KELLER E KARMELI (1975) E DENÍCULI <i>ET AL.</i> (1980) PARA FERTIRRIGAÇÃO.....	33

4.3	TESTE DE HIPÓTESE ENTRE OS EXPERIMENTOS IRRIGAÇÃO E FERTIRRIGAÇÃO.....	35
5	CONCLUSÕES.....	39
	REFERÊNCIAS	40
	APÊNDICES.....	43
	APÊNDICE A - TABELAS COM VALORES DE VAZÃO, CUD E CV	44
	APÊNDICE B - GRÁFICOS DAS ANÁLISES DOS RESÍDUOS PARA KELLER E KARMELI (1975) E DENÍCULI <i>ET AL.</i> (1980) COM IRRIGAÇÃO E FERTIRRIGAÇÃO	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Distribuição da área irrigada no Brasil (ha), de acordo com o sistema de irrigação utilizado	2
Tabela 2 -	Critérios para classificação de CUD, segundo ASAE (1996).....	8
Tabela 3 -	Critérios para classificação do CV, segundo ASAE (1994).....	9
Tabela 4 -	Quantidades de fertilizante na forma sólida necessários para o feijão	14
Tabela 5 -	Metodologias dos experimentos para avaliação dos sistemas de irrigação...	17
Tabela 6 -	Análise de variância do CUD para os tratamentos K1i, K2i, K3i e K4i.....	20
Tabela 7 -	Valores médios de CUD (%) pela metodologia de Keller e Karmeli (1975), no experimento irrigação e teste de Tukey para as médias das 20 repetições...	21
Tabela 8 -	Análise de variância do CV para os tratamentos K1i, K2i, K3i e K4i.....	22
Tabela 9 -	Valores médios (%) das 20 repetições para CV no experimento de irrigação para a metodologia de Keller e Karmell (1975) e os resultados do teste de Tukey.....	22
Tabela 10 -	Análise de variância para CUD nos tratamentos D1i, D2i, D3i e D4i	23
Tabela 11 -	Valores médios de CUD (%) pela metodologia de Denículi <i>et al.</i> (1980) no experimento irrigação e teste de Tukey para as das 20 repetições.....	23
Tabela 12 -	Análise de variância para o coeficiente de variação (CV) para os tratamentos D1i, D2i, D3i e D4i.....	24
Tabela 13 -	Valores médios (%) das 20 repetições para CV no experimento de irrigação para a metodologia de Denículi <i>et al.</i> (1980) e os resultados do teste de Tukey.....	25
Tabela 14 -	Valores descritivos e p-valor para a comparação do CUD entre Keller e Karmell (1975) e Denículi <i>et al.</i> (1980) para irrigação	25
Tabela 15 -	Valores descritivos e p-valor para a comparação do CV entre Keller e Karmeli (1975) e Denículi <i>et al.</i> (1980) para irrigação	26
Tabela 16 -	Análise de variância do CUD para os tratamentos K1f, K2f, K3f e K4f	28
Tabela 17 -	Valores médios de CUD (%) pela metodologia de Keller e Karmeli (1975) no experimento fertirrigação e teste de Tukey para as das 20 repetições.....	29
Tabela 18 -	Análise de variância do CV para os tratamentos K1f, K2f, K3f e K4f.....	30

Tabela 19 - Valores médios (%) das 20 repetições para CV no experimento de fertirrigação para a metodologia de Keller e Karmell (1975) e os resultados do teste de Tukey	30
Tabela 20 - Análise de variância para o CUD nos tratamentos D1f, D2f, D3f e D4f	31
Tabela 21 - Valores médios das 20 repetições para CUD no experimento de fertirrigação, com os indicadores estatísticos de semelhança ao nível de 5%, pela metodologia de Denículi <i>et al.</i> (1980).....	31
Tabela 22 - Análise de variância do CV para os tratamentos D1f, D2f, D3f e D4f	32
Tabela 23 - Valores médios (%) das 20 repetições para CV no experimento de fertirrigação para a metodologia de Denículi <i>et al.</i> (1980) e os resultados do teste de Tukey	33
Tabela 24 - Valores descritivos e p-valor para a comparação do CUD entre Keller e Karmeli (1975) e Denículi <i>et al.</i> (1980) para fertirrigação	33
Tabela 25 - Valores descritivos e p-valor para a comparação do CV entre Keller e Karmeli (1975) e Denículi <i>et al.</i> (1980) para fertirrigação	34
Tabela 26 - Valores descritivos e p-valor para a comparação das vazões de irrigação e fertirrigação com as metodologias de Keller e Karmeli (1975) e Denículi <i>et al.</i> (1980).....	36
Tabela 27 - Resumo das melhores classificações entre os tratamentos	38
Tabela 28 - Valores médios obtidos no experimento fertirrigação na metodologia de Denículi <i>et al.</i> (1980) para os quatro tratamentos.....	44
Tabela 29 - Valores médios obtidos no experimento fertirrigação na metodologia de Keller e Karmeli (1975), para os quatro tratamentos	44
Tabela 30 - Valores médios obtidos no experimento irrigação na metodologia de Denículi <i>et al.</i> (1980) para os quatro tratamentos.....	45
Tabela 31 - Valores médios obtidos no experimento irrigação na metodologia de Keller e Karmeli (1975), para os quatro tratamentos	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Conjunto de irrigação utilizado na África e Ásia.	5
Figura 2 -	Montagem dos experimentos.	12
Figura 3 -	Recipiente para controle da carga hidráulica.....	12
Figura 4 -	<i>Layout</i> do sistema experimental (sem escala).....	13
Figura 5 -	Esquema das coletas de vazões.	15
Figura 6 -	Coletas realizadas na metodologia de Keller e Karmeli (1975), para irrigação e fertirrigação.	16
Figura 7 -	Coletas realizadas na metodologia de Denículi <i>et al.</i> (1980), para irrigação e fertirrigação.	16
Figura 8 -	Gráfico boxplot para CUD x pressão para os quatro tratamentos de irrigação	20
Figura 9 -	Boxplot do CV para irrigação na metodologia de Keller e Karmell (1975), para as quatro pressões.....	21
Figura 10 -	Boxplot do CUD para irrigação na metodologia de Denículi <i>et al.</i> (1980), para as quatro pressões.....	23
Figura 11 -	Boxplot do CV para Irrigação na metodologia de Denículi <i>et al.</i> (1980), para as quatro pressões.	24
Figura 12 -	Níveis de CUD e a respectiva classificação para cada tratamento, segundo norma ASAE (1996), nas metodologias de Keller e Karmell (1975) e Denículi <i>et al.</i> (1980).	26
Figura 13 -	Níveis de CV e a respectiva classificação para cada tratamento, segundo norma ASAE (1994), nas metodologias de Keller e Karmell (1975) e Denículi <i>et al.</i> (1980).	27
Figura 14 -	Boxplot do CUD para fertirrigação na metodologia de Keller e Karmell (1975) para as quatro pressões.....	28
Figura 15 -	Boxplot do CV para fertirrigação na metodologia de Keller e Karmell (1975) para as quatro pressões.....	29
Figura 16 -	Boxplot do CUD (%) para fertirrigação na metodologia de Denículi <i>et al.</i> (1980), para as quatro pressões (mca).	31

Figura 17 -	Boxplot do CV para fertirrigação na metodologia de Denículi <i>et al.</i> (1980) para as quatro pressões.....	32
Figura 18 -	Níveis de CUD e a respectiva classificação para cada tratamento, segundo norma ASAE. (1996) nas metodologias de Keller e Karmell (1975) e Denículi <i>et al.</i> (1980).....	34
Figura 19 -	Níveis de CV e a respectiva classificação para cada tratamento, nas metodologias de Keller e Karmell (1975) e Denículi <i>et al.</i> (1980).....	35
Figura 20 -	Média das vazões da irrigação e fertirrigação com 1,2 mca de carga hidráulica.	36
Figura 21 -	Média das vazões da irrigação e fertirrigação com 1,4 mca de carga hidráulica.	37
Figura 22 -	Média das vazões da irrigação e fertirrigação com 1,6 mca de carga hidráulica.	37
Figura 23 -	Média das vazões da irrigação e fertirrigação com 1,8 mca de carga hidráulica.	37
Figura 24 -	Gráficos de análise de resíduos para as metodologias de Keller e Karmeli (1975) e Denículi <i>et al.</i> (1980) com fertirrigação e irrigação	46

LISTA DE SÍMBOLOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASAE – American Society of Agricultural Engineers

IDE – *International Development Enterprises*

CUC – Coeficiente de Uniformidade de Christiansen

CUD – Coeficiente de Uniformidade de Distribuição

CV – Coeficiente de Variação

L – Litros

L h⁻¹ – Litros por hora

ml min⁻¹ – Mililitros por minuto

m – Metro

m² – Metro quadrado

mca – Metros coluna d'água

mm ca – Milímetros coluna d'água

n – Número de emissores

q_{25%} – Média de 25% dos menores valores

s – Desvio padrão

q_{med} – Vazão média

q_i – Vazão de cada emissor

KCl – Cloreto de potássio

MAP – Fosfato monoamônico

Ps – Pressão de serviço

K1i – Tratamento com pressão 1,2 mca, metodologia de Keller e Karmeli (1975) no experimento Irrigação

K2i – Tratamento com pressão 1,4 mca, metodologia de Keller e Karmeli (1975) no experimento Irrigação

K3i – Tratamento com pressão 1,6 mca, metodologia de Keller e Karmeli (1975) no experimento Irrigação

K4i – Tratamento com pressão 1,8 mca, metodologia de Keller e Karmeli (1975) no experimento Irrigação

K1f – Tratamento com pressão 1,2 mca, metodologia de Keller e Karmeli (1975) no experimento fertirrigação

K2f – Tratamento com pressão 1,4 mca, metodologia de Keller e Karmeli (1975) no experimento fertirrigação

K3f – Tratamento com pressão 1,6 mca, metodologia de Keller e Karmeli (1975) no experimento fertirrigação

K4f – Tratamento com pressão 1,8 mca, metodologia de Keller e Karmeli (1975) no experimento fertirrigação

D1i – Tratamento com pressão 1,2 mca, metodologia de Denículi *et al.* (1980) no experimento irrigação

D2i – Tratamento com pressão 1,4 mca, metodologia de Denículi *et al.* (1980) no experimento irrigação

- D3i – Tratamento com pressão 1,6 mca, metodologia de Denículi *et al.* (1980) no experimento irrigação
- D4i – Tratamento com pressão 1,8 mca, metodologia de Denículi *et al.* (1980) no experimento irrigação
- D1f – Tratamento com pressão 1,2 mca, metodologia de Denículi *et al.* (1980) no experimento fertirrigação
- D2f – Tratamento com pressão 1,4 mca, metodologia de Denículi *et al.* (1980) no experimento fertirrigação
- D3f – Tratamento com pressão 1,6 mca, metodologia de Denículi *et al.* (1980) no experimento fertirrigação
- D4f – Tratamento com pressão 1,8 mca, metodologia de Denículi *et al.* (1980) no experimento fertirrigação

1 INTRODUÇÃO

A irrigação é uma prática fundamental para garantir a alta produtividade das culturas e pode ser realizada de diversos métodos, diferenciando-se pela economia da água, eficiência de aplicação e praticidade de operação.

A irrigação localizada tem aumentado de modo contínuo em todo o mundo. No Brasil a expansão é acelerada em decorrência do aumento das áreas plantadas com frutíferas em diversas regiões, em especial no Nordeste.

A irrigação por gotejamento é um dos métodos mais utilizados para realizar a fertirrigação, o que possibilita a aplicação da quantidade necessária de fertilizante, diluído na água de irrigação, para proporcionar um crescimento ideal da cultura.

A implantação do sistema de irrigação por gotejamento é a etapa que demanda mais investimentos e o sucesso desta prática está relacionado à utilização de técnicas adequadas de manejo, que visem à racionalização do uso da água e aumentem a produtividade. Geralmente, o sistema é composto por complexos mecanismos de controle, irrigando culturas com alto valor agregado, o que viabiliza o investimento.

Para dispor desse sistema aos pequenos produtores, é necessário reduzir o custo de implantação e tornar mais simples a operação e sua manutenção. Neste sentido, algumas empresas do ramo desenvolveram conjuntos de irrigação por gotejamento com baixo custo, simplicidade de instalação e manejo. Esta tecnologia vem possibilitando a sua adoção pelo pequeno produtor, almejando aumentar a sua produtividade, contribuindo para a sua subsistência e lhe proporciona um maior rendimento econômico.

Os conjuntos de irrigação por gotejamento funcionam com baixas pressões, que são fornecidas pela força da gravidade, eliminando-se os gastos com pressurização do sistema. Desta forma, mantém-se constante o nível do reservatório, o que possibilita obter vazões mais uniformes, sendo que a variação que ocorrer ficará relacionada a fatores como: qualidade dos gotejadores, alterações de temperatura e qualidade da água.

Neste trabalho foi proposto avaliar um conjunto de irrigação familiar produzido pela NetafimTM, o qual utiliza a ação da gravidade para pressurização, determinando a altura para a instalação do reservatório que resulte numa melhor uniformidade de aplicação da água e fertirrigação, além de comparar os métodos propostos por Keller e Karmeli (1975), com 16 gotejadores e o método de Denículi *et al.* (1980) com 32 gotejadores, avaliados dentro da parcela irrigada.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A DISPONIBILIDADE DE ÁGUA E A IRRIGAÇÃO

A grande quantidade de água requerida pela irrigação, o decréscimo da sua disponibilidade e o alto custo da energia necessária à sua aplicação têm aumentado o interesse pela racionalização desse recurso, de forma a minimizar as suas perdas, (AZEVEDO *et al.*, 1999). Pelo exposto, é necessário minimizar a quantidade de água aplicada via irrigação sem comprometer a produção final, utilizando a irrigação localizada.

Segundo Christofidis (2006), a área irrigada por irrigação localizada ainda é pequena no Brasil, correspondendo a menos de 1/5 da área irrigada por superfície. A Tabela 1 mostra uma estimativa de distribuição da área irrigada pelos diferentes sistemas de irrigação.

Tabela 1 - Distribuição da área irrigada no Brasil (ha), de acordo com o sistema de irrigação utilizado

Método de irrigação	Superfície	Aspersão Convencional	Pivô Central	Localizada	Total
(hectares)	1.729.834	662.328	710.553	337.755	3.440.470

Fonte: CHRISTOFIDIS (2006).

A irrigação localizada caracteriza-se, basicamente, pela aplicação da água numa fração do volume do solo explorado pelas raízes da planta, de forma pontual ou em faixa contínua, geralmente com distribuição pressurizada, em que utiliza pequenas vazões e curtos intervalos de rega, mantendo-se níveis de umidade ideais para a cultura, (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2007).

De acordo com Bernardo, Soares e Mantovani (2005), consegue-se uma maior produtividade com a irrigação por gotejamento, pois há uma maior frequência de aplicação da água e proporciona maior eficiência no controle fitossanitário, por não molhar toda área plantada e as partes aéreas das plantas, facilitando o controle de invasoras, insetos e fungos.

Lacerda e Oliveira (2007) pesquisaram sistemas de irrigação no nordeste brasileiro e relataram que a falta de orientação técnica adequada é um grande entrave ao desenvolvimento, contribuindo também para a degradação ambiental pelo excesso ou uso inadequado de técnicas agrícolas.

2.2 AGRICULTURA FAMILIAR

De acordo com a lei nº 11.326, de 24 de junho de 2006, artigo 3º, considera-se agricultor familiar e empreendedor familiar rural aquele que pratica atividades no meio rural, atendendo, simultaneamente, aos seguintes requisitos:

I - não detenha, a qualquer título, área maior do que 4 (quatro) módulos fiscais;

II - utilize predominantemente mão-de-obra da própria família nas atividades econômicas do seu estabelecimento ou empreendimento;

III - tenha renda familiar predominantemente originada de atividades econômicas vinculadas ao próprio estabelecimento ou empreendimento;

IV - dirija seu estabelecimento ou empreendimento com sua família.

A agricultura familiar no Brasil é responsável por mais de 40% do valor bruto da produção agropecuária e suas cadeias produtivas correspondem a 10% de todo o PIB do país. Essa modalidade econômica reúne 4,2 milhões de estabelecimentos familiares, representa 84% dos estabelecimentos rurais e emprega 70% da mão-de-obra do campo. Além disso, é responsável pela maioria dos alimentos na mesa dos brasileiros: 84% da mandioca, 67% do feijão, 58% dos suínos, 54% da bovinocultura do leite, 49% do milho, 40% das aves e ovos, 32% da soja, entre outros, (BRASIL, 2009).

No Brasil, a ausência de tecnologia para o agricultor familiar é uma barreira que dificulta sua sobrevivência no meio rural. Mesmo os agricultores familiares economicamente ativos, enfrentam a restrição do tamanho de suas propriedades, (SILVA, 2006).

Para Nascimento (2006), devem-se desenvolver alternativas para difundir a irrigação para agricultura familiar, proporcionando o aumento da produção e a diminuição do êxodo rural. Postel *et al.* (2000) acrescentam que em várias regiões do mundo, a maioria das pessoas que sofrem pela falta de alimentos vivem no campo, e uma das saídas para a redução da fome nessas comunidades seria o acesso a técnicas alternativas de irrigação, compatíveis com a realidade do pequeno produtor.

Disponibilizando esta tecnologia, os agricultores familiares estarão aptos a intensificar a sua produção de alimentos para consumo próprio e, ainda, melhorar a qualidade dos produtos gerados, agregando valor para venda, (SILVA, 2006).

