

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EDUARDO LUIZ MAZOTTI

**AVALIAÇÃO DA UNIFORMIDADE DA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO EM  
DIFERENTES PRESSÕES DE TRABALHO**

PALOTINA, PR

2016



EDUARDO LUIZ MAZOTTI

**AVALIAÇÃO DA UNIFORMIDADE DA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO EM  
DIFERENTES PRESSÕES DE TRABALHO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao curso de Agronomia  
da Universidade Federal do Paraná -  
Setor de Palotina como requisito à  
obtenção do título de Engenheiro  
Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Maurício  
Guy de Andrade

PALOTINA, PR

2016

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Ivan Carlos Mazotti e Claudete Spenazzato Mazotti, por todo o apoio durante esta e as demais jornadas de minha vida. Aos meus irmãos Cristian Luiz Mazotti e Maicon Luiz Mazotti pelo companheirismo.

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Maurício Guy de Andrade, por toda sua dedicação e empenho para ajudar e transmitir conhecimento ao longo de todo o processo de realização do meu experimento.

A todo o corpo docente da Universidade Federal Do Paraná – Setor Palotina, o qual tive a oportunidade de conviver e adquirir conhecimentos ao longo dos últimos anos.

Ao LABHEA pela disponibilidade de estrutura para a realização de experimentos.

A todos meus amigos, em especial ao Thiago Marangoni, Lucas S. da Silva, Vinicius G. C. Pereira, Marcio F. Simoni, Alexsandro A. Barbosa, Augusto C. Nardi, Tiago W. Land, Ana Casagrande, Francis P. Debiazi, Augusto S. Binsfeld e tantos outros, pelo companheirismo durante esta etapa de minha vida a qual sempre será lembrada.

A meus companheiros acadêmicos, Hugo da Silva Meneguette, Matheus Galvão e Roger Jesuíno pelas contribuições durante o experimento.

Em especial a, Sabrina Holz pela grande amizade, paciência e disponibilidade para auxiliar-me durante todos os momentos de minha fase acadêmica.

*"Os homens só serão grandes, se estiverem realmente decididos a sê-lo."*

## RESUMO

Diante da incessante busca por elevadas produtividades agrícolas com menores custos e racionalização no uso da água, a irrigação mostra-se uma prática fundamental para atender essas exigências. Dentre os vários métodos irrigação o por gotejamento apresenta uma das melhores distribuição e um elevado nível de racionalização de água. Com base nessas informações este trabalho teve como objetivo avaliar a uniformidade de distribuição de água e fertilizante em diferentes pressões de trabalho utilizando irrigação por gotejamento. O experimento foi realizado em estufa, em uma área experimental da Universidade Federal do Paraná, na cidade de Palotina, com um delineamento experimental fatorial  $2 \times 2$ , sendo os fatores: forma de irrigação (com água tratada e com fertilizantes) e pressão de trabalho (40-60 kPa e 90-100 kPa), totalizando 4 tratamentos com 25 repetições. Foi utilizado a metodologia de coleta proposta por Keller e Karmeli (1975), onde através de 16 coletores amostrados foi medida a variável de pressão. Por meio dos dados de vazão obtidos determinou-se o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), posteriormente realizou-se os testes de comparação de médias (Teste de Tukey) para ambos os coeficientes de uniformidade. A pressão de trabalho não apresentou influência na uniformidade de distribuição de água, porém a utilização de fertilizantes na irrigação fez com que os resultados da uniformidade de distribuição fossem menores do que os tratamentos que utilizaram água tratada. Embora os coeficientes de uniformidade CUC e CUD tenham alcançado níveis considerados excelentes, a uniformidade de distribuição teve um decréscimo de acordo com o tempo, supõe-se que isto ocorreu devido ao maior número de entupimentos dos gotejadores, resultado do uso contínuo do sistema de irrigação.

Palavras-Chave: CUC, CUD, irrigação localizada.

## **ABSTRACT**

Faced with the incessant search for high agricultural productivity with lower costs and rationalization in water use, irrigation is a fundamental practice to meet these demands. Among the several irrigation methods the drip irrigation has one of the best distribution and a high level of rationalization of water. Based on this information, this work had as objective to evaluate the uniformity of water and fertilizer distribution in different working pressures using drip irrigation. The experiment was carried out in an experimental area of the Federal University of Paraná, in the city of Palotina, with a 2 x 2 factorial experimental design, with the following factors: irrigation (with treated water and fertilizers) and working pressure (40-60 kPa and 90-100 kPa), totaling 4 treatments with 25 replicates. It was used the methodology of collection proposed by Keller and Karmeli (1975), where through 16 sampled collectors the pressure variable was measured. The coefficient of uniformity of Christiansen (CUC) and the coefficient of uniformity of distribution (CUD) were determined by means of the obtained data, after which the tests of comparison of means (Tukey Test) for both coefficients of uniformity. The working pressure had no influence on the uniformity of water distribution, but the use of fertilizers in the irrigation made the results of the distribution uniformity smaller than the treatments that used treated water. Although the CUC and CUD uniformity coefficients reached excellent levels, uniformity of distribution decreased with time, it is assumed that this occurred due to the greater number of clogging of drippers, as a result of the continuous use of the irrigation system.

