

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

**EFEITO DA CARGA HIDRÁULICA NA UNIFORMIDADE DA IRRIGAÇÃO E
FERTIRRIGAÇÃO EM SISTEMA DE GOTEJAMENTO**

EVANDRO TESSARO

CASCATEL – Paraná - Brasil

Fevereiro - 2012

EVANDRO TESSARO

**EFEITO DA CARGA HIDRÁULICA NA UNIFORMIDADE DA IRRIGAÇÃO E
FERTIRRIGAÇÃO EM SISTEMA DE 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, área de concentração em **Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental**.

Orientador: Prof. Dr. Marcio Antonio Vilas Boas.

CASCADEL – Paraná - Brasil

Fevereiro – 2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Central do Campus de Cascavel – Unioeste
Ficha catalográfica elaborada por Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362

T323e Tessaro, Evandro
Efeito da carga hidráulica na uniformidade da irrigação e fertirrigação
em sistema de gotejamento. / Evandro Tessaro — Cascavel, PR:
UNIOESTE, 2012.
80 f. ; 30 cm.

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

1. Irrigação – Agricultura familiar. 2. Fertirrigação. 3. Uniformidade
de distribuição. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

CDD 21ed. 631.7

Revisor (a) de redação de português: Ana Maria Martins Alves Vasconcelos

Revisor (a) de redação de inglês: Ana Maria Martins Alves Vasconcelos

Revisor (a) de normas: Ana Maria Martins Alves Vasconcelos

EVANDRO TESSARO

**EFEITO DA CARGA HIDRÁULICA NA UNIFORMIDADE DA IRRIGAÇÃO E
FERTIRRIGAÇÃO EM SISTEMA DE GOTEJAMENTO**

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

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

Prof. Dr. Robson André Armino
Universidade Federal do Paraná, UFPR - Curitiba

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

Prof. Dr. Eloy Lemos de Mello
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE - Cascavel

CASCADEL - Paraná - Brasil

FEVEREIRO – 2012

“A vida é uma peça de teatro que não permite ensaios. Por isso, cante, chore, dance, ria e viva intensamente, antes que a cortina se feche e a peça termine sem aplausos.”

Charles Chaplin

Aos meus avós, Oscar e Tereza, pelo apoio que me deram para estar aqui hoje, e à minha mãe, Marilise, que sempre me deu amor e esperança para superar as dificuldades na vida.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao Todo Poderoso deste mundo, Deus, por me mostrar o caminho da vida para chegar aqui hoje, pela proteção e por uma segunda chance;

Agradeço à minha mãe e ao meu irmão por todo apoio, incentivo para superar as dificuldades que encontrei;

Agradeço a todos os meus familiares, mas principalmente aos meus avós, Oscar e Tereza; aos meus tios Ademar e Antônio pois, com certeza, são como pais para mim, me ajudando em momentos inesperados e me aconselhando nos piores momentos;

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), *campus* de Cascavel, especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela possibilidade de realização deste curso;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo fornecimento da bolsa de pesquisa;

Ao Professor Marcio Antonio Vilas Boas, pela orientação, incentivo, amizade e por acreditar em mim;

Aos Professores Benedito Martins Gomes e Eloy Lemos de Mello, pelos conselhos e orientações disponibilizados para a realização deste trabalho;

Ao professor Robson André Armindo, por aceitar o convite, para auxiliar na minha avaliação;

À Professora Giovanna Patrícia Gava Oyamada, pela disponibilização do Laboratório de Protótipos, pertencente à UNIOESTE, *campus* Cascavel, para a realização do experimento e ao responsável técnico do laboratório, pelo auxílio no desenvolvimento do experimento;

Aos Professores que me lecionaram e me apoiaram nos momentos de dificuldades, jamais esquecerei a colaboração que tiveram em um momento difícil da minha vida;

À secretária do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Vera Celita Schmidt, pela colaboração e auxílio em sanar as dúvidas;

Finalmente, a todos meus amigos, àqueles que me ajudaram no experimento, aqueles que me ajudaram durante o mestrado e principalmente àqueles que me fizeram rir nos momentos em que eu estava triste.

BIOGRAFIA

Nascido em Laranjeiras do Sul - PR em 1984, filho de Marilise Tessaro. Em 2000, completou o ensino médio no Colégio Estadual Rui Barbosa de Nova Laranjeiras; em 2007, formou-se em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *campus* de Cascavel – PR; em 2008, foi nomeado Diretor de Departamento de Planejamento Estratégico do Município de Nova Laranjeiras, onde permaneceu até o final do ano de 2009 e em 2010 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UNIOESTE.