2.3 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO

Sistemas de irrigação localizada são aqueles em que a água é aplicada diretamente na região radicular da planta, em pequenas intensidades e alta frequência, podendo ser por microaspersão ou gotejamento. O sistema de irrigação por gotejamento caracteriza-se pela presença de emissores, através dos quais a água escoar, após dissipar a pressão ao longo da rede de condutos, (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2007). Segundo os autores, o sistema apresenta as seguintes vantagens e desvantagens em relação a outros métodos de irrigação:

- Vantagens: possibilita o controle rigoroso da quantidade de água aplicada às culturas; menor mão-de-obra no manejo do sistema; redução da incidência de pragas e doenças e do desenvolvimento de plantas daninhas; permite a quimigação e a otimização do uso de fertilizantes; possibilita o cultivo em áreas com afloramentos rochosos ou com declividades acentuadas; possibilita grande economia de água e energia; e em geral, excelente uniformidade de aplicação de água.

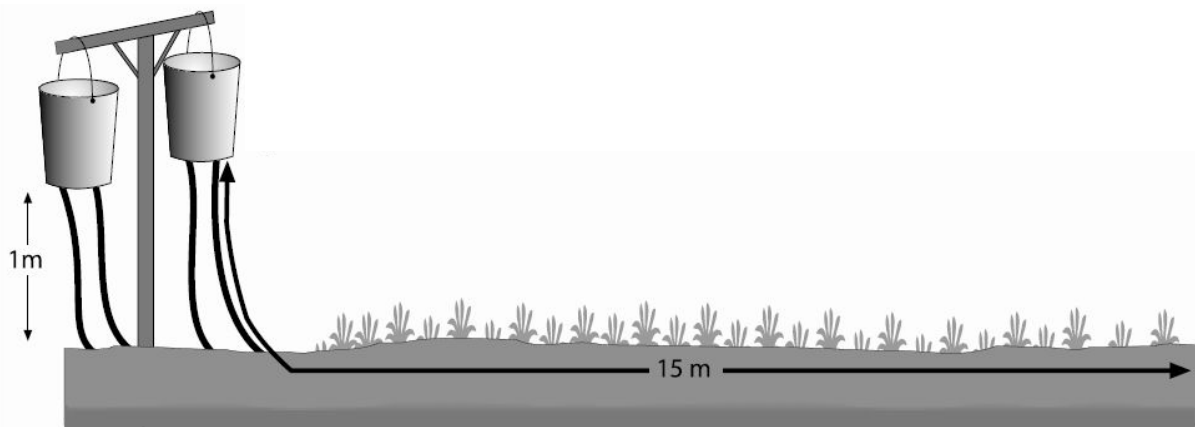
- Desvantagens: alto custo inicial; elevado potencial de entupimento dos emissores; necessidade de sistema de filtragem; inviável em águas com altos níveis de ferro e carbonato; manutenção com maior frequência.

O gotejador é a peça principal da irrigação por gotejamento, possui uma estrutura mecânica idealizada para dissipar a pressão disponível na linha lateral. Avelino Neto (2000) define os gotejadores como peças pequenas, que podem ou não possuir parte móvel, inseridos na linha lateral a intervalos pré-determinados ou de acordo com o espaçamento entre plantas.

Para Bernardo, Soares e Mantovani (2005), em geral, a vazão dos emissores está entre 1 e 10 Lh⁻¹ e trabalham sob pressões de 5, 10 até 30 mca. Também existem modelos com tecnologias que trabalham com vazão constante, mesmo sofrendo variações de pressão, definidos como autocompensantes. Os modelos autolimpantes são gotejadores com um mecanismo projetado para expelir partículas que possam causar o entupimento, pois o incremento da pressão diferencial provoca o aumento momentâneo do corte transversal da saída de água para expulsar a sujeira do sistema, (SOUZA; CORDEIRO; COSTA, 2006).

2.4 SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO DE BAIXO CUSTO

Mackay (2008) e Souza, Andrade e Silva (2005) citam que, em países pobres da Ásia e África, estão sendo utilizados pequenos conjuntos de irrigação, compostos por recipientes instalados a um metro de altura e linhas laterais com microtubos alimentados por gravidade como mostra a Figura 1. Esta técnica é uma alternativa econômica que promove o desenvolvimento autosustentável de pequenos agricultores que possuem escassos recursos hídricos. Ngigi, Waweru e Blank (2008) relatam que os conjuntos de irrigação têm como vantagens flexibilidade e simplicidade, em comparação aos sistemas convencionais. Além disso, podem ser instalados pelo produtor, pois não há necessidade de mão-de-obra especializada para montagem ou operação.



Fonte: IDE – Índia (2003)

Figura 1 - Conjunto de irrigação utilizado na África e Ásia.

No México, segundo Nascimento (2006), 40% da produção agrícola é fornecida pelos pequenos produtores. Lá existem programas para desenvolvimento da irrigação em pequenas propriedades rurais e vários projetos implantados para viabilizar o uso de sistemas de irrigação por gravidade.

Uma técnica simplificada de baixo custo para irrigação por gotejamento foi denominada de sistema *Gilead Drip Furrow Irrigation System* - GIDF. Apresentada por Gilead (1996) têm como objetivo diminuir os custos de instalação, manutenção e propiciar o uso de sistema de irrigação por gotejamento por agricultores de pequeno porte de países em desenvolvimento. Com este sistema, os agricultores não precisariam saber trabalhar com reguladores de pressão, válvulas hidráulicas e elétricas, filtros autolimpantes ou bombas injetoras de fertilizantes, como também não precisariam aprender como programar e operar a irrigação por computadores. O GIDF seria adaptável para qualquer agricultor

instruído ou não, pois, para sua operação são necessários apenas energia para ativar o sistema de irrigação, torre para elevar o reservatório, cabeçal de controle, filtro e injetor de fertilizantes, tubos de distribuição e tubos de emissão como linhas laterais.

Outro sistema de baixo custo para irrigação por gotejamento foi proposto pelo instituto *International Development Enterprises* - IDE, no Nepal no ano de 1997, desenvolvido para pequenos agricultores, utilizando linhas laterais móveis que irriga 10 fileiras de plantas, com emissores confeccionados na tubulação de polietileno, utilizando um furador com diâmetro de 0,70 mm, e um suporte instalado externamente ao orifício de 6 cm, o qual possui uma fenda horizontal para evitar que o mesmo funcione como um aspersor. O reservatório de água tem capacidade para 20 litros, elevado a uma altura de 2 m acima da área cultivada. Na entrada do reservatório é instalado um tecido de nylon, o qual funciona como um filtro por onde a água passa antes de irrigar a cultura, (AVELINO NETO, 2000). As mudanças realizadas reduzem o custo do sistema em 90% por hectare, quando comparado ao sistema tradicional. Nos locais em que o sistema já foi implantado, tem funcionado satisfatoriamente, tornando-se uma opção de utilização da técnica de irrigação por gotejamento para os agricultores de menor porte. Estudos apontaram uniformidade de vazão variando de 73% a 84%. Os agricultores observaram uma redução pela metade da necessidade de trabalho, conseguindo duplicar a área irrigada com o mesmo volume de água.

Os sistemas GIDF e IDE possuem um bom potencial para a redução dos custos de implantação do sistema de irrigação por gotejamento, pois, utilizando sistemas de distribuição de água por gravidade economizam mão-de-obra, permitem a utilização de pequenos mananciais de água e são de fácil operação para o agricultor. (AVELINO NETO, 2000).

Outro sistema disponível para pequenos agricultores foi desenvolvido por Keller *et al.* (2001), em que a água é aplicada através de orifícios perfurados manualmente, com diâmetro de 0,8 mm, espaçados de 0,6 m ao longo das laterais. Este conjunto de irrigação teve como meta irrigar pequenos lotes nas montanhas do Nepal. O sistema de irrigação proposto é constituído de 4 linhas laterais com diâmetro de 14 mm em PVC rígido, com 12 metros de comprimento irrigando uma área de 100 m².

2.5 UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

A uniformidade de distribuição da água e a eficiência de aplicação são os principais parâmetros para determinar a qualidade da irrigação por gotejamento e são decisivos para o planejamento e operação do sistema, (BERNARDO, 2002).

Para Kang e Wan (2005), o sistema de irrigação por gotejamento, em geral, apresenta bons valores de uniformidade de aplicação de água, minimiza as flutuações do potencial de água no solo, permitindo que culturas como o rabanete se desenvolvam em condições ótimas de produtividade e qualidade.

Segundo Gil *et al.* (2008), a baixa uniformidade de distribuição de água indica que parte da área irrigada recebe mais água e adubo do que outras, resultando num desenvolvimento desuniforme das plantas. O excesso de água no solo provoca a lixiviação de nutrientes, baixa concentração de oxigênio disponível às raízes e pode aumentar a incidência de pragas e doenças, enquanto que o déficit inibe o potencial produtivo da planta e aumenta os riscos de salinização do solo.

Na irrigação localizada, a uniformidade de aplicação da água ao longo da linha lateral está relacionada à variação de vazão dos emissores, o que ocorre devido a vários fatores como: perdas de carga da tubulação e das inserções dos emissores; da qualidade do tubo e sensibilidade do emissor às variações de temperatura da água; regime de escoamento e geometria do emissor, (SOLOMON, 1985; GOMES, 1999). Por outro lado, Oliveira *et al.* (2000) realizaram estudos de laboratório com o tubo gotejador hidrorip II e concluíram que temperaturas entre 25°C e 32°C não alteram a vazão de forma significativa.

Outro fator que interfere é o entupimento dos emissores na malha hidráulica, sendo um grande desafio para a operação e a manutenção de um sistema de irrigação por gotejamento, levando muitos irrigantes ao insucesso, (GHAEMI; CHIENG, 1999). Segundo Bernardo, Soares e Mantovani (2006), as fontes causadoras de entupimento em sistemas localizados podem ser de natureza química (cálcio e ferro), física (solo e pequenos animais) e, principalmente, biológica (algas e mucilagem bacteriana).

2.5.1 PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO

Os parâmetros que permitem determinar a uniformidade de distribuição em um sistema de irrigação são de grande importância, pois podem indicar eventuais problemas que estão ocorrendo no sistema de irrigação no campo, (AVELINO NETO, 2000).

Em sistemas de irrigação por gotejamento, este parâmetro é expresso por vários coeficientes, os mais importantes são o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), (BERNARDO, 2002).

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum |q_i - q_{med}|}{n \cdot q_{med}} \right) \cdot 100 \quad \text{Eq. (1)}$$

Em que:

CUC = Coeficiente de Uniformidade de Chistiansen, (%);

q_i = Vazão de cada gotejador, ($L h^{-1}$);

q_{med} = Vazão média dos gotejadores, ($L h^{-1}$);

n = Número de gotejadores.

Para Lopez *et al.* (1992), o mais coerente é avaliar a uniformidade em função das áreas que recebem menos água, utilizando o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), criado por Kruse (1978) e também recomendado pela ABNT (1985) em sua norma 12:02.08-005.

$$CUD = 100 \frac{q_{25\%}}{q_{med}} \quad \text{Eq. (2)}$$

Em que:

CUD = Coeficiente de uniformidade de distribuição, (%);

$q_{25\%}$ = Média de 25% das menores vazões ($L h^{-1}$);

q_{med} = Médias de todas as vazões ($L h^{-1}$).

Este coeficiente é definido como a medida da distribuição da água que relaciona a quarta parte da área total que recebe menos água com a lâmina média aplicada. Segundo Rezende *et al.* (1998), caso toda a área receba no mínimo a lâmina real necessária, um baixo valor de CUD indicaria excessiva perda por percolação.

Quando este coeficiente é menor ou igual a certo valor arbitrário, a uniformidade de distribuição é considerada aceitável. Estas medidas expressam a variabilidade da lâmina de irrigação aplicada na superfície do solo. Uma forma usual de obtê-las é por medidas de dispersão, expressando-as de forma adimensional, pela comparação com o valor médio, (AVELINO NETO, 2000).

A Tabela 2 apresenta a classificação recomendada pela norma ASAE EP 458 (ASAE Standards, 1996) para os valores de coeficiente de uniformidade de distribuição.

Tabela 2 - Critérios para classificação de CUD, segundo ASAE (1996)

CUD (%)	Classificação
> 90	Excelente
75 – 90	Bom
62 – 75	Regular
50 – 62	Ruim
< 50	Inaceitável

Fonte: ASAE EP 458 (1996).

Para Merriam e Keller (1978), os fatores reduzem a uniformidade da irrigação, estão relacionados ao controle de qualidade nos processos de fabricação, falha no manejo, mudanças físicas dos componentes, envelhecimento e entupimento dos emissores.

Na irrigação localizada, os emissores possuem dimensões reduzidas, dificultando a precisão em sua fabricação e tornando-se um importante parâmetro para avaliação da irrigação. As variações nas vazões, provocadas por falhas construtivas, apresentam distribuição normal o que permite utilizar os conceitos de estatística correspondentes a essa distribuição para conclusões quantitativas. O coeficiente de variação (CV), proposto por Keller e Bliesner (1990), é avaliado utilizando-se a expressão:

$$CV = \frac{s}{q_{med}} \cdot 100 \quad \text{Eq. (3)}$$

Em que:

CV = Coeficiente de variação, (%);

s = Desvio padrão, (L h⁻¹);

q_{med} = Médias de todas as vazões, (L h⁻¹).

Pizarro Cabello (1996) explica que para classificar os gotejadores em categorias de qualidade utiliza-se o coeficiente de variação (CV). Segundo a norma ASAE EP 405.1 (1994), os emissores são classificados conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Critérios para classificação do CV, segundo ASAE (1994)

Tipo de emissor	CV (%)	Classificação
Emissores com saída pontual	< 5	Excelente
	5 a 7	Médio
	7 a 11	Marginal
	11 a 15	Deficiente
	> 15	Inaceitável

Fonte: ASAE EP 405.1 (1994)

O CV é um importante fator que influencia a uniformidade de emissão de água e, segundo Solomon (1979), os valores, em geral, ficam entre 2% e 10% ou pouco acima disso, e devem ser fornecidos pelo fabricante do emissor. Para a determinação experimental do CV e da relação vazão x pressão, a ABNT (1986) estabeleceu pela norma 12:02.08-021, que seja estudada uma amostra de no mínimo 50 unidades para gotejadores e 20 para microaspersores, obtidas aleatoriamente na linha de produção do fabricante.

2.6 A FERTIRRIGAÇÃO

A fertirrigação é o processo de aplicação de fertilizantes solúveis juntamente com a água de irrigação, complementando a adubação realizada no plantio, (SOUSA *et al.*, 2003). Com isso, o método mais eficiente para a fertirrigação é o gotejamento, por aplicar a água nas proximidades da raiz das plantas e com maior frequência, aumentando o poder de absorção dos nutrientes.

No preparo das misturas, devem ser observadas a solubilidade, a compatibilidade e a concentração dos produtos, além da necessidade nutricional das plantas. Em geral, soluções mais concentradas são mais indicadas porque reduzem o tempo para a injeção dos fertilizantes no sistema. Nessas situações, fatores como a temperatura de armazenamento das misturas deve também ser observada, pois podem alterar a estabilidade das soluções, (SILVA e MAROUELLI, 2009).

Para a fertirrigação ser eficiente deve ser tomado alguns cuidados quanto ao planejamento, caso contrário, o sistema pode trazer resultados pouco animadores, em longo prazo, como a salinização do solo e a contaminação de mananciais, (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2007).

O uso da fertirrigação amortiza de forma mais rápida o investimento, aumenta a produtividade das culturas, melhora a qualidade do produto agrícola, torna mais eficiente a recuperação dos nutrientes, minimiza perdas de nutrientes ocasionadas por lixiviação, controle da concentração de nutrientes na solução do solo, flexibilidade na escolha da época de distribuição do fertilizante, conforme a exigência de desenvolvimento da cultura, permitindo o desenvolvimento sustentável da agricultura, (PAPADOPOULOS, 1999). Para Nascimento (2006), a fertirrigação melhora as condições de desenvolvimento das culturas mais sensíveis, pois reduz as oscilações de salinidade na solução do solo.

Por outro lado, a fertirrigação apresenta inconvenientes, tal como a necessidade de pessoal mais especializado para seu manejo e o maior custo inicial, a possível reação de materiais químicos na rede de irrigação, ocasionando entupimento de emissores e a corrosão das partes metálicas do sistema que entram em contato direto com a solução de fertilizante, (LOPEZ CADAHIA, 1998).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O experimento foi implantado no Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola (NEEA), situado no Município de Cascavel, Estado do Paraná, Brasil, com coordenadas geográficas 24° 54' 0,8" de latitude Sul, 53° 32' 5,5" de longitude Oeste e altitude de 640 metros, os trabalhos de campo foram realizados no período de 1 de setembro a 20 de dezembro de 2007.

A área utilizada foi nivelada com o auxílio de um teodolito, possibilitando que os gotejadores fossem instalados com o mesmo desnível em relação ao reservatório de água.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO CONJUNTO DE IRRIGAÇÃO UTILIZADO

O conjunto de irrigação é fabricado pela empresa NetafimTM, modelo *Kif Net - Kit* de irrigação familiar, para áreas de 500 m², utilizando 24 tubos gotejadores com 16 m de comprimento, espaçados no máximo 1,30 m entre tubos e distância de 0,30 m entre emissores modelo micro-drip, com vazão nominal de 1,7 L h⁻¹. A recomendação do fabricante é para instalação do reservatório acima de 1,5 m de altura.