Keywords: CUC, CUD, Localized irrigation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>FIGURA 1. FOTO EXTERNA DA ÁREA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>13</b>
<b>FIGURA 2. COMPONENTES DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>FIGURA 3. IDENTIFICAÇÃO DOS COLETORES SELECIONADOS PARA ANÁLISE .....</b>	<b>15</b>
<b>FIGURA 4. SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO ENSAIADO COM PLATAFORMA MÓVEL .....</b>	<b>15</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1.</b> CLASSIFICAÇÃO DO COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE CHRISTIANSEN (CUC) .....	17
<b>TABELA 2.</b> CLASSIFICAÇÃO DO COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO (CUD) .....	18
<b>TABELA 3.</b> ESTATÍSTICA DESCRITIVA DO COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE CHISTIANSEN (CUC) .....	19
<b>TABELA 4.</b> ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS VALORES DE CUC .....	20
<b>TABELA 5.</b> TESTE DE MÉDIAS DE TUKEY PARA OS VALORES DE CUC .....	20
<b>TABELA 6.</b> ESTATÍSTICA DESCRITIVA DO COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO (CUD) .....	21
<b>TABELA 7.</b> ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS VALORES DE CUD .....	22
<b>TABELA 8.</b> TESTE DE MÉDIAS DE TUKEY PARA OS VALORES DE CUD .....	22

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	12
2.1. OBJETIVO GERAL .....	12
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	13
3.1. PLANEJAMENTO DO EXPERIMENTO.....	13
3.2. METODOLOGIA DE COLETA .....	14
3.3. TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....	16
3.4. AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO E A UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO.....	16
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	19
4.1. COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE CHRISTIANSEN.....	19
4.1.1. Análise de variância e Teste de comparação de médias para os valores do CUC .....	20
4.2. COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO (CUD) .....	21
4.2.1. Análise de variância e Teste de comparação de médias para os valores do CUD	
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	24
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	25

## 1. INTRODUÇÃO

Elevada produtividade agrícola e economia de água são temas relevantes em muitas discussões científicas no mundo. A irrigação é uma prática fundamental para atender a essas exigências e pode ser realizada por diversos métodos, diferenciando-se pela economia de água, eficiência de aplicação e praticidade de operação (TESSARO, 2012).

A agricultura consome em média 70% de todo volume captado de água doce superficial e a irrigação é a responsável pela maior demanda. Atualmente, mais da metade da população mundial depende de alimentos produzidos em áreas irrigadas (CHRISTOFIDIS, 2010).

Dentre os vários tipos de irrigação a localizada ganhou maior destaque a partir das décadas de 60 e 70 (AIROLDI, 2007). Este método de irrigação apresenta a melhor distribuição de água; minimiza os impactos ambientais negativos e transforma-se em alternativa viável para a agricultura irrigada sustentável (BHATTARAI, MIDMORE; PENDERGAST, 2008).

A irrigação por gotejamento é o método que possui maior racionalização de água e o sucesso dessa prática está relacionado à utilização de técnicas adequadas de manejo que visam à minimização do uso da água e aumento da produtividade. Geralmente, o sistema é composto por complexos mecanismos de controle que irrigam culturas com alto valor agregado, viabilizando o investimento (TESSARO, 2012).

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 restrições do tamanho de suas propriedades (SILVA, 2006) Os sistemas de irrigação por gotejamento de baixo custo podem mudar estilos de vida familiar, aumentar a renda, criar emprego, gerar segurança alimentar e melhorar a nutrição familiar, podendo reduzir em 50% o uso de água quando comparado aos demais sistemas, tornando-o compatível com o viés de sustentabilidade (MAISIRI et al., 2005).

A utilização de fertilizantes na irrigação, conhecida como fertirrigação ou fertigação, é o processo de aplicação conjunta de água e fertilizantes, por meio de um sistema de irrigação (FERNANDES; COELHO; BOTREL, 2003). Na irrigação por gotejamento, a fertirrigação é mais eficiente em comparação a outros métodos, devido à aplicação da água diretamente no sistema radicular da planta, possibilitando a melhoria do uso de insumos em diversas culturas, tanto em aspectos relacionados ao aumento da produtividade quanto na qualidade desses produtos (HERMES *et al.*, 2014).