EFEITO DA CARGA HIDRÁULICA NA UNIFORMIDADE DA IRRIGAÇÃO E FERTIRRIGAÇÃO EM SISTEMA DE 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 para os produtores. Os conjuntos de irrigação 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. A fertirrigação já é utilizada há tempos, porém, existem diversos tipos de fertirrigação. O controle estatístico de qualidade é uma ferramenta utilizada para avaliar a qualidade de um produto e apresentar suas variações negativas, para que seja possível gerar informações que melhorem a qualidade do produto. Logo, o presente trabalho tem como objetivo estudar o efeito da carga hidráulica na uniformidade de aplicação de água e fertilizante utilizando tubo gotejador. O experimento foi implantado no Laboratório de Desenvolvimento de Protótipos, localizado na Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Foi avaliado um modelo de irrigação por gotejamento para a agricultura familiar, submetido a três pressões (1,0; 1,5 e 2,0 mca), com delineamento inteiramente casualizado, de acordo com as normas da ABNT (NBR ISO 9261), para coleta de vazões propostas por Keller & Karmeli (1975). Os tratamentos foram submetidos à comparação para que os dados fossem estatisticamente processados. Ademais, o conjunto de irrigação também foi classificado segundo a norma da ASABE. O controle estatístico de qualidade do sistema também foi realizado a fim de se avaliar a qualidade do conjunto. Os coeficientes de cada tratamento atingiram o nível excelente segundo suas classificações. Os gráficos de controle de Shewhart demonstraram efeito significativo para os fatores analisados. O sistema obteve capacidade de processo excelente de acordo com as análises das uniformidades. Houve relação significativa entre os coeficientes (CUC, CUD e CV) com a capacidade de processo dos dados de vazão.

Palavras-chave: Uniformidade; Variação de pressão; Capacidade de processo.

EFFECT OF HYDRAULIC HEAD IN THE UNIFORMITY OF IRRIGATION AND FERTIGATION UNDER DRIP SYSTEM

Abstract: The irrigation tracked by gravity is a technique applied by the family farming that has been spread in Brazil and is used in social programs of some States or directly traded to producers. Irrigation systems have simplified management and let it cheaper. They intensify agricultural yield, increase the prospects of life in the countryside and, therefore, settle the small producers down in their properties. There has been a long time that fertirrigation is being used, but it has several types. The statistical control of quality is a tool used to evaluate the quality of a product and present their negative changes in order to get information that improves the quality of such product. Thus, this trial aims at studying the effect of hydraulic load on the uniformity of water and fertilizer application using dripping system. The experiment was carried out in the prototyping Laboratory at Western Paraná State University. A dripping irrigation system was evaluated to be applied in family farming. There were three pressures (1.0; 1.5 and 2.0 mca) and a completely randomized design was used according to ABNT regulations (NBR ISO 9261) for runoff collection proposed by Keller & Karmeli (1975). The treatments were organized to be compared so that data were statistically processed. In addition, the irrigation system was also classified according to the ASABE regulations. The statistical control of system quality was also performed to analyze its quality. The coefficients of each treatment achieved the excellent level according to their ratings. Shewhart control charts showed significant effect for the examined factors. The system has obtained an excellent process capability according to the analyses of uniformity. There also was a significant relationship among coefficients (CUC, CUD and CV) with the capability of flow data process.

Keywords: Uniformity; Pressure variation; Process capability.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	XII
LISTA DE FIGURAS	XIV
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XVI
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO.....	3
2.1 OBJETIVO GERAL.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 A ÁGUA DISPONÍVEL E A IRRIGAÇÃO	4
3.2 IRRIGAÇÃO LOCALIZADA	4
3.3 AGRICULTURA FAMILIAR.....	5
3.4 SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO DE BAIXO CUSTO.....	6
3.5 FERTIRRIGAÇÃO	7
3.6 UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DE ÁGUA.....	8
3.6.1 COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE CHRISTIANSEN	9
3.6.2 COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO	9
3.6.3 COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	10
3.7 CONTROLE ESTATÍSTICO DE QUALIDADE	11
3.7.1 GRÁFICOS DE CONTROLE	12
3.7.2 ÍNDICE DE CAPACIDADE DE PROCESSO	14
3.8 ENSAIO DE IRRIGAÇÃO EM LABORATÓRIO	14
4. MATERIAL E MÉTODOS	16
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E DOS KITS DE IRRIGAÇÃO UTILIZADOS....	16
4.2 MONTAGEM DO EXPERIMENTO	17
4.3 METODOLOGIA DE COLETA.....	18
4.3.1 SISTEMA FERTIRRIGAÇÃO.....	20
4.4 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	21
4.5 AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO.....	22
4.5.1 UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DE ÁGUA.....	22
4.5.2 TESTE DE NORMALIDADE	22
4.5.3 GRÁFICOS DE CONTROLE SHEWHART PARA MEDIDAS INDIVIDUAIS	23
4.5.4 ÍNDICE DE CAPACIDADE DE PROCESSO	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	25
5.1 UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DE ÁGUA.....	25
5.1.1 IRRIGAÇÃO ÁGUA PURA.....	25
5.1.1.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA	25
5.1.1.2 COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE CHRISTIANSEN	26
5.1.1.3 COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO (CUD)	28
5.1.2 FERTIRRIGAÇÃO	28
5.2 RELAÇÃO ENTRE A VAZÃO E A PRESSÃO	31
5.3 CONTROLE DE QUALIDADE	32