3.3 MONTAGEM DO EXPERIMENTO

O experimento foi montado em duas parcelas, compostas de quatro tubos gotejadores com 50 emissores, distribuídos em 15 m de comprimento com espaçamento de 0,50 m entre as linhas laterais, conforme Figura 2. Para fornecimento de água, foi montado um reservatório com capacidade de 200 L, instalado na altura de 3 m, abastecendo os dois experimentos de forma independente.

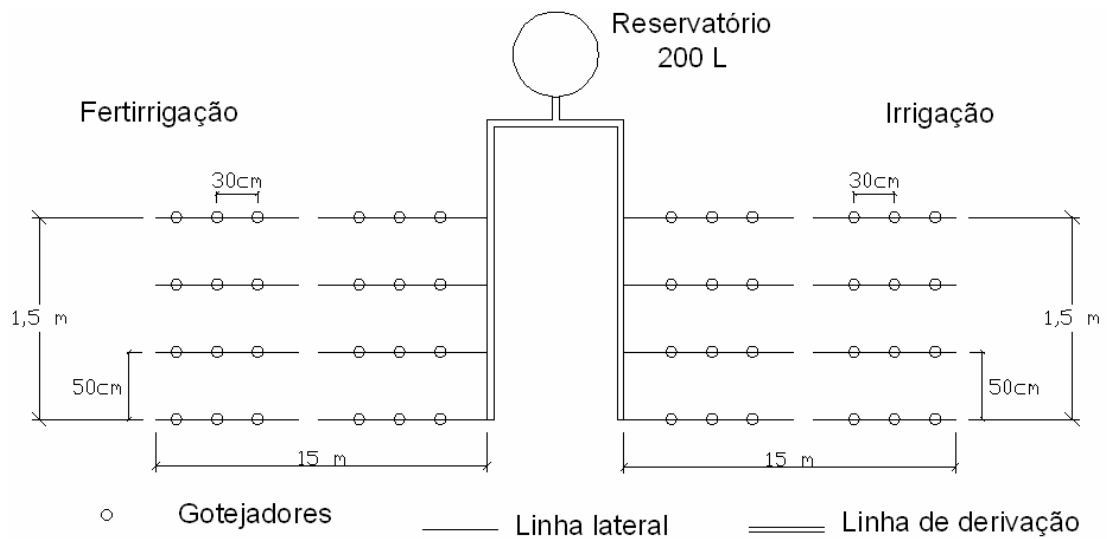


Figura 2 - Montagem dos experimentos.

Cada experimento foi submetido a quatro cargas hidráulicas: 1,20; 1,40; 1,60 e 1,80 mca e, para facilitar as avaliações em cada condição, foi desenvolvido um sistema composto por catraca e roldanas que permitia deslocar verticalmente um recipiente com capacidade para 30 L, suspenso em uma estrutura de madeira, como mostra a Figura 3.



Figura 3 - Recipiente para controle da carga hidráulica.

A Figura 4 ilustra a montagem do sistema experimental, composto pelo tambor plástico de 200 L, montado sobre uma estrutura de blocos de concreto aerado e tijolos, interligado ao recipiente de controle da pressurização e munido de válvula boia, para manutenção do nível de água, registro de esfera e filtro de tela, seguido pelas linhas de derivação em polietileno de 20 mm e tubos gotejadores. No início da linha de derivação e no final da última linha lateral foram instalados piezômetros para verificação da pressão no início e no final do sistema, para acompanhar a perda de carga e corrigir possível entrada de ar nos tubos, o que influenciaria nas leituras de vazão.

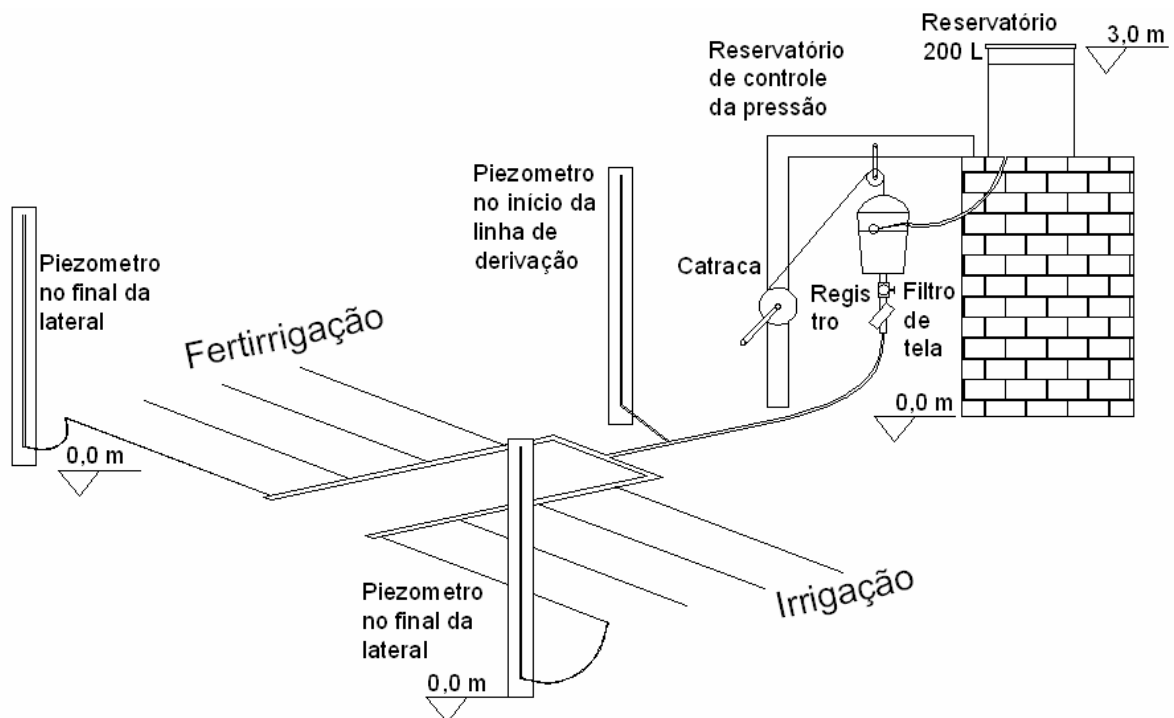


Figura 4 - Layout do sistema experimental (sem escala).

A mesma configuração atendia aos dois experimentos, com o diferencial para as avaliações da fertirrigação, neste caso, o reservatório era preenchido de água para diluição manual dos fertilizantes. Os fertilizantes eram preparados seguindo as recomendações de Ribeiro *et al.* (1999) para a cultura do feijão. A Tabela 4 mostra as quantidades necessárias de cada fertilizante, em cada fase da cultura.

Tabela 4 - Quantidades de fertilizante na forma sólida necessários para o feijão

Desenvolvimento da planta Dias após a semeadura	Ureia kg.aplicação ⁻¹	KCl kg.aplicação ⁻¹	MAP kg.aplicação ⁻¹
0 a 10	0,0310	0,0	0,0
10 a 20	0,0874	0,083	0,115
20 a 30	0,170	0,253	0,108
30 a 40	0,339	0,980	0,600
40 a 50	0,704	0,492	0,896

Fonte: CFSEMIG (1999)

No manejo da fertirrigação, inicialmente ligava-se o sistema por 5 min. com água, para que estabilizasse as vazões e, em seguida, iniciava-se a aplicação da solução fertilizante e, após 5 min., iniciavam-se as coletas de vazão. Ao final da aplicação, mantinha-se o sistema ligado com água por 15 min. para a retirada dos sais fertilizantes ainda presentes no interior dos tubos, (BARRERA, 1998).

No sistema de irrigação, inicialmente deixava-se irrigando por 5 minutos, para estabilizar as vazões e a saída do ar do interior dos tubos e, em seguida, iniciava-se a coleta.

3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Para avaliar a uniformidade de distribuição de água e fertirrigação, foram utilizadas duas metodologias de coleta no modelo de delineamento inteiramente casualizado:

- Método de Keller e Karmeli (1975) - (K);
- Método de Denículi *et al.* (1980) - (D).

As vazões foram determinadas pelo processo direto. Ambas as metodologias consistem em coletar o volume de água que o sistema aplica por, no mínimo, 3,5 min. Para este trabalho adotou-se o tempo de 4 min., tempo este controlado com um cronômetro digital.

Para facilitar as coletas, foram instalados três coletores dentro de sulcos cavados perpendicularmente às linhas laterais, conforme se pode observar na Figura 3. No momento da coleta, o sistema de irrigação era deslocado para gotejar dentro dos coletores, para isto, os tubos foram presos a vergalhões de aço (\varnothing 5 mm), distribuídos ao longo das linhas laterais, presos a uma corda guia que margeava a primeira lateral. Com um pequeno movimento na corda, feito a cada coleta, todos os gotejadores em avaliação deslizavam simultaneamente para cima de cada coletor.



Figura 5 - Esquema das coletas de vazões.

Cada coletor recebia o volume aplicado por quatro minutos e, ao final das três coletas, fazia-se a leitura do volume de cada coletor em uma proveta, para determinar a vazão.

3.4.1 METODOLOGIA DE KELLER E KARMELI (1975)

De acordo com a metodologia de Keller e Karmeli (1975), determinam-se as vazões em 16 gotejadores dentro do sistema de irrigação, selecionando-se quatro linhas laterais ao longo da linha de derivação, que são: a primeira a $1/3$ e $2/3$ do comprimento da linha de derivação e a última linha lateral e, em cada uma delas, selecionam-se quatro gotejadores que são: o primeiro, os gotejadores situados a $1/3$ e a $2/3$ do comprimento e o último gotejador, conforme Figura 6.

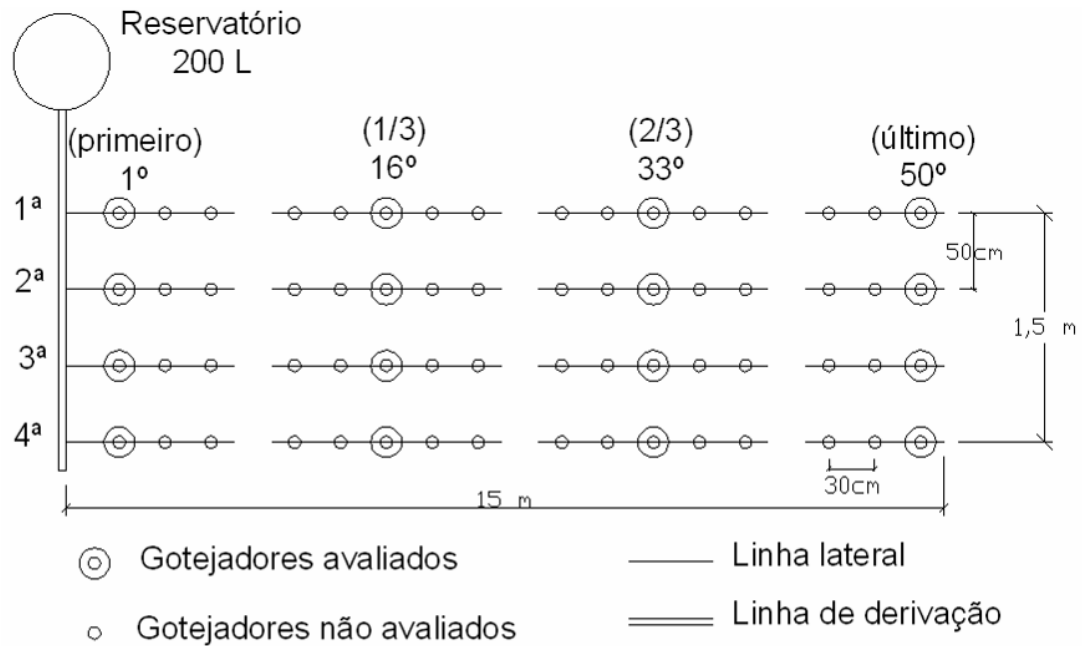


Figura 6 - Coletas realizadas na metodologia de Keller e Karmeli (1975), para irrigação e fertirrigação.

3.4.2 METODOLOGIA DE DENÍCULI *ET AL.* (1980)

De acordo com a metodologia de Denículi *et al.* (1980), as vazões foram determinadas em 32 gotejadores dentro do sistema de irrigação, selecionando-se quatro linhas laterais ao longo da linha de derivação, devendo ser a primeira, as situadas a 1/3 e 2/3 do comprimento e a última linha lateral e, em cada uma delas, selecionam-se oito gotejadores por linha lateral: do primeiro gotejador, dos gotejadores situados a 1/7, 2/7, 3/7, 4/7, 5/7, 6/7 e do último gotejador (Figura 7).

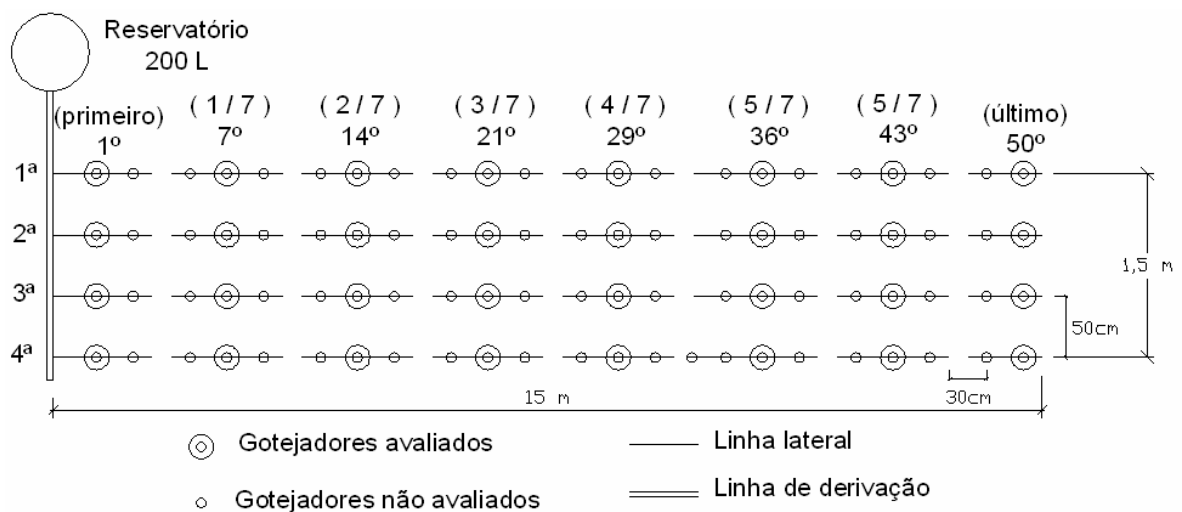


Figura 7 - Coletas realizadas na metodologia de Denículi *et al.* (1980), para irrigação e fertirrigação.

O conjunto de irrigação foi dividido para dois experimentos:

- Experimento 1: irrigação - (i);
- Experimento 2: fertirrigação - (f).

Cada experimento foi submetido a quatro cargas hidráulicas, denominadas Tratamentos, em função do nível do reservatório.

Experimento 1 – Irrigação:

- Tratamento 1: 1,2 mca - (1i);
- Tratamento 2: 1,4 mca - (2i);
- Tratamento 3: 1,6 mca - (3i);
- Tratamento 4: 1,8 mca - (4i).

Experimento 2 – Fertirrigação:

- Tratamento 1: 1,2 mca - (1f);
- Tratamento 2: 1,4 mca - (2f);
- Tratamento 3: 1,6 mca - (3f);
- Tratamento 4: 1,8 mca - (4f).

Foram feitas 3 coletas, para os quatro tratamentos, com 20 repetições durante os 110 dias de duração da pesquisa, nos métodos de Keller e Karmeli (1975) (16 gotejadores) e Denículi *et al.* (1980) (32 gotejadores), para os experimentos de irrigação e fertirrigação, resultando em 23.040 dados de vazão, como mostra a Tabela 5.

Tabela 5 - Metodologias dos experimentos para avaliação dos sistemas de irrigação

Metodologia	Experimento	Altura do recipiente	Tratamento	Denominação	Coletas	Repetições	Gotejadores avaliados
Keller e Karmeli (1975)	Irrigação	120 cm	1,2 mca	K1i	3	20	16
		140 cm	1,4 mca	K2i	3	20	16
		160 cm	1,6 mca	K3i	3	20	16
		180 cm	1,8 mca	K4i	3	20	16
	Fertirrigação	120 cm	1,2 mca	K1f	3	20	16
		140 cm	1,4 mca	K2f	3	20	16
		160 cm	1,6 mca	K3f	3	20	16
		180 cm	1,8 mca	K4f	3	20	16
Denículi <i>et al.</i> (1980)	Irrigação	120 cm	1,2 mca	D1i	3	20	32
		140 cm	1,4 mca	D2i	3	20	32
		160 cm	1,6 mca	D3i	3	20	32
		180 cm	1,8 mca	D4i	3	20	32
	Fertirrigação	120 cm	1,2 mca	D1f	3	20	32
		140 cm	1,4 mca	D2f	3	20	32
		160 cm	1,6 mca	D3f	3	20	32
		180 cm	1,8 mca	D4f	3	20	32

Os dados coletados (mL) foram anotados em planilhas de campo, transformados em vazões ($L h^{-1}$) e processados para determinação dos coeficientes de uniformidade de distribuição (Eq. 2) e o coeficiente de variação (Eq. 3), ao longo das 20 repetições.