A porcentagem de área que deve ser adequadamente irrigada depende da disponibilidade de água para irrigação e no solo, principalmente no planejamento de áreas onde o recurso água é limitado. A uniformidade da aplicação de água e o manejo da irrigação utilizado afetam significativamente o rendimento da cultura e de água (LÓPEZ-MATA *et al.*, 2010). Assim a uniformidade deve ser vista como um fator preponderante na aquisição de equipamentos de irrigação (BRAUER *et al.*, 2011).

De acordo com Costa (1994), a uniformidade de irrigação é influenciada por diversos fatores incluindo a pressão de serviço. Segundo Coelho, Silva e Souza (2000), a irrigação por gotejamento funciona na faixa de pressão de 50 kPa a 250 kPa.

Biscaro (2014) descreve que a pressão de serviço não deve ser muito baixa para que não ocorram problemas de uniformidade na distribuição de água nem perdas de cargas desnecessárias.

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

Dentre os diversos coeficientes utilizados para avaliar a uniformidade de aplicação de sistemas de irrigação por gotejamento destacam-se; o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) proposto por CHRISTIANSEN (1942) e o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) desenvolvido por Merriam e Keller (1978). É importante a avaliação da uniformidade de distribuição por métodos universalmente aceitos, para minimizar alguns dos possíveis problemas causados pela desuniforme distribuição de água, tais métodos podem ser o CUC e o CUD. (ZHANG; WU; ZHU, 2013; ZHANG, MERKLEY, 2012; BONFIM *et al.*, 2014).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a uniformidade de distribuição de água e fertilizante em sistema de irrigação por gotejamento, operando em diferentes pressões de trabalho.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD);
- Determinar o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC).

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. PLANEJAMENTO DO EXPERIMENTO

O experimento foi implantado em área experimental da Universidade Federal do Paraná – UFPR, no Setor Palotina, sem interferência da maioria dos fatores abióticos por ser realizado em estufa como Figura 1, coordenadas geográficas 24° 17'36" de latitude Sul e 53° 50' 27" de longitude Oeste e altitude de 327 metros, de acordo com dados do receptor de satélites da marca Garmin, modelo Etrex30.

**Figura 1.** FOTO EXTERNA DA ÁREA EXPERIMENTAL



Fonte: O autor ( 2016)

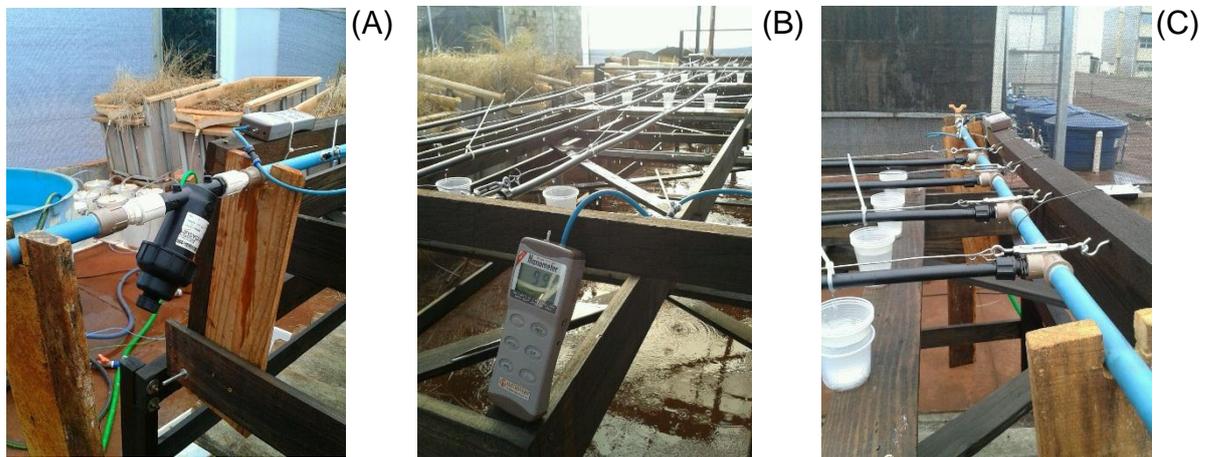
A metodologia de planejamento utilizada foi a proposta por Hernandez (2010), onde as variáveis da pesquisa foram divididas em controláveis e não controláveis. As variáveis controláveis do experimento foram: pressão, passagem de água, concentração de fertilizante, entupimento do filtro e carga hidráulica. As variáveis não controláveis foram: qualidade da água, temperatura da água, temperatura do ar, insolação, qualidade do fertilizante e entupimento dos emissores.