5.3.1	APLICAÇÃO DE GRÁFICOS DE CONTROLE DE SHEWHART PARA MEDIDAS INDIVIDUAIS.....	32
5.3.2	CAPACIDADE DE PROCESSO	41
5.3.3	RELAÇÃO DE CUC, CUD E CV COM CPK DA VAZÃO.....	45
6.	CONCLUSÃO.....	48
7.	CONSIDERAÇÕES	49
8.	ANEXOS	50
9.	REFERÊNCIAS	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Critérios para classificação de CUD, segundo ASABE (1996)	10
Tabela 2 - Coeficiente de variação (CV) dos emissores.....	11
Tabela 3 - Fertilizantes para fertirrigação utilizados neste experimento	20
Tabela 4 - Valores mínimos recomendados da razão da capacidade de processo (Cp;Cpk).....	24
Tabela 5 - Análise estatística descritiva dos valores de vazão ($l.h^{-1}$) para irrigação com água pura.	25
Tabela 6 - Análise estatística descritiva dos valores do CUC da Tabela B.....	26
Tabela 7 - Análise estatística descritiva dos valores do CUD dos dados da Tabela B. ...	28
Tabela 8 - Análise estatística descritiva dos valores de vazão ($l.h^{-1}$) para altura hidráulica de 1,5 m com irrigação comum e fertirrigação.	29
Tabela 9 - Análise estatística descritiva dos Coeficientes de Uniformidade para altura hidráulica de 1,5 m com irrigação comum e fertirrigação.	30
Tabela 10 - Análise estatística descritiva dos valores de pH e condutividade elétrica para altura hidráulica de 1,5 m e fertirrigação.	30
Tabela 11 - Valores referentes à razão da capacidade de processo para a análise dos dados de CUC.....	42
Tabela 12 – Valores referentes à razão da capacidade de processo para a análise dos dados de CUD.....	43
Tabela 13 - Valores referentes à razão da capacidade de processo para a análise dos dados do coeficiente de variação.	43
Tabela 14 - Valores referentes à capacidade de processo para a análise dos dados para fertirrigação.	44
Tabela 15 - Equação e Coeficiente de determinação (R^2), gerados pela regressão linear dos dados de CUC e Cpk da vazão, para os tratamentos de irrigação com água pura.	46
Tabela 16 - Equação e Coeficiente de determinação (R^2), gerados pela regressão linear dos dados de CUD e Cpk da vazão, para os tratamentos de irrigação com água pura.	46

Tabela 17 - Equação e Coeficiente de determinação (R^2), gerados pela regressão linear dos dados de CV e Cpk da vazão, para os tratamentos de irrigação com água pura.	47
Tabela 18 - Equação e Coeficiente de determinação (R^2), gerados pela regressão linear dos dados de CUC, CUD e CV vs Cpk da vazão, para Fertirrigação.	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Conjunto de irrigação utilizado na África e Ásia.....	6
Figura 2 - Representação gráfica de processos sob controle e fora de controle.....	14
Figura 3 - Bancada para medir as taxas de vazão dos gotejadores.....	15
Figura 4 - Vista geral da bancada de ensaios para tubo gotejadores.	15
Figura 5 - kit de irrigação da marca Netafim, utilizado para este experimento.	16
Figura 6 - Estrutura de concreto utilizada para ensaios de irrigação por gotejamento. ...	17
Figura 7 - Planta baixa da instalação do sistema de irrigação por gotejamento para ensaios.....	17
Figura 8 - (a) Manômetro digital; (b) proveta utilizada para medir volume; (c) coletor.....	18
Figura 9 - Layout dos pontos de coleta segundo metodologia de KELLER e KARMELI (1975).....	18
Figura 10 - Imagem da plataforma de operação com os coletores e de como se realizava a coleta de todos os coletores ao mesmo tempo.....	19
Figura 11 – Layout do reservatório para funcionamento com carga constante.....	19
Figura 12 - Imagem dos dois reservatórios (secundário e principal) utilizados na fertirrigação.	20
Figura 13 - (a) PH-1500; (b) eletrodo modelo EPC-70; (c) sensor SC-100.	21
Figura 14 - Gráfico de dispersão dos dados de vazão para carga constante.....	27
Figura 15 - Gráfico de linhas para média do CUC e CUD para irrigação com água pura, dos dados da Tabela B.....	29
Figura 16 - Gráfico de regressão linear da vazão média dos ensaios em função da pressão média em KPa.	32
Figura 17 - Gráfico de controle da vazão para e altura de C.H. 1,0 m.	33
Figura 18 - Gráfico de controle da vazão para altura C.H. 1,5 m.	33
Figura 19 - Gráfico de controle da vazão para altura C.H. 2,0 m.	34
Figura 20 - Gráfico de controle da vazão para fertirrigação com altura C.H. 1,5.....	35
Figura 21 - Gráfico de controle do CUC para altura C.H. 1,0.....	36
Figura 22 - Gráfico de controle do CUC para altura C.H. 1,5 m.....	36
Figura 23 - Gráfico de controle do CUC para altura C.H. 2,0 m.....	36
Figura 24 - Gráfico de controle do CUC para fertirrigação com altura C.H. 1,5 m.....	37