Posteriormente, os parâmetros avaliados foram comparados para determinar se há diferenças estatísticas entre as metodologias e se o número de coletas em cada repetição é determinante para avaliar os sistemas de irrigação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de vazão, CUD e CV de cada avaliação estão no Apêndice A, para os quatro tratamentos, foram analisados estatisticamente para análises de variância (ANOVA) com auxílio do *software* Minitab 15, (licenciado para UNIOESTE). Para verificar o cumprimento das suposições do modelo da análise de variância, confeccionaram-se gráficos para análise de resíduos e a normalidade pelos testes de Anderson-Darling ou Shapiro-Wilk ou Kolmogorov-Smirnov, apresentados no Apêndice B.

Primeiramente serão apresentados os resultados do experimento com irrigação e posteriormente os do experimento com fertirrigação.

4.1 EXPERIMENTO IRRIGAÇÃO

Os resultados a seguir se referem às determinações do coeficiente de uniformidade (CUD), coeficiente de variação (CV) para as metodologias de Keller e Karmeli (1975) e de Denículi *et al.* (1980), respectivamente, seguido do teste de hipótese entre os mesmos.

4.1.1 CUD DA IRRIGAÇÃO SEGUNDO A METODOLOGIA DE KELLER E KARMELI (1975)

De acordo com a Figura 8, referente aos gráficos boxplot dos valores do CUD, os quais foram obtidos aplicando-se a metodologia de Keller e Karmeli (1975), verifica-se semelhança entre o tratamento K3i e o K4i, apesar de haver discrepância em dois dados de vazão. O primeiro apresentou melhor homogeneidade, destacando-se das médias dos tratamentos K1i, K2i que apresentaram menores uniformidades.

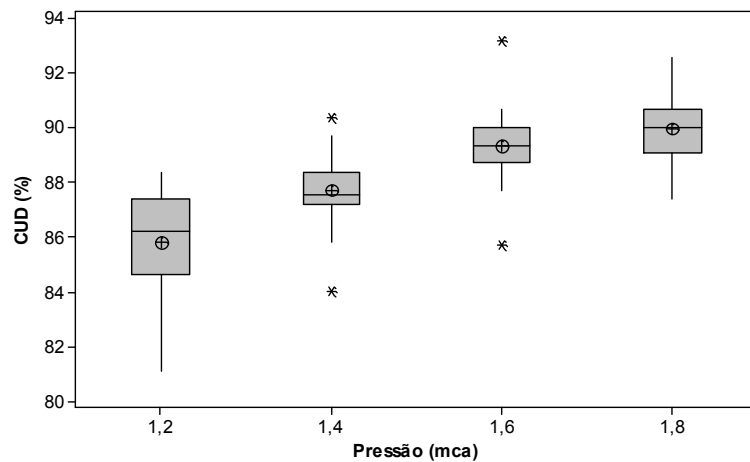


Figura 8 - Gráfico boxplot para CUD x pressão para os quatro tratamentos de irrigação.

A análise de variância do CUD para os quatro tratamentos resultou no p-valor igual a 0,000. O p-valor menor que 0,05, apresentado na Tabela 6, indica que há efeito dos tratamentos, ou seja, pelo menos um deles é diferente dos demais analisados.

Tabela 6 - Análise de variância do CUD para os tratamentos K1i, K2i, K3i e K4i

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F	p-valor
Pressão	3	206,23	68,74	30,71	0,000
Erro	76	170,10	2,24		
Total	79	376,32			

Foram realizadas comparações múltiplas para determinar quais tratamentos apresentam diferença, aplicando-se o teste de Tukey com 5% de significância. Os dados correspondem à média de 20 repetições de cada tratamento para CUD, conforme a Tabela 7, mostrando que os tratamentos K3i e K4i são estatisticamente iguais e indicando uma melhor distribuição de água, o que implica uma economia ao compensar as áreas que receberam menos água.

Para este parâmetro, pode-se recomendar o tratamento K3i, por apresentar CUD estatisticamente igual ao K4i, o que reduz a quantidade de material no momento da instalação do reservatório.

Tabela 7 - Valores médios de CUD (%) pela metodologia de Keller e Karmeli (1975), no experimento irrigação e teste de Tukey para as médias das 20 repetições

Tratamento	CUD Médio (%) - Tukey
K1i	85,84 - a
K2i	87,72 - b
K3i	89,38 - c
K4i	89,96 - c

Nota: Letras iguais indicam igualdade a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Segundo a norma de classificação ASAE EP 458 (1996), todos os tratamentos enquadram-se na categoria “bom” e o tratamento K4i ficou muito próximo da categoria seguinte, ou seja, “excelente”.

4.1.2 CV DA IRRIGAÇÃO PELA METODOLOGIA DE KELLER E KARMELI (1975)

Para análise do CV, inicialmente, procedeu-se a verificação da homogeneidade dos dados obtidos pela metodologia de Keller e Karmeli (1975), para isso confeccionaram-se os gráficos do tipo boxplot, mostrados na Figura 9. Nota-se semelhança entre K3i e K4i cujos dados possuem menor dispersão e as medianas estão próximas entre si. A variabilidade é menor, quando comparada com os outros tratamentos, favorecendo a escolha da altura do reservatório.

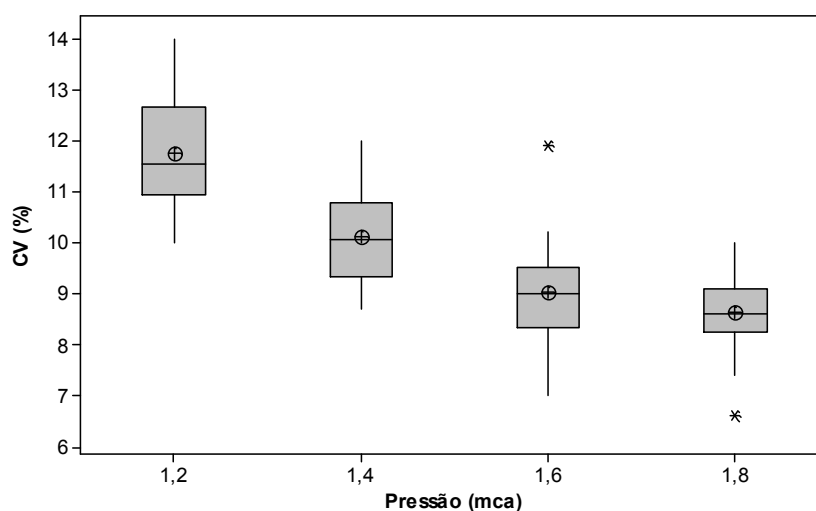


Figura 9 - Boxplot do CV para irrigação na metodologia de Keller e Karmeli (1975), para as quatro pressões.

A análise de variância, apresentada na Tabela 8, resulta no p-valor igual a 0,000 e indica que os tratamentos apresentam diferenças significativas, ou seja, pelo menos um deles é diferente dos demais analisados.

Tabela 8 - Análise de variância do CV para os tratamentos K1i, K2i, K3i e K4i

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F	p-valor
Pressão	3	115,996	38,665	42,72	0,000
Erros	76	68,793	0,905		
Total	79	184,789			

Decorrente dos resultados da análise de variância, procederam-se as comparações múltiplas das médias do CV. Na Tabela 9 mostra-se o valor médio de 20 repetições de cada tratamento com os respectivos resultados do teste de Tukey, a 5% de significância.

Tabela 9 - Valores médios (%) das 20 repetições para CV no experimento de irrigação para a metodologia de Keller e Karmell (1975) e os resultados do teste de Tukey

Tratamento	CV Médio (%) - Tukey
K1i	11,75 - a
K2i	10,12 - b
K3i	9,04 - c
K4i	8,64 - c

Nota: Letras iguais indicam igualdade a 5%, pelo teste de Tukey.

Nota-se que, pelo teste de Tukey, há igualdade apenas entre os tratamentos K3i e K4i, em que os valores de CV obtidos são 9,03 e 8,63%, respectivamente, os quais foram classificados como “marginal”, de acordo com a norma ASAE EP 405.1 (1994).

4.1.3 CUD DA IRRIGAÇÃO PELA METODOLOGIA DE DENÍCULI *ET AL.* (1980)

Os resultados da avaliação da uniformidade de distribuição da água, determinada pelo método de recomendado por Denículi *et al.* (1980), aplicada aos 4 tratamentos foram inicialmente plotados num gráfico do tipo boxplot apresentado na Figura 10, no qual se observa semelhança entre os tratamentos D3i e D4i e, apesar da discrepância encontrada num dos dados do tratamento D3i, apresentou melhor homogeneidade e menor amplitude na distribuição dos dados, destacando-se das médias os tratamentos D1i e D2i que apresentaram menores uniformidades.

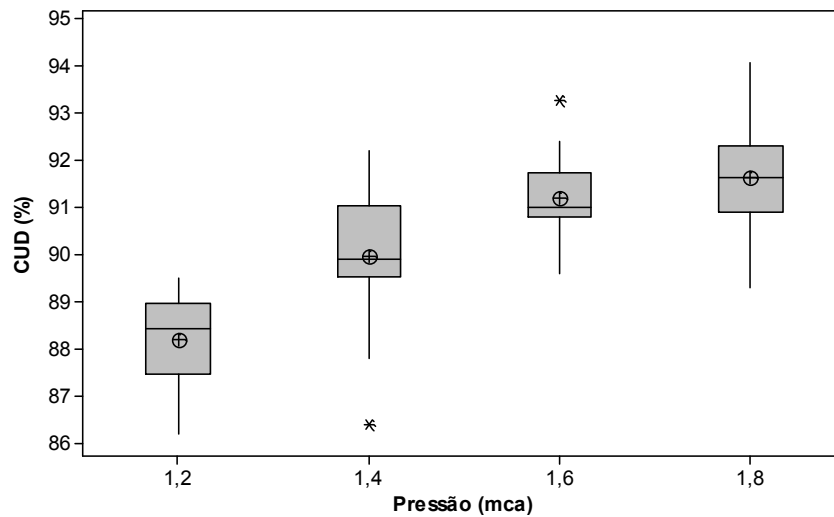


Figura 10 - Boxplot do CUD para irrigação na metodologia de Denículi *et al.* (1980), para as quatro pressões.

A análise de variância do CUD, entre os quatro tratamentos, apresentou p-valor de 0,000, apresentado na Tabela 10, o que indica diferença estatística entre os tratamentos analisados.

Tabela 10 - Análise de variância para CUD nos tratamentos D1i, D2i, D3i e D4i

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F	p-valor
Pressão	3	143,47	47,82	36,93	0,000
Erros	76	98,41	1,29		
Total	79	241,88			

Fazendo comparações múltiplas entre as médias das 20 repetições de cada tratamento para o CUD, determinado com o teste de Tukey com 5% de significância, conforme a Tabela 11, verifica-se que os tratamentos D3i e D4i são estatisticamente iguais, indicando uma melhor distribuição de água nestes 2 tratamentos.

Tabela 11 - Valores médios de CUD (%) pela metodologia de Denículi *et al.* (1980) no experimento irrigação e teste de Tukey para as das 20 repetições

Tratamento	CUD Médio (%) - Tukey
D1i	88,19 - a
D2i	89,90 - b
D3i	91,20 - c
D4i	91,65 - c

Nota: Letras iguais indicam igualdade a 5%, pelo teste de Tukey.

Pela classificação do sistema de irrigação da norma ASAE EP 458 (1996), os tratamentos D1i e D2i enquadram-se na categoria “bom” e D3i e D4i na categoria “excelente”.

4.1.4 CV DA IRRIGAÇÃO PELA METODOLOGIA DE DENÍCULI *ET AL.* (1980)

Para análise da homogeneidade dos dados de CV, procedeu-se a confecção do gráfico boxplot, mostrado na Figura 11. Verificou-se uma proximidade nas medianas para os tratamentos D3i e D4i, com destaque para D4i, que teve menor dispersão de dados, apesar de apresentar um dado discrepante em cada lado do gráfico.

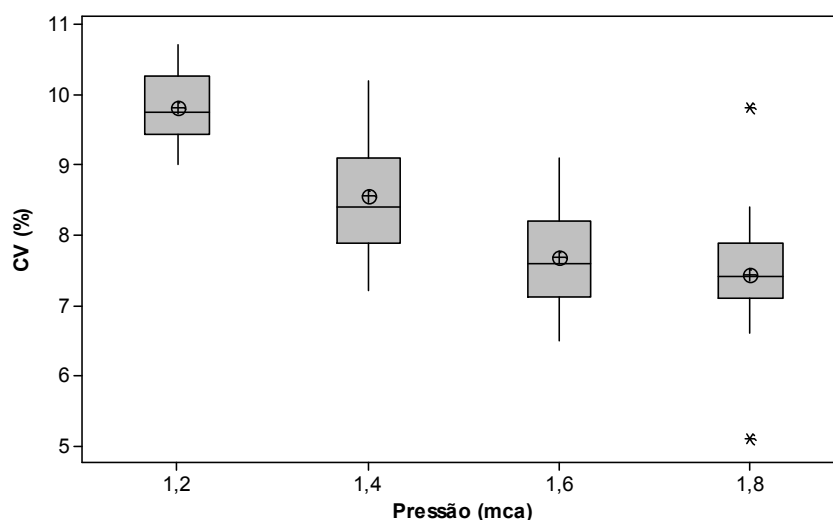


Figura 11 - Boxplot do CV para Irrigação na metodologia de Denículi *et al.* (1980), para as quatro pressões.

A análise de variância da Tabela 12 resulta no p-valor igual a 0,000, indicando que os tratamentos apresentam diferenças significativas com relação às médias de CV.

Tabela 12 - Análise de variância para o coeficiente de variação (CV) para os tratamentos D1i, D2i, D3i e D4i

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F	p-valor
Pressão	3	69,99	23,332	43,87	0,000
Erros	76	40,421	0,532		
Total	79	110,416			

Pelas comparações múltiplas das médias do CV, apresentadas na Tabela 13 mostram-se os valores médios das 20 repetições em cada tratamento e seus resultados no teste de Tukey, a 5% de significância, o qual indicou igualdade apenas entre os tratamentos D3i e D4i, com CV igual a 7,67 e 7,43%, respectivamente.

Tabela 13 - Valores médios (%) das 20 repetições para CV no experimento de irrigação para a metodologia de Denículi *et al.* (1980) e os resultados do teste de Tukey

Tratamento	CV Médio (%) - Tukey
D1i	9,82 - a
D2i	8,55 - b
D3i	7,68 - c
D4i	7,43 - c

Letras iguais indicam igualdade a 5%, pelo teste de Tukey.

Pela classificação de sistemas de irrigação da norma ASAE EP 405.1 (1994), todos os tratamentos enquadram-se na categoria “marginal” (7 a 11%), apesar disso, os tratamentos D1i e D2i não serão aproveitados por apresentarem valores de CV mais elevados e são estatisticamente diferentes dos demais, indicando uma inconstância na aplicação de água, o que leva a concluir que a alteração da carga hidráulica, ainda com pouca variação, resulta numa maior variabilidade dos dados, como observado nestes tratamentos.

4.1.5 TESTE DE HIPÓTESES ENTRE AS METODOLOGIAS DE KELLER E KARMELI (1975) E DENÍCULI *ET AL.* (1980) PARA IRRIGAÇÃO

Foram realizados testes de hipóteses para avaliar se os 20 valores médios obtidos nos quatro tratamentos, do CUD, são iguais ou há diferença entre as duas metodologias, considerando um nível de 5% de significância. Os testes t de Student e o p-valor foram calculados pelo software MINITAB 15, os quais estão mostrados na Tabela 14.

Tabela 14 - Valores descritivos e p-valor para a comparação do CUD entre Keller e Karmell (1975) e Denículi *et al.* (1980) para irrigação

CUD (Irrigação)	N	Média (%)	Desvio padrão	p-valor
Keller e Karmeli (1975)	80	88,22	2,18	0,000
Denículi <i>et al.</i> (1980)	80	90,25	1,75	

O p-valor igual a 0,000 indica diferença estatística entre os métodos, destacando-se a proposta de Deniculi *et al.* (1980), pois apresentou melhor uniformidade com menor desvio padrão. Na Figura 12 pode-se visualizar a diferença entre as metodologias para os valores de CUD e os limites para classificação na norma ASAE EP 458 (1996). Observam-se as diferenças nos níveis do CUD para as duas metodologias, sendo que apenas nos tratamentos com 1,8 mca foram classificados como “excelente”.