Para realização da pesquisa foi montado um sistema de irrigação por gotejamento, sendo este colocado na parte superior de uma bancada de madeira com área de 9,60 m<sup>2</sup> (6,00 m x 1,60 m).

O sistema de gotejamento foi constituído de tubo gotejador novo do Modelo P1 da marca SIPLAST, com diâmetro de 16 mm, com filtro de entrada com área de 7,5 mm<sup>2</sup> e um total de 8 orifícios e com vazão de 2,10 Lh<sup>-1</sup> na pressão de 100 kPa, com espaçamento entre gotejadores de 0,20 m, tendo uma linha principal e 4 linhas laterais, com 27 gotejadores por linha, totalizando 108 gotejadores, com uma vazão total média de 226,80 Lh<sup>-1</sup>. Foi utilizado para evitar o entupimento do sistema um filtro de 120 mesh, como recomendado pelo fabricante e instalado próximo ao reservatório.

O reservatório utilizado tem uma capacidade de 1000 litros. Foi utilizada uma bomba hidráulica com potência nominal de 735,99 W com vazão controlada através de dois registros para a pressão média dos ensaios próxima ao desejável para cada tratamento. A pressão foi medida no início e no final do sistema com dois manômetros digitais ITMPD-15 Instrutemp, Modelo 8215, com precisão de  $\pm 0,3\%$ . A Figura 2 demonstra alguns componentes do sistema de irrigação.

**Figura 2.** COMPONENTES DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO



(A) Filtro de entrada; (B) manômetro e linhas laterais; (C) linha principal.

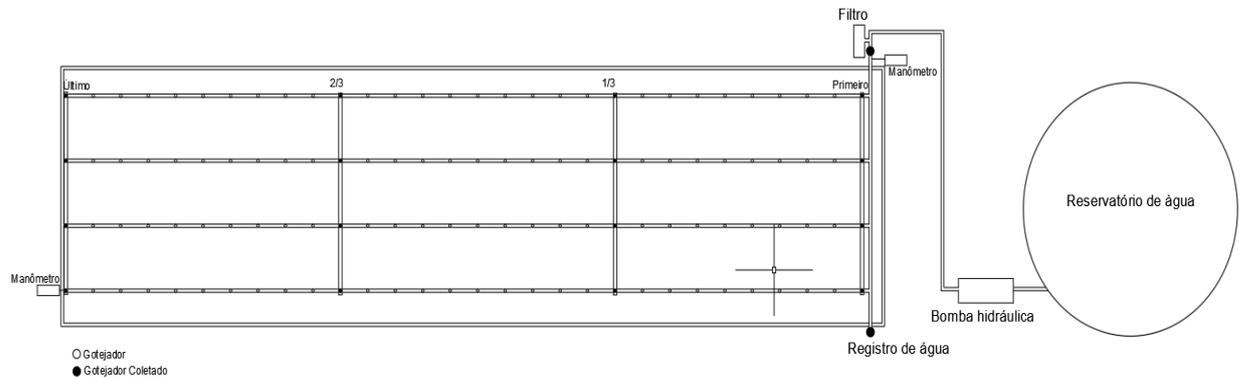
Fonte: O autor (2016)

### 3.2. METODOLOGIA DE COLETA

A metodologia adotada para coleta dos dados foi proposta por Keller e Karmeli (1975) e consiste em selecionar 16 pontos de coleta, situados no primeiro gotejador

da linha lateral, o gotejador que está a um  $1/3$  do comprimento total da linha lateral, o gotejador que está a  $2/3$  do comprimento e o último gotejador da linha, conforme a Figura 3.

**Figura 3. IDENTIFICAÇÃO DOS COLETORES SELECIONADOS PARA ANÁLISE**



Fonte: Andrade (2016).

Foram realizados 25 ensaios para cada um dos tratamentos, sendo que o tempo de coleta foi de 3 minutos, de acordo com Keller e Karmeli (1975). Antes da coleta dos dados, o sistema foi ligado por 5 minutos até que se estabiliza-se o sistema de irrigação, em relação à vazão e pressão. Antes de cada ensaio foi realizada a limpeza do filtro para evitar entupimentos que pudessem afetar os ensaios. Estes seguiram as normas propostas pela NBR ISO 9261 (ABNT, 2006). Para que todos os coletores fossem colocados ao mesmo tempo sob os gotejadores já em operação e para facilitar a retirada dos coletores no tempo estimado sem que houvesse uma adição de água o que poderia vir a fornecer dados não verdadeiros, desenvolveu-se uma plataforma de madeira móvel a qual está apresentada na Figura 4.