Figura 25 - Gráfico de controle do CUD para altura C.H. 1,0 m.....	38
Figura 26 - Gráfico de controle do CUD para altura C.H. 1,5 m.....	38
Figura 27 - Gráfico de controle do CUD para altura C.H. 2,0 m.....	38
Figura 28 - Gráfico de controle do CUD para fertirrigação com altura C.H. 1,5 m.....	39
Figura 29 - Gráfico de controle do CV para altura C.H. 1,0 m.....	40
Figura 30 - Gráfico de controle do CV para altura C.H. 1,5 m.....	40
Figura 31 - Gráfico de controle do CV para altura C.H. 2,0 m.....	40
Figura 32 - Gráfico de controle do CV para fertirrigação com altura C.H. 1,5 m.	41
Figura 33 - Gráfico de regressão da equação característica do CUD vs Cpk para fertirrigação.	45
Figura 34 - Gráfico de regressão da equação característica do CV vs Cpk para fertirrigação.	45

LISTA DE SÍMBOLOS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASABE - American Society of Agricultural Engineers

GIDF - *Gilead Drip Furrow Irrigation System*

IDE - *International Development Enterprises*

CUC - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen

CUD - Coeficiente de Uniformidade de Distribuição

CV - Coeficiente de Variação

L - Litro

L.h⁻¹ - Litro por hora

ml.min⁻¹ - Mililitro por minuto

mm - milímetro

cm - centímetro

m - Metro

m² - Metro quadrado

mca - Metro coluna d'água

n - Número de emissores

q_{25%} - valor médio de 25% dos menores valores

s - Desvio padrão

q_{med} - Vazão média

q_i - Vazão de cada emissor

Ps - Pressão de serviço

pH - potencial heterogêneo

CE - Condutividade elétrica

NPK - Nitrogênio Fósforo e Potássio

CHC - Carga Hidráulica Constante

μ - média;

K - é uma constante positiva; usa-se normalmente o valor 3 e têm-se os limites a 3 desvios-padrão;

σ - desvio padrão.

CEQ - controle estatístico de qualidade
LIC - limite inferior de controle
LSC - limite superior de controle
ICP - índice de capacidade de processo
Cp, Cpk - capacidade de processo
LSE - limite superior de especificação e;
LIE - limite inferior de especificação.
Cp_i - Capacidade de processo do LIE
Cp_s - Capacidade de processo do LSE

1. INTRODUÇÃO

Elevada produtividade 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 da água, eficiência de aplicação e praticidade de operação.

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

Conjuntos de irrigação por gotejamento com baixo custo são sistemas desenvolvidos com o objetivo de reduzir custos de implementação e melhorar a produtividade, para assim disponibilizá-los para os agricultores de baixa renda. Essa tecnologia pode ser adotada a fim de aumentar a produtividade e contribuir para a subsistência dos produtores, além de lhes proporcionar maior rendimento econômico.

Tais sistemas foram desenvolvidos para funcionarem a baixas pressões, fornecidas pela força da gravidade, a qual diminui os gastos com a pressurização do sistema e o custo de energia.

Ao manter-se constante o nível de um reservatório, espera-se que sejam obtidas vazões mais uniformes. Todavia, caso haja variação, essa será relacionada a fatores como: qualidade dos gotejadores, alterações de temperatura e qualidade da água.

Água e nutrientes são dois fatores essenciais para o crescimento e desenvolvimento de plantas. Para tanto, hoje, a fertirrigação, ou seja, a aplicação de fertilizantes via água de irrigação, é um sistema que pode suprir esses fatores. Porém, o período de aplicação, a frequência, as doses e os tipos de fertilizantes são carências quando se trata de fertirrigação, logo, necessitam de mais informações.

O planejamento agrícola orientado por preceitos da política ambiental constitui um instrumento fundamental no processo de gestão do espaço rural e da atividade agropecuária. Portanto, quando o mesmo é realizado de modo correto, as ações são racionalizadas e esse se torna um instrumento de sistematização de informações, reflexão sobre os problemas e especulação de cenários potenciais para o aproveitamento dos recursos naturais.

A qualidade apresentada por um equipamento depende de seu processo de fabricação, porém, o agricultor não tem tal informação e confia apenas nas informações do fabricante.