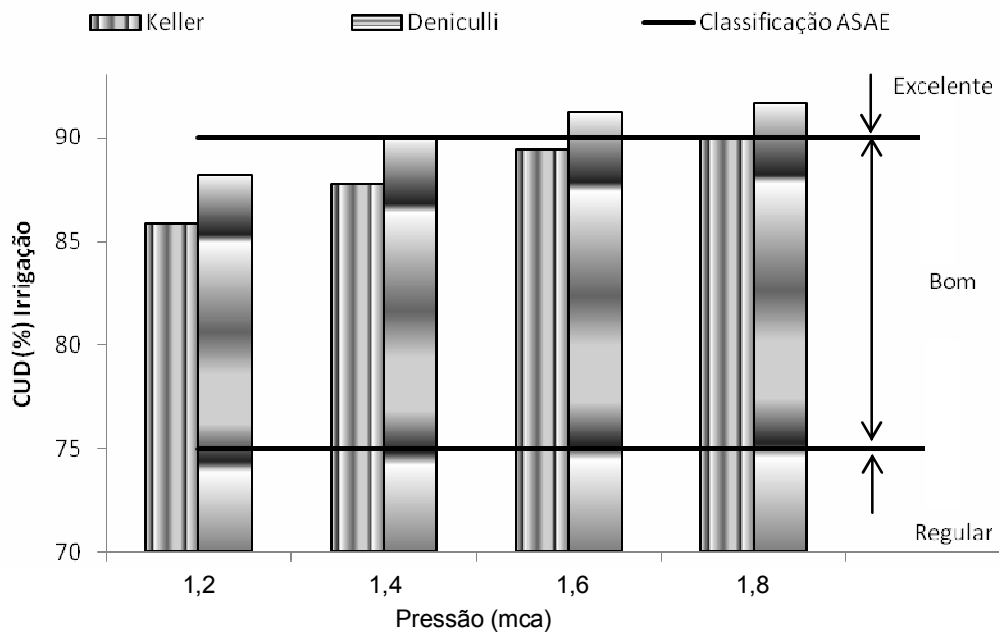


Figura 12 - Níveis de CUD e a respectiva classificação para cada tratamento, segundo norma ASAE (1996), nas metodologias de Keller e Karmell (1975) e Deniculi *et al.* (1980).

Os testes t de Student e p-valor também foram realizados para CV, avaliando a hipóteses de igualdade entre as duas metodologias, considerando um nível de 5% de significância, os valores são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Valores descritivos e p-valor para a comparação do CV entre Keller e Karmeli (1975) e Deniculi *et al.* (1980) para irrigação

CV (Irrigação)	N	Média (%)	Desvio padrão	p-valor
Keller e Karmeli (1975)	80	9,88	1,53	0,000
Deniculi <i>et al.</i> (1980)	80	8,37	1,18	

O p-valor para CV igual a 0,000 indica que as duas metodologias resultou em médias estatisticamente diferentes para o mesmo experimento. Na Figura 13 é mostrado as diferenças entre as metodologias para CV, bem como os intervalos de classificação segundo ASAE EP 405.1 (1994). Observa-se que entre as metodologias nas mesmas

pressões os CV são distintos, indicando a variabilidade das vazões obtidas, com exceção de 1,8 mca, que são mais próximas.

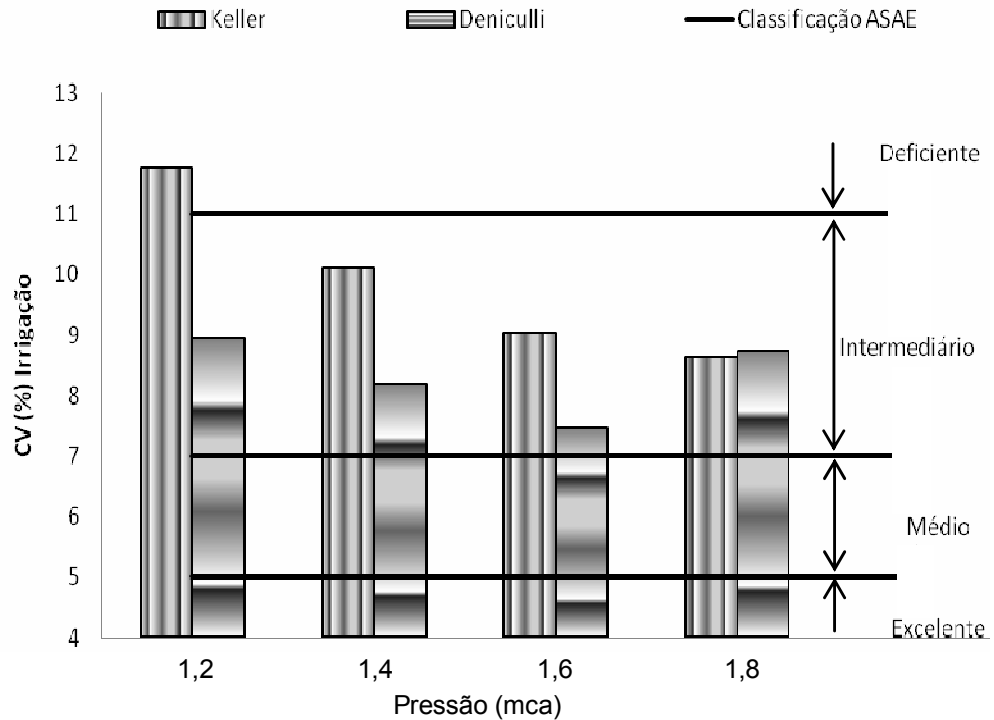


Figura 13 - Níveis de CV e a respectiva classificação para cada tratamento, segundo norma ASAE (1994), nas metodologias de Keller e Karmell (1975) e Deniculi *et al.* (1980).

Os testes de hipótese entre as duas metodologias mostraram que Deniculi *et al.* (1980) possui um método mais rigoroso, por avaliar um número maior de gotejadores e mesmo em linhas laterais curtas e apresentou resultados melhores representando uma economia de 2% na reposição de água em função da uniformidade apresentada.

4.2 EXPERIMENTO FERTIRRIGAÇÃO

As análises a seguir referem-se aos coeficientes de uniformidade (CUD) e coeficiente de variação (CV) para as metodologias de Keller e Karmeli (1975) e de Deniculi *et al.* (1980) respectivamente, bem como o teste de hipótese entre esses métodos de amostragem.

4.2.1 CUD DA FERTIRRIGAÇÃO SEGUNDO METODOLOGIA DE KELLER E KARMELI (1975)

De acordo com a Figura 14, referente aos gráficos boxplot dos valores do CUD, os quais foram obtidos aplicando-se a metodologia de Keller e Karmeli (1975), verifica-se semelhança entre os quatro tratamentos, apesar de K3f apresentar maior CUD obteve também menor homogeneidade. Por este motivo, outras análises estatísticas são necessárias.

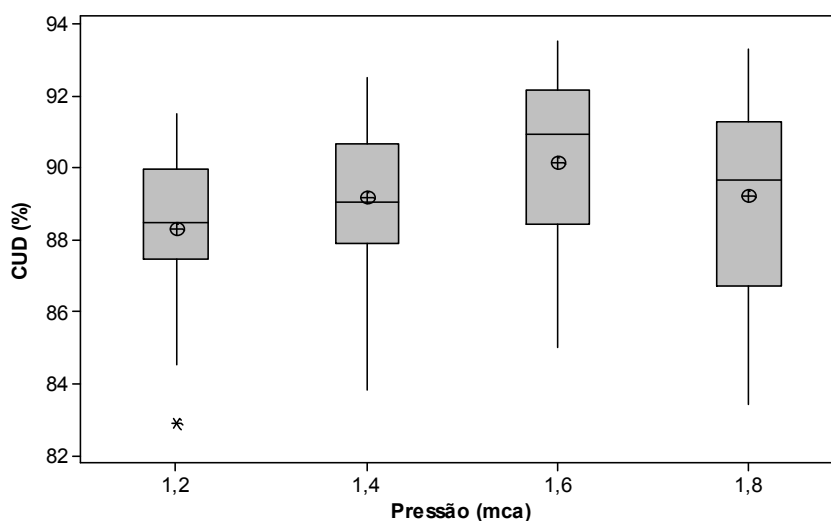


Figura 14 - Boxplot do CUD para fertirrigação na metodologia de Keller e Karmell (1975) para as quatro pressões.

A análise de variância apresentada na Tabela 16, referente aos dados do CUD, resultou no p-valor de 0,135, o que significa que, para fertirrigação, as diferentes pressões usadas nesta pesquisa apresentaram valores de CUD estatisticamente iguais, com 5% de significância.

Tabela 16 - Análise de variância do CUD para os tratamentos K1f, K2f, K3f e K4f

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F	p-valor
Pressão	3	34,25	11,42	1,91	0,135
Erros	76	453,91	5,97		
Total	79	488,17			

Na Tabela 17 mostram-se os dados médios das 20 repetições do CUD, para auxiliar na classificação do sistema de fertirrigação na norma ASAE EP 458 (1996).

Tabela 17 - Valores médios de CUD (%) pela metodologia de Keller e Karmeli (1975) no experimento fertirrigação e teste de Tukey para as das 20 repetições

Tratamento	CUD Médio (%) - Tukey
K1f	88,28 - a
K2f	89,16 - a
K3f	90,13 - a
K4f	89,20 - a

Nota: Letras iguais indicam igualdade a 5%, pelo teste de Tukey.

Pela classificação da ASAE EP 458 (1996), somente o tratamento K3f é tido como “excelente”, os demais se enquadram como “bom” desempenho, com CUD entre 75 e 90%.

4.2.2 CV DA FERTIRRIGAÇÃO PELA METODOLOGIA DE KELLER E KARMELI (1975)

Para análise do CV obtido pela metodologia de Keller e Karmeli (1975), procedeu-se a verificação da homogeneidade dos dados. Para isto geraram-se os gráficos boxplot mostrados na Figura 15. Neles nota-se semelhança nas medianas dos quatro tratamentos, porém K3i e K4i possuem maior dispersão nos dados, quando comparados com os outros tratamentos.

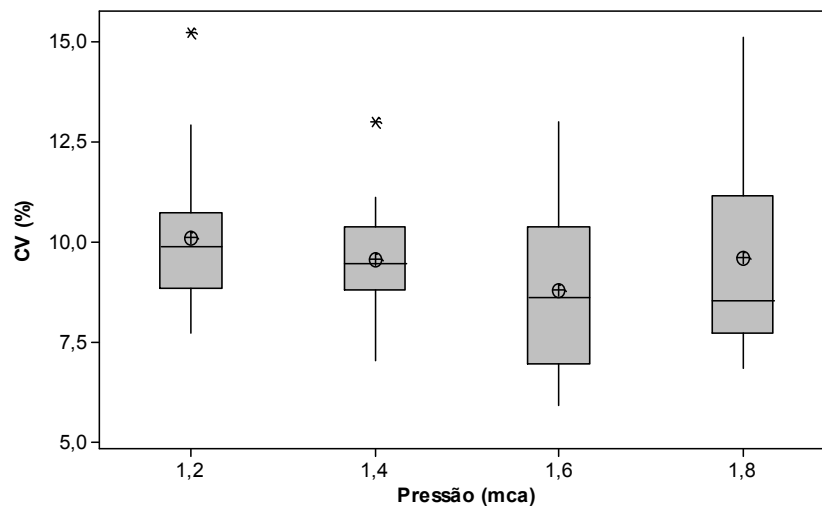


Figura 15 - Boxplot do CV para fertirrigação na metodologia de Keller e Karmell (1975) para as quatro pressões.

A análise de variância, apresentada na Tabela 18, resulta no p-valor igual a 0,234, portanto, a um nível de 5% de significância, conclui-se que não há efeito dos tratamentos,

ou seja, pelo método de Keller e Karmeli(1975), o CV não sofreu interferência para as pressões aplicadas e são considerados iguais.

Tabela 18 - Análise de variância do CV para os tratamentos K1f, K2f, K3f e K4f

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F	p-valor
Pressão	3	17,82	5,94	1,45	0,234
Erros	76	310,69	4,09		
Total	79	328,52			

Na Tabela 19, mostram-se os dados médios das 20 repetições do CV, para auxiliar na classificação do sistema de fertirrigação na norma ASAE EP 405.1 (1994).

Tabela 19 - Valores médios (%) das 20 repetições para CV no experimento de fertirrigação para a metodologia de Keller e Karmell (1975) e os resultados do teste de Tukey

Tratamento	CV Médio (%) - Tukey
K1f	10,10 - a
K2f	9,55 - a
K3f	8,78 - a
K4f	9,61 - a

Letras iguais indicam igualdade a 5%, pelo teste de Tukey.

Assim, o conjunto de irrigação quando testado com fertirrigação teve classificação “marginal” para todos os tratamentos por apresentar coeficiente de variação entre 7 e 11%.

4.2.3 CUD DA FERTIRRIGAÇÃO SEGUNDO A METODOLOGIA DE DENÍCULI *ET AL.* (1980)

Na Figura 16, referente aos gráficos boxplot dos valores do CUD, visualiza-se uma proximidade das medianas entre os tratamentos, somente D4f apresentou maior dispersão.

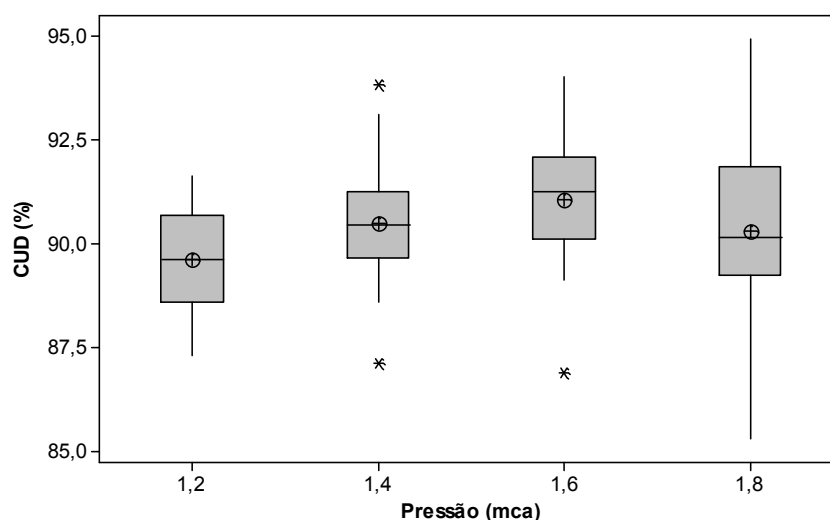


Figura 16 - Boxplot do CUD (%) para fertirrigação na metodologia de Denículi *et al.* (1980), para as quatro pressões (mca).

Na análise de variância, apresentada na Tabela 20, observa-se o p-valor maior que 0,05, isto indica que não há diferença significativa entre as médias de CUD, entre os quatro tratamentos.

Tabela 20 - Análise de variância para o CUD nos tratamentos D1f, D2f, D3f e D4f

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F	p-valor
Pressão	3	21,25	7,8	2,53	0,063
Erros	76	212,47	2,80		
Total	79	233,72			

Analisando-se isoladamente este parâmetro, pode-se adotar qualquer uma das pressões para se obter uma irrigação de qualidade. Como mostra-se na Tabela 21, os dados médios de CUD resultantes das 20 repetições do experimento fertirrigação, indicam igualdade estatística.

Tabela 21 - Valores médios das 20 repetições para CUD no experimento de fertirrigação, com os indicadores estatísticos de semelhança ao nível de 5%, pela metodologia de Denículi *et al.* (1980)

Tratamento	CUD Médio (%) - Tukey
D1f	89,59 - a
D2f	90,49 - a
D3f	91,03 - a
D4f	90,29 - a

Nota: Letras iguais indicam igualdade a 5%, pelo teste de Tukey.

De acordo com a classificação da ASAE EP 458 (1996), os melhores tratamentos foram D2f, D3f e D4f, enquadrando-se como “excelente” com CUD maior que 90%.

4.2.4 CV DA FERTIRRIGAÇÃO PARA DENÍCULI *ET AL.* (1980)

Os valores do CUD analisados pela metodologia de Denículi *et al.* (1980) são apresentados na Figura 17, com gráficos Boxplot, mostrando D3f o tratamento com melhor valor de CV, ainda que semelhante aos tratamentos D2f e D4f, este último apresenta dados com dispersão mais elevada.

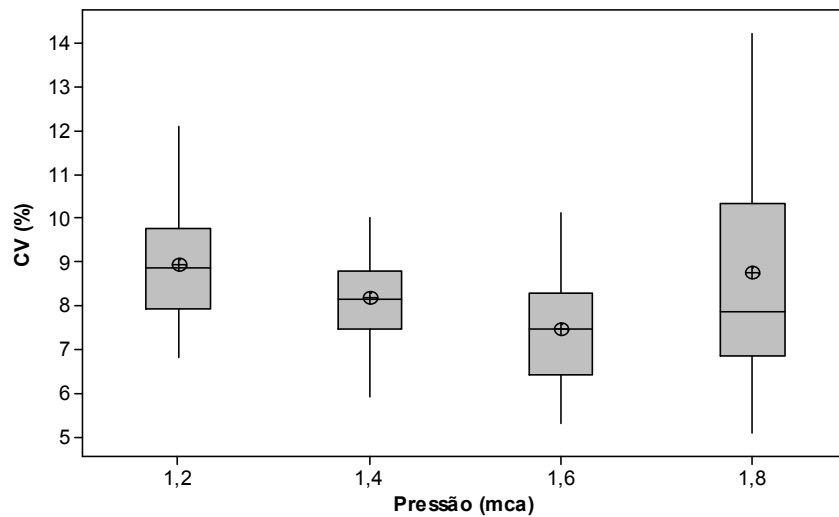


Figura 17 - Boxplot do CV para fertirrigação na metodologia de Denículi *et al.* (1980) para as quatro pressões.

A análise de variância apresentada na Tabela 22 o p-valor indica que há diferença significativa pelo menos em um dos tratamentos.

Tabela 22 - Análise de variância do CV para os tratamentos D1f, D2f, D3f e D4f

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F	p-valor
Pressão	3	26,08	8,69	3,49	0,020
Erros	76	189,08	2,49		
Total	79	215,15			

As comparações múltiplas entre as médias das 20 repetições pelo teste de Tukey, indicadas na Tabela 23, verifica-se que os tratamentos D2f; D3f e D4f são considerados iguais entre si e D1f e D3f são estatisticamente diferentes.