**Figura 4. SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO ENSAIADO COM PLATAFORMA MÓVEL**



Fonte: O autor (2016)

Para que fosse válido um ensaio foram realizados 2 coletas (duplicata), sendo utilizado o peso médio das repetições, para determinação dos coeficientes de uniformidade CUC e CUD. Objetivando maior precisão dos dados, foram pesados os coletores, no próprio local dos ensaios, os coletores em uma balança semi-analítica, classe II, com capacidade de 500g e sensibilidade de 0,001g para obtenção precisa da uniformidade.

### 3.3. TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental utilizado foi um delineamento fatorial, com dois níveis sendo realizado com o sistema de água tratada e fertirrigação e com pressões de 90 – 100 kPa e 40 – 50 kPa, com 25 repetições. As variáveis respostas dos ensaios foram o peso dos coletores (g) e pressão (kPa) medida no início e no final do sistema.

Os tratamentos realizados foram:

T1- Sistema com água tratada e com pressão 90 – 100 kPa

T2- Sistema com água tratada e com pressão 40 – 60 kPa

T3- Sistema com fertirrigação e com pressão 90 – 100 kPa

T4- Sistema com fertirrigação e com pressão 40 – 60 kPa

Nos ensaios com fertirrigação foi utilizado o fertilizante com formulação de 12% de nitrogênio, 5% de fósforo (na forma de fosfato) e 15% de potássio, recomendado para crescimento inicial de hortaliças. Foram realizadas limpezas com água tratada devido ao possível aumento de gotejadores entupidos com o uso de fertirrigação.

### 3.4. AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO E A UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO

Para avaliar o sistema de irrigação por gotejamento e a uniformidade de aplicação foram selecionados os seguintes critérios de avaliação: Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), desenvolvido por Christiansen (1942) e o

Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), proposto por Merriam e Keller (1978).

Para o cálculo do CUC, utilizou-se a equação 1, que é baseada no desvio médio como medida de dispersão:

$$CUC = \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |qa - qi|}{nqa} \right) \times 100 \quad \text{Eq.(01)}$$

Sendo:  $qi$  - lâmina de cada emissor  $\text{mm.h}^{-1}$ ;

$qa$  - lâmina média dos emissores  $\text{mm.h}^{-1}$ ;

$n$  - número de emissores.

Para a classificação dos dados de CUC utilizou-se a proposta de Bernardo, Soares e Mantovani (2008), que classificam a uniformidade da distribuição conforme a Tabela 1.

**Tabela 1.** CLASSIFICAÇÃO DO COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE CHRISTIANSEN (CUC)

CUC	Classificação
90% ou maior	Excelente
80% até 90%	Bom
70% até 90%	Regular
60% até 70%	Ruim
Menor que 60 %	Inaceitável

Fonte: Bernardo, Soares e Mantovani (2008).

O cálculo do CUD é baseado na razão entre os 25% das vazões mínimas e as vazões médias dos emissores. Para calcular o CUD:

$$CUD = \frac{\bar{q}_{25}}{\bar{q}_a} 100 \quad \text{Eq.(02)}$$

Em que:  $q_{25}$  - lâmina média das 25% menores descargas dos emissores  $\text{mm.h}^{-1}$ ;  
 $q_a$  - lâmina média dos emissores  $\text{mm.h}^{-1}$

Para a classificação dos dados de CUD foi utilizada a proposta de Bralts (1986), que classifica a uniformidade de distribuição conforme a Tabela 2.

**Tabela 2.** CLASSIFICAÇÃO DO COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO (CUD)

CUD	Classificação
90% ou maior	Excelente
80% até 90%	Bom
70% até 90%	Regular
60% até 70%	Ruim
Menor que 60 %	Inaceitável

Fonte: Bralts (1986).

Após os ensaios foram realizadas as análises estatísticas descritivas dos dados coletados como média, desvio padrão, máximo e mínimo e coeficiente de variação. O teste de média de Tukey ao nível de significância 1% foi calculado utilizando o software ASSISTAT Versão 7.7 beta (2016).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE CHRISTIANSEN

A seguir na Tabela 3, são apresentados os dados da estatística descritiva do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC).