Hoje, o controle estatístico de qualidade é uma ferramenta, em experimentos científicos, utilizada para avaliar a qualidade de um produto e apresentar suas variações negativas, para que seja possível gerar informações que melhorem a qualidade do produto. A qualidade é a principal estratégia de negócios. Assim, as organizações que melhoram a qualidade de um produto podem aumentar a produtividade no campo, o crescimento no mercado agrícola, aumentar a lucratividade do produtor e assim torná-lo mais competitivo.

A capacidade de processo gera informações e verifica se um produto ou processo está dentro de um padrão de qualidade, ou seja, verifica se esse está dentro das especificações exigidas pelo consumidor, parâmetros que levam a interferir o rendimento do produto e/ou processo.

No Brasil, são poucos os locais que possuem estrutura suficiente para fazer uma avaliação detalhada de sistemas de irrigação para que seja possível a realização do aperfeiçoamento desses equipamentos. Logo, muitas vezes, é necessária a construção de bancadas de ensaio para realização de testes laboratoriais, para que sejam comparados com as condições de campo.

2. OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Estudar o efeito da carga hidráulica na uniformidade de aplicação de água e fertilizante utilizando tubo gotejador.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar a classificação do sistema de irrigação e fertirrigação segundo as normas de uniformidade;
- Estudar o efeito da variação de pressão na uniformidade de aplicação de água;
- Verificar o efeito dos gráficos de controle de Shewhart no controle estatístico de qualidade na irrigação e fertirrigação;
- Verificar o efeito da capacidade de processo do sistema de irrigação e fertirrigação;
- Verificar a relação dos coeficientes de uniformidade com a capacidade de processo de vazão.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A ÁGUA DISPONÍVEL E A IRRIGAÇÃO

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, 2001) e que favorecem o aumento da produtividade agrícola.

Apesar do grande consumo de água, a irrigação representa a maneira mais eficiente de aumento da produção de alimentos. Vale ressaltar que, de toda água que passa pela planta pelo processo de transpiração, 95 a 97% desse volume retorna para a atmosfera na forma de vapor e apenas 3 a 5% estão presentes na planta no momento da colheita (FAGANELLO *et al.*, 2007).

O aumento contínuo da população exige quantidades crescentes de água bem como promove a concorrência de recursos hídricos entre a agricultura e outros setores da economia. Assim, os agricultores são forçados a considerarem com mais cautela a adoção de estratégias de minimização de consumo, em especial nas áreas de produção hortícola, onde a água tornou-se um recurso limitado (COSTA, ORTUNÃ; CHAVES, 2007).

3.2 IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

Este método de irrigação apresenta melhor distribuição de água; minimiza os impactos ambientais negativos e transforma-se em alternativa viável para a agricultura irrigada sustentável (BHATTARAI, MIDMORE; PENDERGAST, 2008).

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

O gotejador é a peça principal da irrigação por gotejamento e 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. Estão inseridos na linha lateral em intervalos pré-determinados ou de acordo com o espaçamento entre plantas.

Para que este tipo de irrigação seja corretamente dimensionado, é necessário o conhecimento das características dos emissores. Entretanto, diversos fatores influenciam ou afetam a eficiência e a uniformidade de aplicação de água. Em relação aos emissores, destacam-se: variação da vazão devido ao processo de fabricação; variação da pressão de funcionamento; perda de carga em razão da inserção do emissor na linha lateral e suscetibilidade ao entupimento (SOUZA *et al.*, 2005). Esses autores destacam que os emissores formam a parte mais sensível deste sistema de irrigação, pois são os responsáveis por assegurar o suprimento de água ao solo, com uma uniformidade aceitável em toda a parcela ou unidade a ser irrigada.

3.3 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.

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).

Segundo Fernandes (2009), o maior desafio é organizar o sistema de produção a partir das tecnologias disponíveis com o objetivo de ganhar escala e buscar nichos de mercado; agregar valor à produção e encontrar novas alternativas para o uso da terra.

Para Nascimento (2009), devem-se desenvolver alternativas para difundir a irrigação para agricultura familiar, proporcionar o aumento da produção e diminuir o êxodo rural.

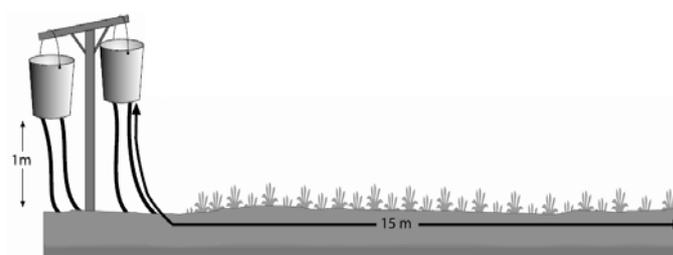
A disponibilidade dessa tecnologia facilitará para que os agricultores familiares intensifiquem a produção de alimentos para consumo próprio e ainda melhorem a qualidade dos produtos gerados, agregando valor para venda (SILVA, 2006).