Tabela 23 - Valores médios (%) das 20 repetições para CV no experimento de fertirrigação para a metodologia de Denículi *et al.* (1980) e os resultados do teste de Tukey

Tratamento	CV Médio (%) - Tukey
D1f	8,94 - a
D2f	8,18 - ab
D3f	7,47 - b
D4f	8,74 - ab

Nota: Letras iguais indicam igualdade a 5%, pelo teste de Tukey.

Para a classificação segundo a norma ASAE EP 405.1 (1994), o CV de todos os tratamentos ficou entre 7 e 11%, sendo classificados como “marginal”.

4.2.5 TESTES DE HIPÓTESE ENTRE AS METODOLOGIAS DE KELLER E KARMELI (1975) E DENÍCULI *ET AL.* (1980) PARA FERTIRRIGAÇÃO

Os testes de hipótese foram realizados para avaliar a igualdade entre os valores médios de CUD, nas duas metodologias, considerando-se um nível de 5% de significância. Foram calculados pelo *software* MINITAB 15 utilizando-se a estatística t de Student e o p-valor, os quais são mostrados na Tabela 24.

Tabela 24 - Valores descritivos e p-valor para a comparação do CUD entre Keller e Karmeli (1975) e Denículi *et al.* (1980) para fertirrigação

CUD (fertirrigação)	N	Média (%)	Desvio padrão	p-valor
Keller e Karmeli (1975)	80	89,19	2,49	0,001
Denículi <i>et al.</i> (1980)	80	90,35	1,72	

O p-valor para CUD igual a 0,001 indica que há diferença estatística entre as duas metodologias, sendo a proposta por Denículi *et al.* (1980) a que apresentou melhor uniformidade para o experimento fertirrigação com menor desvio padrão. Na Figura 18 pode-se visualizar esta diferença entre as metodologias para os valores de CUD e os limites para classificação na norma ASAE EP 458 (1996).

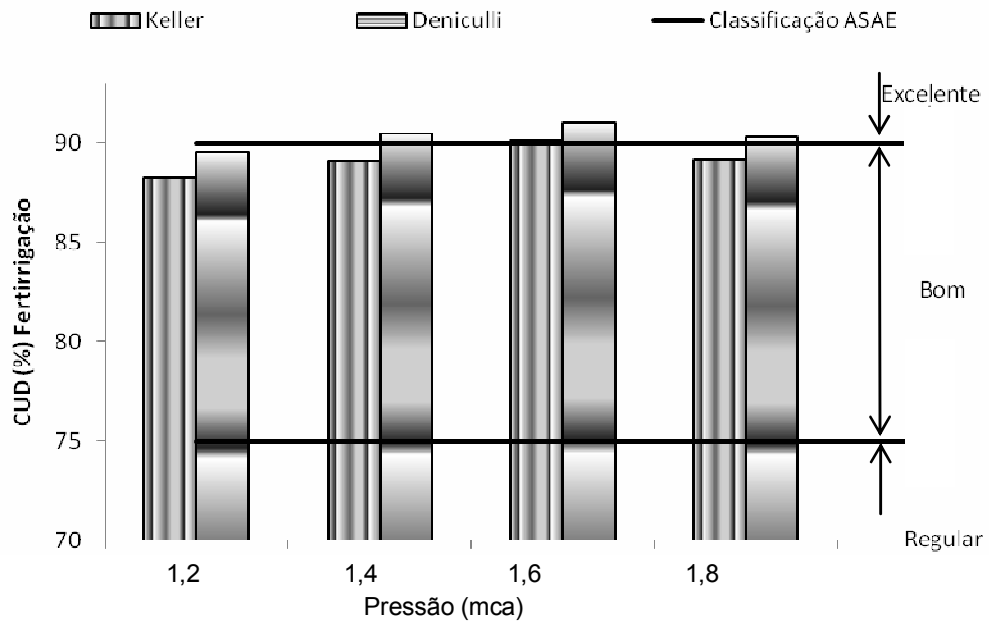


Figura 18 - Níveis de CUD e a respectiva classificação para cada tratamento, segundo norma ASAE. (1996) nas metodologias de Keller e Karmell (1975) e Deniculi *et al.* (1980).

Os testes t de Student e p-valor também foram realizados para CV, avaliando-se a hipótese de igualdade entre as duas metodologias, considerando-se um nível de 5% de significância, os valores médios resultantes são apresentados na Tabela 25.

Tabela 25 - Valores descritivos e p-valor para a comparação do CV entre Keller e Karmeli (1975) e Deniculi *et al.* (1980) para fertirrigação

CV (fertirrigação)	N	Média (%)	Desvio padrão	p-valor
Keller e Karmeli (1975)	80	9,51	2,04	0,000
Deniculi <i>et al.</i> (1980)	80	8,33	1,65	

O p-valor para CV igual a 0,000 indica que as médias de CV são estatisticamente diferentes. O método de Deniculi *et al.* (1980) apresentou menor variação nos dados de vazão para o experimento “fertirrigação”. Na Figura 19 são mostrados os níveis de CV, comparando-se as variações entre as metodologias, nos respectivos tratamentos.

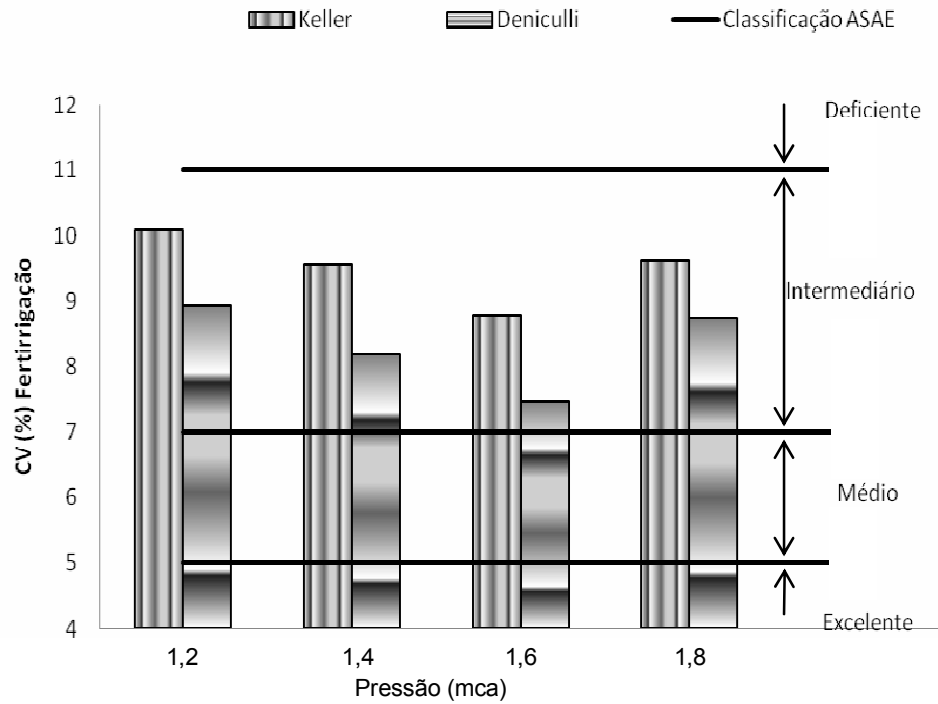


Figura 19 - Níveis de CV e a respectiva classificação para cada tratamento, nas metodologias de Keller e Karmell (1975) e Deniculi *et al.* (1980).

Silva e Silva (2005) e VIEIRA *et al.* (2003), compararam as duas metodologias e concluíram que em sistemas de irrigação por gotejamento, quanto maior o número de gotejadores avaliados, mais precisos serão os valores de CUD, demonstrando que o método de Deniculi *et al.* (1980), apesar de ser um pouco mais trabalhoso, é mais apropriado que o de Keller e Karmeli (1975).

Vale ressaltar que por ter um maior número de dados, o método de Deniculi *et al.* (1980) pode diluir os valores de vazões que fogem da média.

4.3 TESTE DE HIPÓTESE ENTRE OS EXPERIMENTOS IRRIGAÇÃO E FERTIRRIGAÇÃO

Foram realizados testes de hipótese confrontando os valores médios entre todas as vazões coletadas nos dois experimentos para as duas metodologias de avaliação de sistemas de irrigação, considerando um nível de 5% de significância. Os testes foram realizados utilizando-se a estatística t de Student e o p-valor.

Na Tabela 26 mostra-se o teste de hipótese entre os experimentos irrigação e fertirrigação para as duas metodologias, que resultou no p-valor de 0,000, indicando que as vazões são consideradas diferentes para os dois métodos.

Tabela 26 - Valores descritivos e p-valor para a comparação das vazões de irrigação e fertirrigação com as metodologias de Keller e Karmeli (1975) e Denículi *et al.* (1980)

Metodologia	Experimento	N	Vazão Média (Lh ⁻¹)	Desvio padrão	p-valor
Keller e Karmeli (1975)	Irrigação	80	0,660	0,057	0,000
	Fertirrigação	80	0,690	0,054	
Denículi <i>et al.</i> (1980)	Irrigação	80	0,650	0,055	0,000
	Fertirrigação	80	0,690	0,056	

Tanto para Keller e Karmeli (1975) como para Denículi *et al.* (1980), o experimento fertirrigação apresentou maior vazão, com incremento de 4,54% e 6,15% respectivamente quando comparado com a irrigação.

Lima Neto (2006), trabalhando com injetores de fertilizantes, concluiu que, quanto maior a densidade da solução de fertilizante a ser misturada à água de irrigação menores serão as vazões.

As Figuras 20, 21, 22 e 23 mostram as vazões médias dos dois experimentos em cada carga hidráulica.

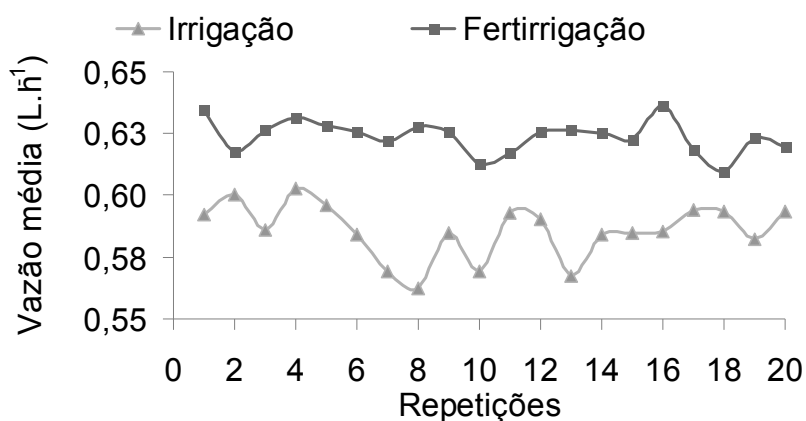


Figura 20 - Média das vazões da irrigação e fertirrigação com 1,2 mca de carga hidráulica.

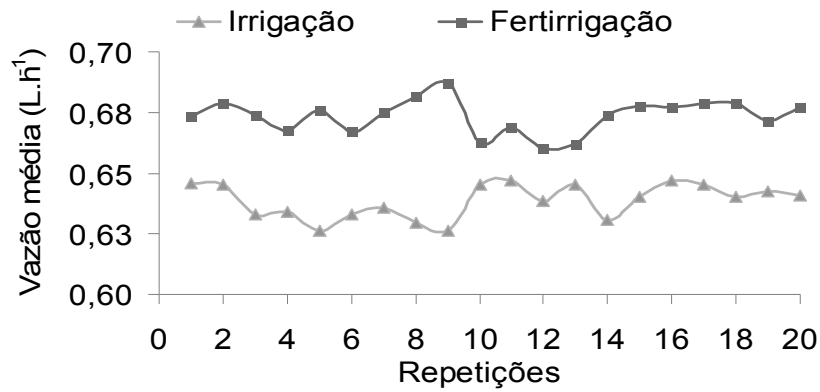


Figura 21 - Média das vazões da irrigação e fertirrigação com 1,4 mca de carga hidráulica.

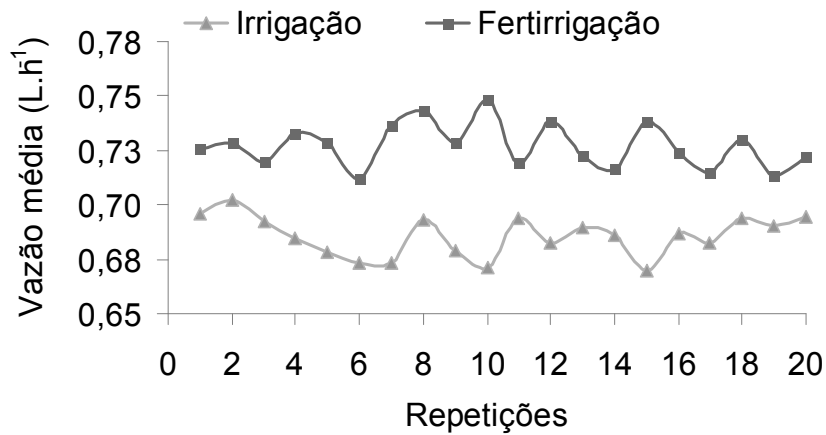


Figura 22 - Média das vazões da irrigação e fertirrigação com 1,6 mca de carga hidráulica.

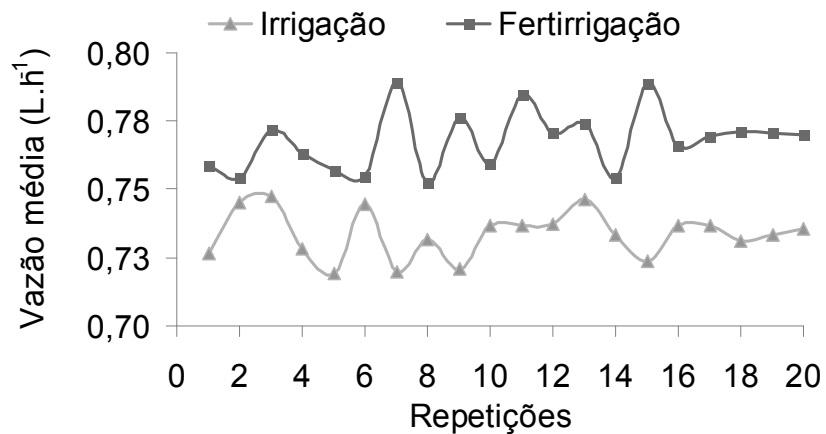


Figura 23 - Média das vazões da irrigação e fertirrigação com 1,8 mca de carga hidráulica.

Nos gráficos de vazões mostrados nas Figuras 20, 21, 22 e 23 verifica-se o incremento de vazão para fertirrigação.

Para ajudar na indicação da pressão para funcionamento do conjunto de irrigação e fertirrigação, foram reunidas na Tabela 28 as cargas hidráulicas que obtiveram as melhores classificações de CUD e CV para as duas metodologias.

Tabela 27 - Resumo das melhores classificações entre os tratamentos

Metodologia	Experimento	CUD		CV	
		Pressão de serviço	Classificação	Pressão de serviço	Classificação
Keller e Karmeli (1975)	Irrigação	1,6 mca	bom	1,6 mca	marginal
		1,8 mca	bom	1,8 mca	marginal
	Fertirrigação	1,6 mca	excelente	1,2 mca	marginal
				1,4 mca	marginal
			1,6 mca	marginal	
			1,8 mca	marginal	
Denículi <i>et al.</i> (1980)	Irrigação	1,6 mca	excelente	1,6 mca	marginal
		1,8 mca	excelente	1,8 mca	marginal
	Fertirrigação	1,6 mca	excelente	1,4 mca	
				1,8 mca	excelente
			1,6 mca	marginal	

Observou-se que o tratamento que apresentou o melhor desempenho no experimento irrigação ocorreu nas pressões de 1,6 e 1,8 mca, classificado na metodologia de Denículi *et al.* (1980) como “excelente” coeficiente de distribuição, mas deixou a desejar quando comparado ao coeficiente de variação dos dados de vazão, classificados como “marginal”. Para o experimento de fertirrigação, estatisticamente os valores mais expressivos foram obtidos na metodologia de Denículi *et al.* (1980), com CUD nas pressões de 1,4; 1,6 e 1,8 mca (excelente) e CV com a pressão de 1,6 mca (marginal).

5 CONCLUSÕES

Considerado os dados obtidos nesta pesquisa, é possível concluir que:

1. A altura do nível de água que obteve melhor CUD e CV, baseado nas análises estatísticas, na classificação da ASAE (1996 e 1994) e economia de material para elevar o reservatório, foi na pressão 1,6 mca, atendendo satisfatoriamente às condições de irrigação e fertirrigação;
2. O método de Denículi et al. (1980) mostrou resultados mais expressivos, quando comparado com o método de KELLER e KARMELI (1975), classificando melhor o conjunto de irrigação, porém é mais trabalhoso por avaliar um número maior de gotejadores;
3. A pressão de 1,6 mca, utilizada no conjunto de irrigação apresentou “excelente” CUD para irrigação e fertirrigação, igual a 91,2 e 91,03%, respectivamente, pelo método de Denículi *et al.* (1980);
4. O coeficiente de variação ficou classificado como “marginal” para irrigação e fertirrigação, em todos os tratamentos, variando de 7,43% a 10,12%;
5. A diluição manual dos fertilizantes na água não afetou a uniformidade de distribuição, quando comparada com a irrigação.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS - ASAE. **Field evaluation of micro irrigation Systems**. St. Joseph, p. 792-7.1996.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS - ASAE. **Design and installation of microirrigation systems**. St. Joseph, 4 p. 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12:02.08-005**. Sistema de irrigação por aspersão pivô central, caracterização de desempenho do método de ensaio; projeto de normas. Rio de Janeiro, 1985. 22 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 12:02.08-021**. Emissores para irrigação localizada: Avaliação de características operacionais. Rio de Janeiro. 1986. 6 p.