**Tabela 3.** ESTATÍSTICA DESCRITIVA DO COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE CHISTIASEN (CUC)

Tratamentos	Nº de Ensaio	Média %	Desvio Padrão %	CV (%)	Mínimo %	Máximo %
T1	25	98,84965	0,108396	0,109657	98,50467	99,05248
T2	25	97,86059	0,346921	0,354505	97,07816	98,42395
T3	25	96,09275	1,498438	1,559367	91,39405	98,5536
T4	25	97,31128	0,919928	0,945346	95,05252	98,58738

De acordo com Bernardo, Soares e Mantovani (2008), os resultados do CUC foram considerados excelentes pois se encontram acima de 90% de uniformidade. O coeficiente de variação de todos os tratamentos foi abaixo de 10%, demonstrando assim uma homogeneidade dos dados (PIMENTEL GOMES, 2009).

Nota-se que os valores de CUC utilizando a fertirrigação, mesmo estando acima de 90%, apresentaram um decréscimo em relação aos tratamentos com água tratada. Algo semelhante foi observado por Hermes et al (2013) que determinaram valores médios de CUC de 95,21% para ensaios de gotejamento com água limpa e 88,67% para fertirrigação com água residuária de processamento de mandioca.

Segundo Andrade (2016), controlando-se as variáveis que influenciam na irrigação, torna-se comum, obter valores elevados de CUC, assim como Pletsch et al. (2009) com a utilização de gotejadores novos obtiveram um CUC acima de 98%.

#### 4.1.1. Análise de variância e Teste de comparação de médias para os valores do CUC

Na Tabela 4, foi realizada a análise de variância para os valores de CUC.

**Tabela 4.** ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS VALORES DE CUC

Fator de Variação	GL	SQ	QM	F
Forma de irrigação (F1)	1	6,831869	6,831869	84,7709**
Pressão(F2)	1	0,32908	0,32908	0,4083 ns
Interação F1xF2	1	3,045916	3,045916	37,7942 **
Tratamentos	3	9,910693	3,303564	40,9911**
Resíduo	96	7,736847	080592	
Total	99	176,47541		

\*\* = significativo ao nível de 1%; ns = não significativo.

Analisando a Tabela 4, considerando um nível de significância de 1%, observou-se que o fator de variação, forma de irrigação, foi significativo para os valores de CUC, já o fator de variação, pressão, apresentou-se não significativo para os valor de CUC. A interação entre os fatores de variação também foi significativa, mas percebe-se pelo valor do F calculado que a forma de irrigação tem uma maior influência na uniformidade de irrigação do que a interação entre os fatores.

A seguir na Tabela 5, demonstra-se o teste de comparação de médias de Tukey para os valores do CUC.

**Tabela 5.** TESTE DE MÉDIAS DE TUKEY PARA OS VALORES DE CUC

		Pressão	
		40 - 60 (kPa)	90 - 100 (kPa)
Forma de irrigação	com água tratada	97,8606 aB	98,8497 aA
	com fertilizante	97,3113 bA	96,0928 bB

Obs: As médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, e maiúscula, na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

De acordo com a Tabela 5, o tratamento que utilizou água tratada e pressão elevada (T1), juntamente com o tratamento que utilizou água tratada e pressão mais baixa (T2) apresentaram as médias mais altas do CUC. O coeficiente de uniformidade de Christiansen médio não se diferencia estaticamente entre a água tratada e a pressão, já em relação a fertirrigação e a pressão existe diferença estatística, o processo quando realizado com fertirrigação apresenta valores médios de CUC menores. O tratamento 4 mesmo com pressão mais baixa apresentou maior valor que o tratamento 3, o que pode ser explicado devido a maior quantidade de limpezas realizadas durante o tratamento 4, sendo que já havia sido notado no tratamento 3 que a utilização de fertilizantes apresentou mais possíveis entupimentos de emissores.

#### 4.2. COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO (CUD)

A seguir na Tabela 6, são apresentados os dados da estatística descritiva do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD).

**Tabela 6.** ESTATÍSTICA DESCRITIVA DO COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO (CUD)

Tratamentos	Nº de Ensaio	Média %	Desvio Padrão %	CV (%)	Mínimo %	Máximo %
T1	25	98,21121	0,182197	0,185516	97,68651	98,40733
T2	25	96,13341	0,608408	0,632879	94,41223	97,2193
T3	25	92,64783	2,895424	3,125193	84,61824	97,64961
T4	25	95,05204	2,036074	2,142063	90,26349	97,97354

Os valores médios de CUD são considerados excelentes pois se encontram acima de 90% (BRALTS, 1986). Os dados apresentam homogeneidade, pois os coeficientes de variação encontram-se todos abaixo de 10% (PIMENTEL GOMES, 2009).

Observou-se no CUD a influência da fertirrigação, assim como em Borssoi et al. (2012) obtiveram valores médios maiores na irrigação utilizando água do que na utilização de fertilizantes.