Segundo Burney e Naylor (2012), um projeto que combina acesso, distribuição e utilização pode ter retornos elevados no curto prazo em irrigação por gotejamento, e se tornar uma "virada de jogo" para o desenvolvimento agrícola ao longo do tempo. No entanto, ainda restam dúvidas sobre como um projeto pode gerar sustentabilidade ao pequeno agricultor.

3.4 SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO DE BAIXO CUSTO

Sistemas de irrigação de baixo custo podem mudar os estilos de vida familiar, aumentar a renda, criar emprego, percorrer um longo caminho para a segurança alimentar e melhorar a nutrição familiar (MAISIRI et al., 2005).

Souza, Andrade e Silva (2005) citam que, em países de menor renda da Ásia e África são utilizados pequenos conjuntos de irrigação, compostos por recipientes instalados a um metro de altura e linhas laterais com microtubos alimentados por gravidade como estão mostrados na Figura 1. Esta técnica é uma alternativa econômica que promove o desenvolvimento autossustentável de pequenos agricultores que possuem escassos recursos hídricos. Ngigi, Waweru e Blank (2008) relatam que os conjuntos de irrigação têm como vantagens a flexibilidade e a 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.

Segundo Karlberg e Penning de Vries (2004), a recente implementação de *kits* de irrigação por gotejamento de baixo custo tem sido bem sucedida, para agricultores de pequeno porte, em vários países da África subsaariana. Em áreas onde a água faz com que haja limitações à irrigação, a irrigação por gotejamento é uma opção promissora.

Segundo Chigerwe et. al (2004), 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, o mesmo 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 com variação de 73% a 84%. Os agricultores observaram uma redução pela metade da necessidade de trabalho e conseguiram duplicar a área irrigada com o mesmo volume de água.

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

Sistemas de gotejamento de baixo custo podem gerar uma economia de água de mais de 50% em relação aos sistemas de irrigação por superfície, portanto, há maior produtividade no gotejamento. Irrigação por gotejamento de baixo custo não resulta apenas em produtividades significativamente maiores das culturas, mas também uma abordagem integrada que envolveu o manejo de nutrientes e o manejo correto de água usando gotejamento de baixo custo resultou na produtividade agrícola significativamente melhor e maiores níveis de margem bruta em relação ao sistema irrigação por superfície convencional (MAISIRI N. *et al.*, 2005).

3.5 FERTIRRIGAÇÃO

A aplicação associada de fertilizantes e água em um sistema de irrigação é chamada de fertirrigação. Este sistema visa suprir deficiências de nutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas, pois como o sistema de irrigação por gotejamento, distribui água diretamente na região radicular da planta e, conseqüentemente, os nutrientes ou fertilizantes são aplicados diretamente na raiz da planta, assim, há um aumento tanto na produtividade quanto na qualidade do produto (FERNANDES, COELHO; BOTREL, 2003).

O uso correto da técnica de fertirrigação ainda tem suas implicações. Segundo Villas Boas *et al.* (2001), são necessárias pesquisas sobre os vários aspectos relacionados à fertirrigação. A técnica da fertirrigação, quando bem utilizada, pode gerar aumento e qualidade na produtividade, pois devido à constante aplicação de nutrientes no solo, há maior fertilização do solo, mantendo-o com elevados níveis daqueles durante todo o ciclo de desenvolvimento da planta (MAROUELLI, SILVA; MORETTI, 2001).

Fertilizantes convencionais que contêm nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) podem ser aplicados quando se utiliza a irrigação por gotejamento, já que são solúveis em água. A prática de utilização de fósforo para fertirrigação é menos comum devido à menor solubilidade do fosfato em fertilizantes, portanto, os agricultores usam fertilizantes à base de potássio de modo comedido para a fertirrigação (RAVIKUMAR, *et. al.*, 2011). Esses autores ainda citam que a principal fonte de fertilizantes nitrogenados é a ureia, por ser bastante solúvel em água, portanto, os agricultores que utilizam fertirrigação a aplicam sempre que haja necessidade. A ureia é um fertilizante altamente reativo e começa a reagir logo após sua dissolução em água.

Bhat e Sujatha (2008) indicaram em seus estudos que 75% das doses de NPK, aplicados a cada dez dias, resultaram na melhor distribuição de nutrientes e apresentaram também um impacto positivo com relação ao pH e à disponibilidade de nutrientes no solo.

3.6 UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DE ÁGUA

A porcentagem da 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).

A distribuição não uniforme dos gotejadores pode ocorrer devido aos processos de fabricação, dimensionamento inadequado do sistema e entupimento dos emissores, segundo VIEIRA *et al.* (2004), os quais citam a uniformidade na distribuição de água como um dos aspectos mais importantes para a avaliação da irrigação localizada, a partir do sistema de gotejamento.