AVELINO NETO, S. **Desempenho hidráulico de tubos de emissão em módulos de irrigação sob adução por gravidade**. 2000. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Água e Solo. Unicamp, Campinas. 2000.

AZEVEDO, H. J.; BERNARDO, S.; RAMOS, M. M.; SEDIYAMA, G. C.; CECON, P. R. Influência de elementos do clima e da pressão de operação do aspersor no desperdício de água, em um sistema de irrigação por alta pressão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 18, n. 4, p. 53-62, 1999.

BARRERA, L. M. **Manual de fertirrigación**. Intihuasi, La Serena, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación, 1998.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 2002.

BERNARDO, S; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. Viçosa, MG: UFV, Imprensa Universitária, 2005.

BERNARDO, S; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. Viçosa, MG: UFV, 2006.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário – MDA. **Sancionada a lei da agricultura familiar**. BRASÍLIA, 2006. Disponível em: <<http://www.mda.gov.br/saf/index.php?scoid=283&ctuid=9828>>. Acesso em: 20 ago. 2009.

CHRISTOFIDIS, D. Recursos Hídricos dos cerrados e seu potencial de utilização na irrigação. **Revista Item**, Brasília, n. 69/70, p. 87-97, 2006.

DENÍCULI, W.; BERNARDO, S.; THIÉBAUT, J. T. L.; SEDIYAMA, G. C. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 27, n. 150, p 155-162, 1980.

GHAEMI, A.; CHIENG, S. Emitter clogging and hydraulics in micro-irrigation lines. In: **Asae Annual International Meeting**, 1999, Toronto: St Joseph: ASAE, 1999 (Paper 992211).

GIL, M. RODRIGUEZ-SINOBAS, L. JUANA, L. SANCHEZ, R. LOSADA, A. Emitter discharge variability of subsurface drip irrigation in uniform soils: effect on water-application uniformity. **Irrigation Science**. Madrid, v. 26, n. 6, p. 451-458. 2008.

- GILEAD, G. **Simple drip irrigation for developing countries**. 7. ed. Telaviv, Israel: International Conference on Water and Irrigation, 1996.
- GOMES, H. P. **Engenharia de irrigação**: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento. 3. ed. Campina Grande: UFPB, 1999.
- KANG, Y.; WAN, S. Effect of soil water potential on radish (*Raphanus sativus* L.) growth and water use under drip irrigation. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 106, p. 275-292, 2005.
- KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990.
- KELLER, J.; ADHIKARI, L. D.; PETERSEN, M. R.; SURYAWANSHI, S. Engineering low-cost micro-irrigation for small plots. Lakewood. **International Development Enterprises**. 2001. 25 p.
- KELLER, J.; KARMELI D. Trickle irrigation design. Glendora: **Rain bird sprinkler manufacturing**, 1975.
- KRUSE, E. G. Describing irrigation efficiency and uniformity. **Journal Irrigation Drainage Division**. Washington, v. 104, n. 1, p. 35-41, 1978.
- LACERDA, N. B.; OLIVEIRA, T. S. Agricultura irrigada e a qualidade de vida dos agricultores em perímetros do Estado do Ceará, Brasil. **Ciência Agrônômica**. Fortaleza, v. 38, n. 2, p. 216-223, 2007.
- LIMA NETO, I. E. Formulação adimensional do fluxo em injetores de fertilizantes. **Rev. bras. eng. agríc. ambient**. Campina Grande, v. 10, n. 2. p., Apr./June 2006.
- LOPEZ CADAHIA, C. Fertirrigation cultivos hortícolas y ornamentales. Madrid, Espanha: **Mundi-Prensa**, 1998.
- LOPEZ, J. R.; ABREU, J. M. H.; REGALADO, A. P.; HERNADEZ, J. F. G. 2. ed. **Riego localizado**. Madrid: Centro Nacional de Tecnologia de Regadíos. 1992. p. 217-229.
- MACKAY, H. Low cost micro irrigation technologies for the poor. Affordable Micro Irrigation Technology, **Final Report**. Department for Infrastructure and Urban Development. 37 p. 2003. Disponível em: <<http://www.practicalaction.org/docs/consulting/amit%20final%20report.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2009.
- MANTOVANI, E. C; BERNARDO, S; PALARETTI, L. F. **Irrigação**: princípios e métodos. 2. ed., atual. e ampl. Viçosa: Ed.UFV, 2007.
- MERRIAM, J. L.; KELLER, J. Farm irrigation system evaluation: a guide for anagement. Logan: **Utah State University**, 1978.
- NASCIMENTO, J. M. S. **Desenvolvimento e avaliação hidráulica de um sistema de gotejamento por gravidade para pequenas propriedades**. 2006. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.
- NGIGI, S. N.; WAWERU, J. N.; BLANK, H. G. Low-cost irrigation for poverty reduction. **International Water Management Institute**, 2001. 4 p. Disponível em: <<http://www.iwmi.cgiar.org/pubs/Areps/2001/theme%202.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2008.

OLIVEIRA, A. M. S.; PORTO FILHO, F. Q; MEDEIROS, J. F.; COSTA, M. C. Caracterização hidráulica do tubo gotejador hidrorip II. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.3, p. 486-6, 2000.

PAPADOPOULOS, I. Fertilizantes em fertirrigação. In: FOLEGATTI, M. V. **Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 11-140.

PIZARRO CABELLO, F. Riegos localizados de alta frecuencia: goteo, microaspersión, exudación. 3. ed. Madrid: **Ediciones Mundi-Prensa**, 1996. 513 p.

POSTEL, S.; POLAK, P; GONZALEZ, F; KELLER, J. Drip irrigation for small farmers. A new initiative to alleviate hunger and poverty. **Water International**, v. 26, n. 1, p. 3-13, 2000.

REZENDE, R.; FRIZZONE, J. A.; GONÇALVES, A. C. A. ; FREITAS, P. S. L. DE . Influência do espaçamento entre aspersores na uniformidade de distribuição de água acima e abaixo da superfície do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 257-261, 1998.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H.; Comissão de fertilidade do solo no estado de Minas Gerais. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5a. aproximação: Viçosa: CFSEMG, 1999.

SILVA, C. A.; SILVA, C. J. Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**. São Paulo, Ano iv, n. 8, p. 01-17, 2005.

SILVA, L. F. D. **Avaliação de unidades produtivas da agricultura familiar no perímetro irrigado de Sumé, PB**. 2006. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - PB, 2006.

SILVA, W. L. C.; MAROUELLI, W. A. Fertirrigação de hortaliças. Texto Técnico. Embrapa Hortaliças. **Revista Item: Irrigação & Tecnologia Moderna**, Brasília, n. 52/53, p. 45-47, 2001/2002. Disponível em: <http://www.cnph.embrapa.br/public/textos/texto8.html>. Acesso em: 25 de abr. 2009.

SOLOMON, K.H. Manufacturing variation of trickle emitters. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v. 22, n. 5, p. 1034-1038, 1043, 1979.

SOLOMON, K.H. Global uniformity of trickle irrigation system. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 28, n. 4, p. 1151-8, 1985.

SOUZA, I. H.; ANDRADE, E. M. ; SILVA, E. L.; Artigo Técnico: Avaliação de um sistema de irrigação localizada de baixa pressão, projetado pelo software "BUBBLER". **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal-SP, v. 25, n. 1, p. 264-271, jan./abr. 2005.

SOUZA, J. A. A.; CORDEIRO, E. A. COSTA, E. L. Aplicação de hipoclorito de sódio para recuperação de gotejadores entupidos em irrigação com água ferruginosa. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** [online]. v. 10, n. 1, p. 5-9, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v10n1/v10n1a01.pdf>>. Acesso em: 13 Set. 2009.

SOUZA, V. F. DE; FOLEGATTI, M. V.; FRIZZONE, J. A.; CORRÊA, R. A. DE L.; ALENCAR, C. M. Distribuição de fertilizantes em um sistema de fertirrigação por gotejamento. **Rev. bras. eng. agríc. Ambient**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 186-189, 2003

VIEIRA, G. H. S. ; MANTOVANI, E. C. ; CORDEIRO, E. A. Estudo comparativo da avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento utilizando os métodos propostos por Keller e por Deniculli. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa em Cafeicultura Irrigada, 2003, Araguari. **Anais do Simpósio Brasileiro de Pesquisa em Cafeicultura Irrigada**. Uberlândia : UFU, 2003. p. 125-128.

APÊNDICES

APÊNDICE A - TABELAS COM VALORES DE VAZÃO, CUD E CV

Tabela 28 - Valores médios obtidos no experimento fertirrigação na metodologia de Deniculi *et al.* (1980) para os quatro tratamentos

Fertirrigação	Pressão de serviço: 1,2 mca			Pressão de serviço: 1,4 mca			Pressão de serviço: 1,6 mca			Pressão de serviço: 1,8 mca		
	Vazão Média (L h ⁻¹)	CUD (%)	CV (%)	Vazão Média (L h ⁻¹)	CUD (%)	CV (%)	Vazão Média (L h ⁻¹)	CUD (%)	CV (%)	Vazão Média (L h ⁻¹)	CUD (%)	CV (%)
1	0,630	91,4	7,5	0,668	90,6	7,4	0,725	89,1	8,3	0,760	88,7	10,9
2	0,614	87,3	12,1	0,671	90,8	8,8	0,733	92,7	5,8	0,752	94,9	5,1
3	0,630	89,8	9,6	0,673	91,4	8,4	0,724	92,6	6,2	0,776	92,2	7,8
4	0,634	89,5	8,3	0,665	93,8	6,6	0,739	90,1	8,6	0,760	85,3	13,1
5	0,628	88,3	9,5	0,682	90,7	7,8	0,724	91,9	6,8	0,765	89,8	14,2
6	0,626	88,6	8,7	0,670	89,5	8,5	0,715	91,7	7,2	0,754	89,8	7,9
7	0,622	91,6	6,8	0,677	87,1	10,0	0,747	90,6	7,7	0,786	91,6	6,8
8	0,635	91,3	10,1	0,679	93,1	5,9	0,741	94,0	5,3	0,758	87,6	11,7
9	0,625	91,3	7,6	0,681	89,6	8,8	0,728	91,4	7,3	0,792	89,6	10,5
10	0,617	89,6	8,4	0,657	91,7	7,2	0,745	92,1	6,3	0,769	92,0	6,8
11	0,617	90,7	7,8	0,664	91,6	7,7	0,713	86,9	10,1	0,786	91,9	6,4
12	0,620	90,2	8,4	0,663	90,8	8,1	0,735	90,3	8,9	0,778	89,3	9,5
13	0,620	90,0	9,8	0,663	90,3	7,7	0,723	91,7	6,9	0,780	92,9	6,4
14	0,629	88,6	10,5	0,667	88,6	9,8	0,720	90,1	8,1	0,755	91,3	7,7
15	0,626	89,6	9,2	0,670	90,5	9,2	0,737	91,6	7,2	0,791	89,2	9,8
16	0,636	89,1	8,5	0,676	90,0	8,2	0,718	89,7	8,2	0,764	91,7	7,0
17	0,619	88,3	9,1	0,677	90,4	7,3	0,709	91,1	7,9	0,764	87,1	9,8
18	0,610	88,6	9,0	0,679	89,8	8,0	0,729	93,0	5,5	0,771	90,1	7,6
19	0,623	90,5	7,8	0,667	90,0	9,3	0,710	89,1	9,5	0,763	90,2	8,0
20	0,611	87,5	10,1	0,675	89,4	8,8	0,721	90,9	7,6	0,771	90,5	7,8
Médias	0,624	89,59	8,94	0,671	90,49	8,18	0,727	91,03	7,47	0,770	90,29	8,74

Tabela 29 - Valores médios obtidos no experimento fertirrigação na metodologia de Keller e Karmeli (1975), para os quatro tratamentos

Fertirrigação	Pressão de serviço: 1,2 mca			Pressão de serviço: 1,4 mca			Pressão de serviço: 1,6 mca			Pressão de serviço: 1,8 mca		
	Vazão Média (L h ⁻¹)	CUD (%)	CV (%)	Vazão Média (L h ⁻¹)	CUD (%)	CV (%)	Vazão Média (L h ⁻¹)	CUD (%)	CV (%)	Vazão Média (L h ⁻¹)	CUD (%)	CV (%)
1	0,639	90,8	8,0	0,678	92,2	7,3	0,726	86,8	10,5	0,757	84,9	14,6
2	0,622	90,8	9,0	0,687	91,2	9,0	0,724	92,7	6,5	0,756	93,3	6,8
3	0,623	89,3	8,8	0,675	88,1	10,4	0,716	92,2	6,8	0,768	83,8	15,1
4	0,629	88,6	10,1	0,670	92,5	8,1	0,726	86,3	11,3	0,767	83,4	15,1
5	0,629	86,0	11,8	0,670	90,7	8,2	0,733	89,2	13,0	0,749	91,3	7,7
6	0,625	87,6	9,9	0,664	87,0	10,3	0,710	91,0	8,8	0,756	90,8	8,7
7	0,622	90,2	8,2	0,673	83,8	13,0	0,725	88,4	10,3	0,793	89,8	10,7
8	0,620	91,1	8,0	0,684	91,4	7,0	0,746	93,5	5,9	0,747	86,0	11,3
9	0,626	91,5	7,7	0,693	87,7	10,3	0,729	92,2	6,5	0,761	93,1	7,0
10	0,608	89,0	10,2	0,668	88,9	9,3	0,752	90,4	7,7	0,750	86,8	10,0
11	0,617	89,3	9,7	0,673	89,7	9,2	0,726	85,0	12,0	0,784	91,2	7,6
12	0,632	87,7	10,5	0,658	86,4	10,6	0,741	90,9	9,6	0,763	86,7	11,4
13	0,633	84,5	12,9	0,661	88,5	9,3	0,722	90,9	7,8	0,768	89,8	7,7
14	0,621	82,9	15,2	0,681	88,8	9,9	0,713	88,4	9,6	0,754	92,0	7,1
15	0,619	86,2	12,3	0,685	89,2	11,1	0,740	91,5	7,6	0,786	92,7	8,1
16	0,637	88,1	9,8	0,678	89,4	9,7	0,731	92,5	6,8	0,768	89,4	8,2
17	0,618	88,4	9,8	0,680	90,3	8,7	0,721	91,2	8,4	0,775	89,0	9,6
18	0,609	87,4	10,4	0,678	88,9	9,3	0,730	92,0	7,3	0,771	89,5	8,4
19	0,623	88,5	8,9	0,676	90,6	9,6	0,717	87,3	10,4	0,778	89,2	8,4
20	0,628	87,6	10,8	0,679	87,8	10,6	0,723	90,1	8,8	0,769	91,2	8,6
Médias	0,624	88,28	10,10	0,676	89,16	9,55	0,728	90,13	8,78	0,766	89,20	9,61

Tabela 30 - Valores médios obtidos no experimento irrigação na metodologia de Deniculi *et al.* (1980) para os quatro tratamentos

Irrigação	Pressão de serviço: 1,2 mca			Pressão de serviço: 1,4 mca			Pressão de serviço: 1,6 mca			Pressão de serviço: 1,8 mca		
	Vazão Média (L h ⁻¹)	CUD (%)	CV (%)	Vazão Média (L h ⁻¹)	CUD (%)	CV (%)	Vazão Média (L h ⁻¹)	CUD (%)	CV (%)	Vazão Média (L h ⁻¹)	CUD (%)	CV (%)
1	0,584	86,2	10,7	0,638	88,8	9,4	0,686	91,6	8,6	0,716	91,6	8,3
2	0,594	88,9	10,1	0,638	90,5	9,1	0,694	91,3	8,1	0,741	93,2	7,1
3	0,584	89,0	9,5	0,630	92,2	7,6	0,690	93,3	6,5	0,741	91,9	7,4
4	0,601	89,2	9,7	0,631	90,9	8,9	0,678	89,6	9,1	0,729	92,0	6,9
5	0,595	88,0	10,0	0,622	90,0	9,1	0,679	91,8	7,4	0,716	92,7	6,6
6	0,585	89,1	9,1	0,631	87,8	9,6	0,670	91,0	7,6	0,741	90,7	7,8
7	0,569	88,9	9,4	0,633	91,1	7,8	0,669	92,4	7,0	0,717	92,8	6,6
8	0,565	87,7	9,7	0,628	89,5	8,2	0,688	91,0	7,9	0,725	91,7	7,9
9	0,582	86,3	10,4	0,626	91,7	7,2	0,686	91,6	7,1	0,717	94,1	5,1
10	0,568	88,9	9,1	0,643	89,8	8,1	0,668	92,3	6,8	0,731	92,3	7,8
11	0,590	87,4	9,5	0,644	91,6	7,7	0,690	91,8	6,9	0,735	91,5	7,1
12	0,586	89,5	9,0	0,637	86,4	10,2	0,676	89,8	8,2	0,731	92,3	7,2
13	0,565	87,6	10,3	0,639	90,5	8,3	0,685	90,6	7,6	0,740	90,7	7,5
14	0,580	87,2	10,6	0,627	89,8	8,5	0,683	91,5	7,2	0,734	90,9	8,0
15	0,580	88,7	9,4	0,634	90,3	8,2	0,666	90,9	8,2	0,720	91,2	7,5
16	0,585	89,3	10,1	0,644	91,6	7,7	0,684	90,8	8,0	0,735	91,5	7,1
17	0,591	88,2	9,8	0,641	89,8	9,1	0,676	89,8	8,2	0,730	89,3	9,8
18	0,592	88,4	9,6	0,635	89,8	8,8	0,686	91,0	8,2	0,724	89,8	8,4
19	0,586	88,5	9,9	0,640	89,7	8,2	0,687	90,8	7,6	0,731	91,7	7,1
20	0,588	86,7	10,5	0,639	87,9	9,2	0,692	91,0	7,3	0,729	91,0	7,4
Médias	0,584	88,19	9,82	0,635	89,90	8,55	0,682	91,20	7,68	0,729	91,65	7,43