Plestsch et al (2009) obtiveram valores médios para o CUD superiores a 98%, utilizando gotejadores novos.

#### 4.2.1. Análise de variância e Teste de comparação de médias para os valores do CUD

Na Tabela 7, foi realizada a análise de variância para os valores de CUD.

**Tabela 7.** ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS VALORES DE CUD

Fonte deVariação	GL	SQ	QM	F
Forma de irrigação (F1)	1	275,95389	275,95389	85,3523 **
Pressão(F2)	1	0,66587	0,66587	0,2060 ns
Int. F1xF2	1	125,55216	125,55216	38,8333 **
Tratamentos	3	402,17192	134,05731	41,4639 **
Resíduo	96	310,37848	3,23311	
Total	99	712,55040		

\*\* = significativo ao nível de 1%; ns = não significativo.

Analisando a Tabela 7, considerando um nível de significância de 1%, observou-se que o fator de variação, forma de irrigação, foi significativo para os valores de CUD, já o fator de variação, pressão, apresentou-se não significativo para os valor de CUD. A interação entre os fatores de variação também foi significativa, mas percebe-se pelo valor do F calculado que a forma de irrigação tem uma maior influência na uniformidade de irrigação do que a interação entre os fatores.

A seguir na Tabela 8, demonstra-se o teste de comparação de médias de Tukey para os valores do CUD.

**Tabela 8.** TESTE DE MÉDIAS DE TUKEY PARA OS VALORES DE CUD

		Pressão	
		40 - 60 (kPa)	90 - 100 (kPa)
Forma de irrigação	com água tratada	96,1334 aB	98,2112 aA
	com fertilizante	95,0520 bA	92,6478 bB

Obs: As médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, e maiúscula, na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Observando a tabela 8, nota-se que assim como no teste realizado para o CUC, os tratamentos T1 e T2 apresentam médias maiores que os tratamentos T3 e T4, sendo os dois últimos, tratamentos que utilizaram fertirrigação, isto pode ser explicado devido ao fato da pressão não influenciar significativamente a uniformidade e de a fertirrigação apresentar o que acredita-se ser um nível mais alto de entupimento dos gotejadores que a água tratada.

Zhang e Merkley (2012), assim como Andrade (2016) obtiveram valores de CUC superiores aos de CUD, o mesmo foi observado no presente trabalho.

Os resultados da pesquisa foram similares aos calculados por Borssoi et al. (2012) que observou em sua pesquisa, com irrigação por gotejamento, valores de 85,84% a 91,65% quando utilizando água e de 88,28% até 91,03% quando utilizando a fertirrigação.

Ao realizarem ensaios de tubos gotejadores com água residuária de laticínios Marques et al. (2016) observaram que quanto maior o tempo de operação menor o valor da uniformidade. Isto também foi observado nesta pesquisa o que acredita-se estar relacionado a ocorrência de entupimentos dos gotejadores.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Todos os tratamentos foram considerados excelentes, pelos valores dos coeficientes de uniformidade, tanto pelo CUC quanto pelo CUD.

A irrigação com água tratada apresentou melhores valores de uniformidade de distribuição do que a irrigação utilizando fertilizantes. E o tratamento 1 apresentou os melhores resultados de uniformidade ( CUC = 98,85% e CUD = 98,21% ).

A fertirrigação afeta negativamente a uniformidade de distribuição de água.

O tipo de irrigação utilizado teve efeito significativo em CUC e CUD, e a pressão de trabalho não teve efeito significativo nos valores dos coeficientes de uniformidade.

Tendo como base o observado neste experimento recomenda-se para alcançar uma maior uniformidade de distribuição a utilização de água tratada, porém a utilização de fertilizantes não impede que se alcance o padrão de excelência, para isso o sistema deve ser manejado de forma correta e passar por constantes limpezas para que não ocorra o entupimento dos gotejadores.

Sugere-se que os procedimentos realizados neste experimento sejam também realizados á campo em escalas reais e semelhantes a utilizadas por produtores, pois faz-se necessário avaliar se a dimensão do sistema tem influência na uniformidade de aplicação de água. Também experimentos que avaliem a necessidade de limpeza do sistema, quando utilizado diferentes formas de irrigação (água tratada; fertilizantes; água residuária de laticínios; entre outros).

## REFERÊNCIAS

AIROLDI, R. P. S. **Análise do desempenho de gotejadores e da prevenção do entupimento em irrigação com água residuária.** 2007. 140 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

ANDRADE, M. G. **Processo da irrigação localizada utilizando o controle estatístico de qualidade.** 2016. 119 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR ISO 9261. **Equipamentos de irrigação agrícola - Emissores e tubos emissores - Especificação e métodos de ensaio.** São Paulo, 2006.