Uma consequência direta da baixa uniformidade de aplicação de água refere-se ao manejo do sistema, pois o responsável ao constatar a diminuição da vazão média dos gotejadores, pelo efeito do entupimento, tende a aumentar o tempo de aplicação, logo há um aumento no volume aplicado (CUNHA *et al.*, 2006). Os mesmos autores relatam que, dessa forma, as plantas que receberam menor lâmina de água passam a ser compensadas com o prolongamento do tempo de aplicação, conseqüentemente, as plantas que recebiam a lâmina adequada passam a ter uma aplicação em excesso, podendo ocorrer problemas de perdas de água por percolação, no caso de irrigação.

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).

3.6.1 COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE CHRISTIANSEN

O coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), proposto por Christiansen (1942), é um dos mais utilizados, pois adota o desvio médio absoluto como medida de dispersão, como se pode observar na Equação 1.

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

Em que:

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

q_i : Vazão de cada gotejador ($L \cdot h^{-1}$);

q_{med} : Vazão média dos gotejadores ($L \cdot h^{-1}$);

n : Número de gotejadores.

3.6.2 COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO

Lopez *et al.* (1992) defendem que é mais coerente avaliar a uniformidade em função das áreas que recebem menos água, portanto, faz-se necessário utilizar 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, (%);

$q_{25\%}$: valor médio de 25% das menores vazões ($L \cdot h^{-1}$);

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

Esse coeficiente é definido como a medida da distribuição da água que relaciona a quarta parte da área total e 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 indica excessiva perda por percolação.

Em uma pesquisa em que se utilizou tubo gotejador, por um período de 1620 horas, Puig-Bargués *et al.* (2010) encontraram uniformidade de distribuição média de 90% com emissor autocompensante, todavia, no final de cada período de irrigação, os emissores eram lavados.

A norma ASABE (1996) apresenta na Tabela 1 a classificação recomendada para os valores de coeficiente de uniformidade de distribuição.

Tabela 1 - Critérios para classificação de CUD, segundo ASABE (1996)

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

Fonte: ASABE (1996).

3.6.3 COEFICIENTE DE VARIAÇÃO

Outro parâmetro importante na irrigação localizada é o coeficiente de variação (CV), proposto por Keller e Bliesner (1990), apresentado na Equação 3. Esse parâmetro é avaliado, pois os emissores possuem dimensões reduzidas que dificultam a precisão em sua fabricação. As variações nas vazões, provocadas por falhas construtivas, apresentam distribuição normal, assim, é permitido o uso dos conceitos de estatística correspondentes a essa distribuição para conclusões quantitativas.

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

Em que:

CV: Coeficiente de variação (%);

s: Desvio padrão (L.h⁻¹);

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

Para que os gotejadores sejam classificados em categorias de qualidade, Pizarro Cabello (1996) explica que se utiliza o coeficiente de variação (CV) segundo a norma ASABE (1994). Assim, os emissores são classificados conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Coeficiente de variação (CV) dos emissores

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

Fonte: ASABE (1994)

Tanto a determinação experimental do CV como a da relação vazão x pressão foi obtida de acordo com a ABNT (1986) que 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.

3.7 CONTROLE ESTATÍSTICO DE QUALIDADE

A utilização de métodos estatísticos não garante a solução de todos os problemas de um processo, porém, é uma maneira racional, lógica e organizada de determinar onde eles existem, sua extensão e a forma para solucioná-los. Esses métodos podem ajudar na obtenção de sistemas que assegurem uma melhoria contínua da qualidade e da produtividade ao mesmo tempo (LIMA *et. al.* 2006).

O controle Estatístico de Qualidade ou Controle Estatístico de Processo é uma ferramenta que procura manter as variáveis dentro dos limites ou padrões pré-estabelecidos por normas técnicas, para que o processo se comporte de forma adequada. Esse procedimento permite obter conclusões e tomadas de decisões com base em dados numéricos, formados pelas combinações necessárias entre mão de obra, materiais, máquinas, métodos, meio ambiente e medições, a fim de que sejam obtidos produtos e serviços satisfatórios dentro das normas técnicas (TRINDADE *et. al.* 2000).

O controle estatístico de qualidade (CEQ) é uma técnica que consiste em analisar o processo, estabelecer padrões, comparar desempenhos, verificar e estudar desvios, buscar e implementar soluções, analisar novamente o processo após as modificações, em busca da melhor performance de máquinas e/ou pessoas (MONTGOMERY, 2009).

Segundo Reis *et al* (2006), apesar de sua importância e do ensino generalizado, o controle estatístico da qualidade (CEQ) é utilizado em muitas empresas.

Para Gonçalves e Antoniassi (2010), a estimativa de incerteza é um termo que se deve ter e manter sob controle estatístico, pois uma pesquisa realizada por um laboratório de ensaios pode somente se voltar ao que se refere a causas específicas ou aleatórias, enquanto as alterações significativas do objeto analisado geralmente ocorrem nas incertezas.