Tabela 31 - Valores médios obtidos no experimento irrigação na metodologia de Keller e Karmeli (1975), para os quatro tratamentos

Irrigação	Pressão de serviço: 1,2 mca			Pressão de serviço: 1,4 mca			Pressão de serviço: 1,6 mca			Pressão de serviço: 1,8 mca		
	Vazão Média (L h ⁻¹)	CUD (%)	CV (%)	Vazão Média (L h ⁻¹)	CUD (%)	CV (%)	Vazão Média (L h ⁻¹)	CUD (%)	CV (%)	Vazão Média (L h ⁻¹)	CUD (%)	CV (%)
1	0,600	86,7	11,0	0,654	87,1	10,6	0,706	89,9	9,4	0,737	89,1	10,0
2	0,607	86,9	11,4	0,652	87,4	10,6	0,710	88,7	9,0	0,749	91,2	8,0
3	0,588	86,3	11,2	0,636	90,4	9,2	0,695	93,2	7,0	0,754	89,9	8,8
4	0,604	87,1	11,7	0,637	87,5	10,8	0,691	87,7	10,2	0,728	91,2	8,0
5	0,597	84,8	12,7	0,630	87,9	10,9	0,678	90,5	8,1	0,722	90,5	8,2
6	0,583	87,5	10,9	0,635	85,8	10,8	0,677	90,1	8,2	0,748	89,2	8,9
7	0,569	87,9	10,9	0,638	88,9	9,0	0,678	90,7	8,5	0,722	90,7	8,4
8	0,560	83,3	12,8	0,631	88,4	9,2	0,698	89,9	9,0	0,738	91,5	7,4
9	0,587	83,8	12,5	0,627	89,3	8,7	0,672	85,7	11,9	0,725	92,6	6,6
10	0,570	87,7	10,4	0,648	89,7	8,8	0,675	89,6	8,2	0,743	90,2	9,7
11	0,596	87,7	10,4	0,650	88,3	9,7	0,698	89,9	8,3	0,738	89,6	8,6
12	0,595	88,4	10,0	0,640	84,0	12,0	0,689	89,3	9,0	0,744	90,7	8,6
13	0,570	85,5	11,7	0,651	87,2	10,0	0,694	90,1	8,4	0,753	88,1	8,5
14	0,588	85,2	12,4	0,635	88,4	10,1	0,689	89,4	9,0	0,733	90,2	9,9
15	0,590	86,2	11,2	0,647	87,5	10,0	0,673	89,2	9,5	0,728	89,3	9,1
16	0,586	81,1	14,0	0,650	88,3	9,7	0,690	88,8	10,0	0,738	89,6	8,6
17	0,597	85,6	12,2	0,650	87,3	10,7	0,689	89,3	9,0	0,744	88,9	9,2
18	0,595	86,3	11,2	0,646	87,5	10,6	0,701	88,1	10,1	0,738	87,4	9,1
19	0,578	84,6	13,6	0,645	87,6	10,0	0,693	88,4	9,5	0,736	90,4	8,4
20	0,599	84,1	12,7	0,643	85,9	11,0	0,697	89,1	8,4	0,742	88,9	8,7
Médias	0,588	85,8	11,7	0,642	87,7	10,1	0,690	89,3	9,0	0,738	89,9	8,6

APÊNDICE B

GRÁFICOS DAS ANÁLISES DOS RESÍDUOS PARA DENÍCULI *ET AL.* (1980) NO EXPERIMENTO FERTIRRIGAÇÃO

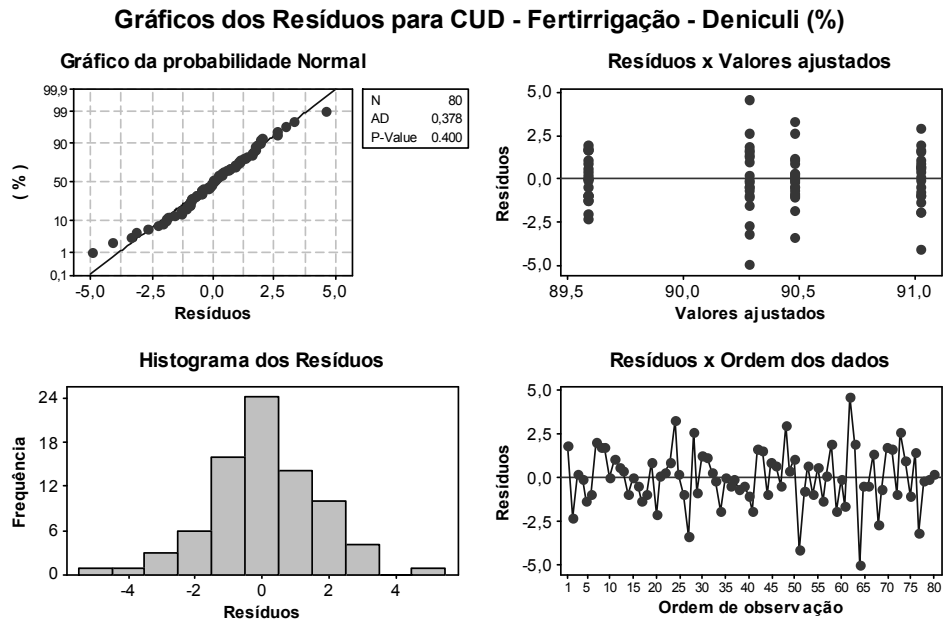
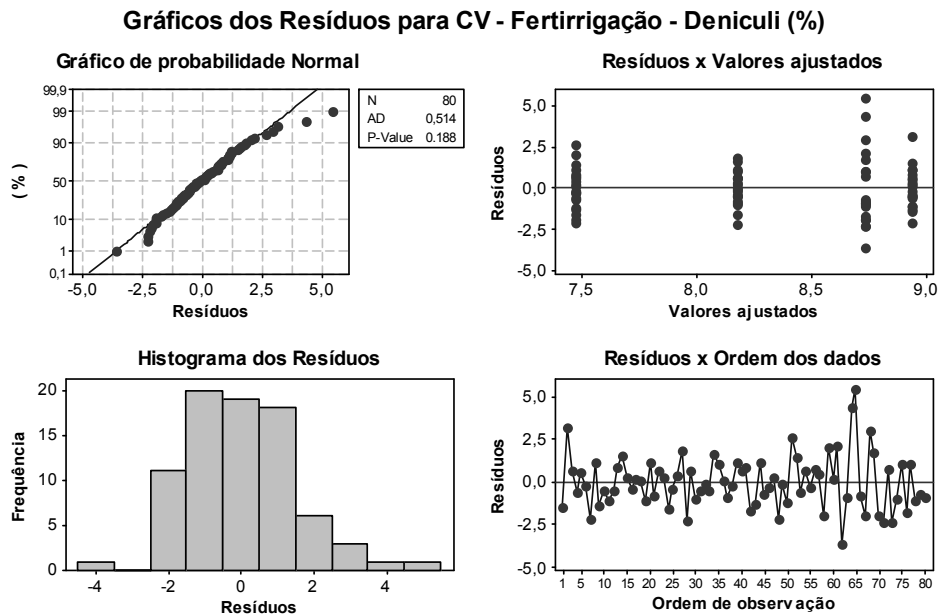


Figura 24 - Gráficos de análise de resíduos para as metodologias de Keller e Karmeli (1975) e Denículi *et al.* (1980) com fertirrigação e irrigação

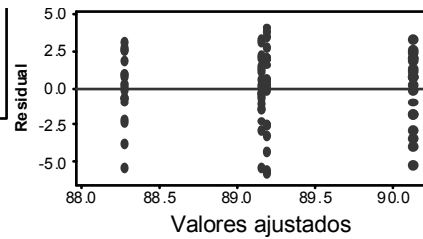
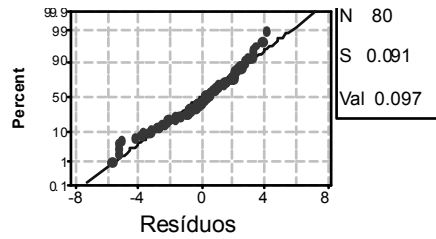


GRÁFICOS DAS ANÁLISES DOS RESÍDUOS PARA KELLER E KARMELI (1975) NO EXPERIMENTO FERTIRRIGAÇÃO

Gráficos dos Resíduos para CUD - Fertirrigação – Keller (%)

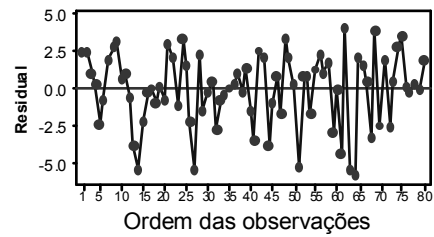
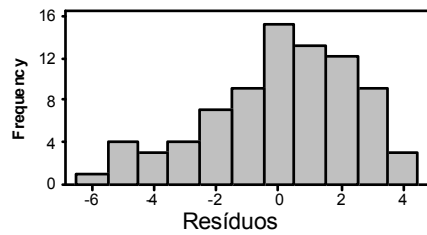
Gráfico de probabilidade normal

Resíduos x valores ajustados



Histograma dos resíduos

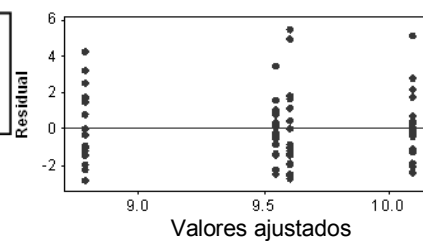
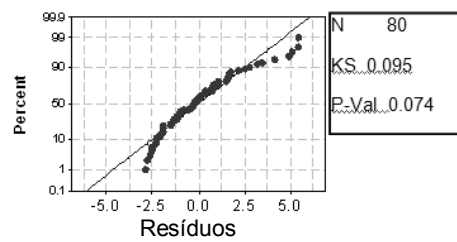
Resíduos x Ordem dos dados



Gráficos dos Resíduos para CV - Fertirrigação – Keller (%)

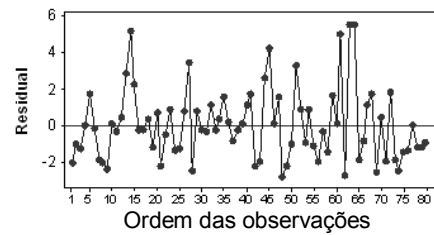
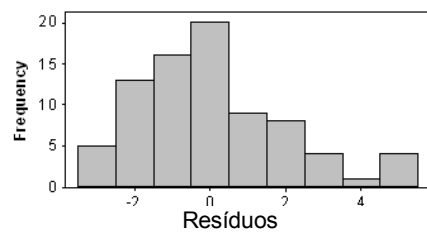
Gráfico de probabilidade normal

Resíduos x valores ajustados



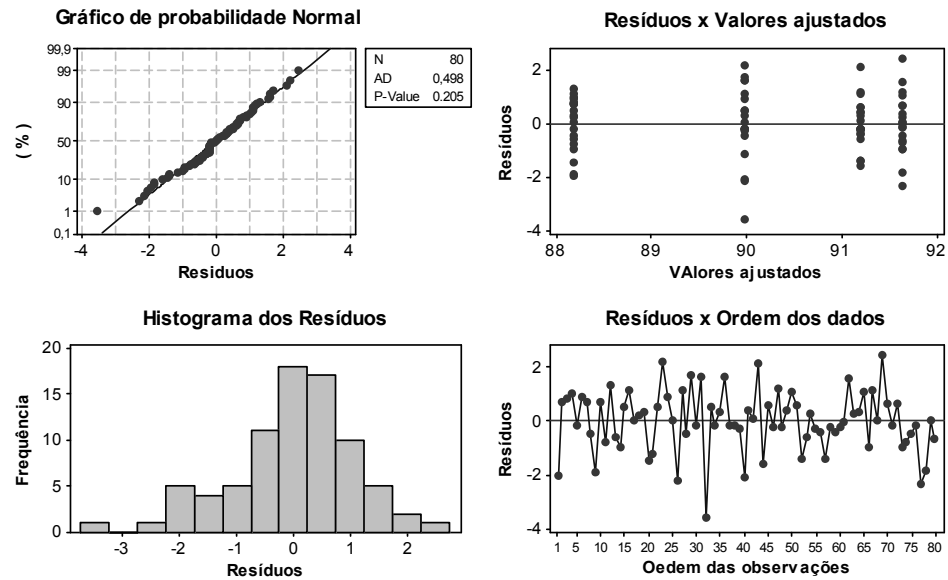
Histograma dos resíduos

Resíduos x Ordem dos dados

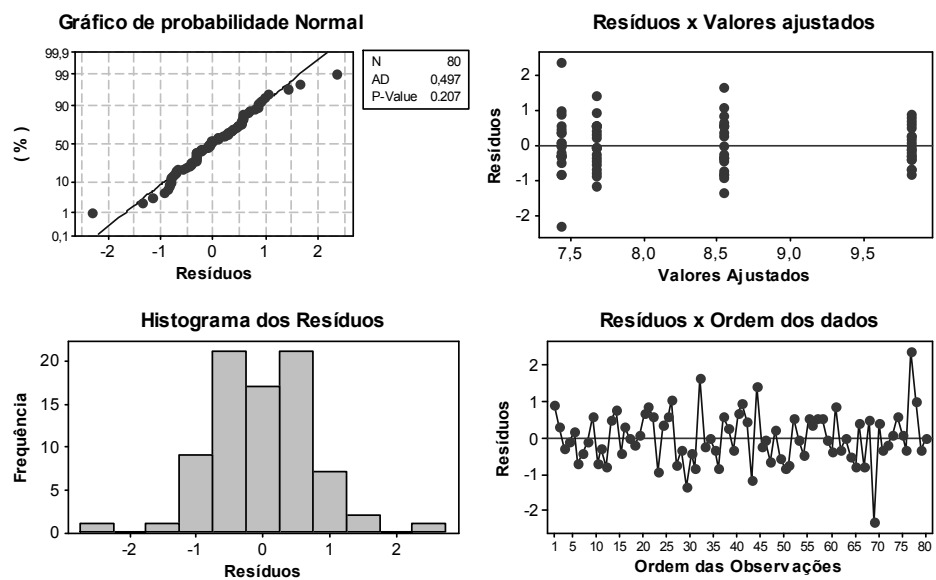


GRÁFICOS DAS ANÁLISES DOS RESÍDUOS PARA DENÍCULI *ET AL.* (1980) NO EXPERIMENTO IRRIGAÇÃO

Gráficos dos Resíduos para CUD - Irrigação - Deniculi (%)

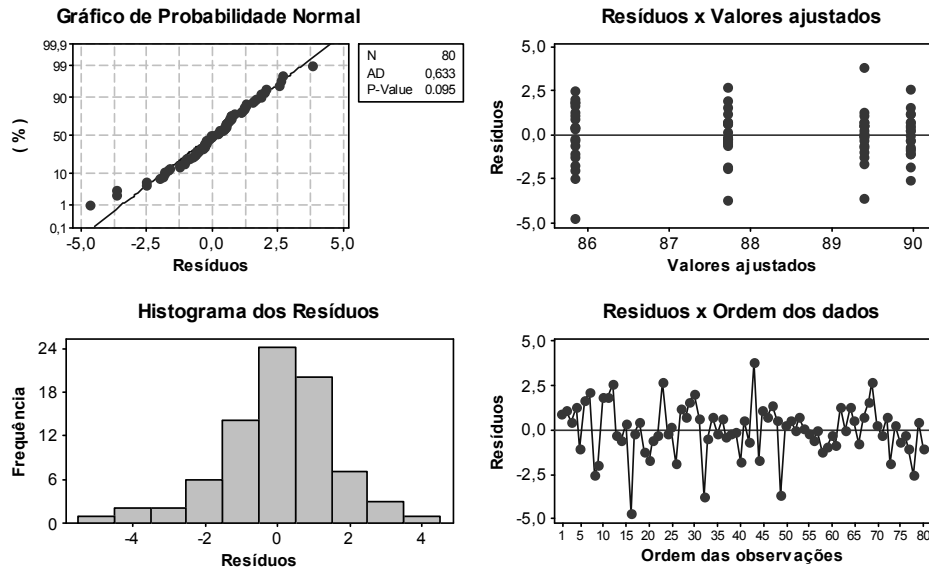


Gráficos dos Resíduos para CV - Irrigação - Deniculi (%)



GRÁFICOS DAS ANÁLISES DOS RESÍDUOS PARA KELLER E KARMELI (1975) NO EXPERIMENTO IRRIGAÇÃO

Gráficos dos Resíduos para CUD - Irrigação - Keller (%)



Gráficos dos Resíduos para CV - Irrigação – Keller (%)