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.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação.** 8ª ed. Viçosa: editora UFV, p. 625, 2008.

BISCARO, G. A. **Sistema de irrigação localizada.** Dourados-MS; Ed. UFGD, 256p. 2014.

BORSSOI, A. L.; VILAS BOAS, M. A.; REISDORFF, M.; HERNANDEZ, R. H.; FOLADOR, F. A. C. Water application uniformity and fertigation in a dripping irrigation set. **Eng. Agrícola (Impresso)**, v. 32, p. 718-726, 2012.

BHATTARAI, S. P.; MIDMORE, D. J.; PENDERGAST, L. Yield water-use efficiencies and root distribution of soybean, chickpea and pumpkin under different subsurface drip irrigation depths and oxygenation treatments in vertisols. **Irrigation Science**, Heidelberg, v.26, n. 5, p.439-450, 2008.

BRAUER, R. L.; CRUZ, R. L.; VILLAS BÔAS, R. L.; PLETSCH, T. A. Avaliação da uniformidade de aplicação de água em gotejadores em função do teor de ferro. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 1, p. 21-30, 2011.

BRALTS, V. F. **Field performance and evaluation.** In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. (Ed). *Trickle irrigation for crop production.* Amsterdam: Elsevier. p. 216-240, 1986.

COELHO, E.F.; SILVA, J.G.F. da; SOUZA, L.F. da S. Irrigação e fertirrigação. In: TRINDADE, A. V. (Org.) **Mamão produção**: aspectos técnicos. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura; Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2000. (Frutas do Brasil, 3).

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkely: University of California, Experiment Station, p. 124, 1942.

CHRISTOFIDIS, D. Os recursos hídricos e a prática da irrigação no Brasil e no mundo. **Revista ITEM**, Brasília, v.49, n. 1, p.8-13, 2001.

COSTA, M. C. Caracterização hidráulica de dois modelos de microaspersores associados a três reguladores de fluxo e um mecanismo de pulso. 1994. 109 p. Tese (Mestrado em Agronomia). ESALQ/USP, Piracicaba, 1994.

FERNANDES, A. L. T.; COELHO, R. D.; BORTEL, T. A. Avaliação do desempenho hidráulico da bomba injetora indek, para fertigação. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p.409-414, 2003.

HERMES, E.; VILAS BOAS, M. A.; GRIS, D.J. ,FRIGO, E.P.; BERGER, J.S.; LINS, M.A.; FRIGO, J.P. Irrigation with wastewater from cassava processing with different concentrations of suspended solids. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v.12, n. 1, p.487-490, 2014.

HERNÁNDEZ, R. H. **Controle estatístico de processo aplicado na uniformidade da irrigação e fertirrigação por gotejamento**. 2010. 111 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2010.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Glendora: Rain Bird Sprinkler Manufacturing, p. 133, 1975.

LÓPEZ-MATA, E.; TARJUELO, J. M.; JUAN, J. A. D; BALLESTEROS, R.; DOMÍNGUEZ, R. A. Effect of irrigation uniformity on the profitability of crops. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 98, p.190-199, 2010.

MAISIRI, N.; SENZANJE, A.; ROCKSTROM, J.; TWOMLOW, S.J. On farm evaluation of the effect of low cost drip irrigation on water and crop productivity compared to conventional surface irrigation system. **Physics and Chemistry of the Earth**. V. 30, p.783-791, 2005.

MARQUES, B.; CUNHA, V.; CUNHA, V.; SILVA, K.; BATISTA, R. Desempenho de gotejadores operando com água residuária de laticínios em escala laboratorial. **Irriga**, v. 21, n. 1, p. 140-155, 2016.

MERRIAN, J.L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: A guide for management**. Logan: **Agricultural and Irrigation**. Engineering Department, Utah State University, p. 217, 1978.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15<sup>a</sup> Ed. Piracicaba: FEALQ, 2009, 451p.

PLETSCH, T. A.; CRUZ, R. L.; MAZZER, H. R.; OLIVEIRA, E. F. Desempenho de gotejadores com uso de esgoto doméstico tratado. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 2, p. 243-253, 2009.

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.

TESSARO, E. **Efeito da carga hidráulica na uniformidade da irrigação e fertirrigação em sistema de gotejamento**. 2012. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel – PR.

ZHANG, L.; MERKLEY, G. Relationships between common irrigation application uniformity indicators, **Irrigation Science**, v. 30, n. 2, p. 83-88, 2012.