Quando um produto é fabricado por determinado processo que está sujeito a uma variação significativa e obtêm-se produtos fora do padrão de qualidade, ou seja, que não atendem às especificações, é possível utilizar a técnica do controle estatístico de qualidade para verificar onde está ocorrendo essa variação (RUSSO, 2002).

Um processo está sob controle estatístico quando as causas especiais de variação são eliminadas do processo e os pontos plotados no gráfico de controle permanecem dentro dos limites de controle (MONTGOMERY, 2009).

3.7.1 GRÁFICOS DE CONTROLE

O principal objetivo do gráfico de controle é diferenciar a ocorrência de causas especiais que provocam mudanças importantes no processo daquelas provocadas por causas comuns ou aleatórias, sendo uma das principais ferramentas utilizadas no controle estatístico da qualidade. Identificadas as causas especiais, torna-se possível a atuação sobre as mesmas, a fim de melhorar a qualidade do produto e minimizar a variabilidade nas características de qualidade do produto. Dessa maneira, melhoram-se a qualidade intrínseca, a produtividade, a confiabilidade e o custo do que está sendo produzido (MICHEL e FLOGIATTO, 2002).

Os gráficos de controle do tipo Shewhart, introduzidos por volta dos anos 30, continuam a ser uma das ferramentas mais utilizadas em controle de qualidade. Na sua concepção e utilização, três aspectos fundamentais são necessários: os instantes de amostragem, o tamanho das amostras e os limites de controle. Nos gráficos Shewhart clássicos, os valores destas grandezas são fixos durante todo o processo de controle. Em particular, quando se usa uma carta de controle para a média, em geral, utilizam-se os limites 3-sigma (INFANTE; DIAS, 2006).

Werkema (1995) descreve os critérios indicativos da falta de controle de um processo:

- Pontos fora de controle: é a indicação mais evidente da falta de controle de um processo. Essa ocorrência pode ser resultado principalmente de erros de

registros de dados, cálculos de medições, além da utilização incorreta ou defeitos de equipamentos;

- Periodicidade: representa uma tendência para cima e para baixo em intervalos de tempo com aproximadamente a mesma amplitude. Pode acontecer devido a mudanças sistemáticas nas condições ambientais ou em alguma variável dos equipamentos utilizados;
- Sequência: em que vários pontos consecutivos do gráfico de controle aparecem em apenas um dos lados da linha média. Esse fenômeno indica uma mudança no nível do processo relacionado a novos operadores, matérias-primas ou equipamentos;
- Tendência: movimento contínuo dos pontos do gráfico de controle em uma direção (ascendente ou descendente), porém, a existência de sete ou mais pontos indica a falta de controle de processo;
- Aproximação dos limites de controle: corresponde à ocorrência de dois ou três pontos consecutivos fora dos limites 2σ , apesar destes ainda estarem dentro dos limites de controle 3σ . Podem existir duas distribuições diferentes sobrepostas gerando o resultado do processo. Neste caso, recomenda-se a construção separada dos gráficos para os dois processos que estejam gerando os resultados da característica da qualidade de interesse.
- Aproximação da linha média: se grande parte dos pontos está muito próxima da linha média, dentro das linhas centrais de $1,5\sigma$, apresentando uma variabilidade menor do que a esperada, observa-se a possibilidade de erros nos cálculos dos limites de controle.

Para Souza *et al.* (2008), um processo está fora de controle quando um ou mais pontos situarem-se fora dos limites, sob a configuração aleatória ou quando há configurações especiais com pontos dentro ou fora dos limites de controle.

Werkema (1995) entende que o processo está sob controle estatístico quando todos os pontos traçados no gráfico estão dentro dos dois limites de controle e se a disposição dos pontos é aleatória em torno da linha média (LM). Na Figura 2 está apresentado em um mesmo gráfico o mesmo processo em controle e fora de controle.

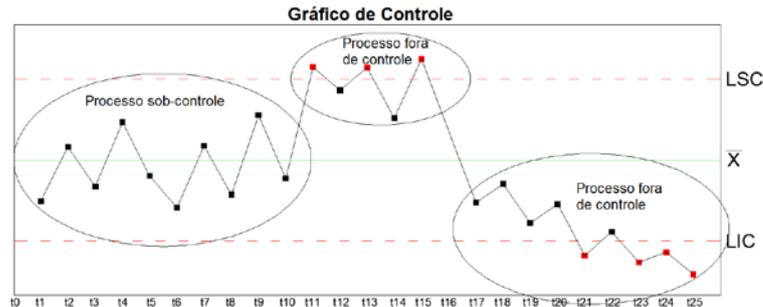


Figura 2 - Representação gráfica de processos sob controle e fora de controle.

3.7.2 ÍNDICE DE CAPACIDADE DE PROCESSO

O estudo da capacidade do processo reflete a capacidade que esse tem de produzir produtos de acordo com as especificações dos clientes. Segundo Werkema (1995), um processo pode não ser capaz por apresentar uma elevada variabilidade ou a média estar deslocada em relação ao ponto médio dos limites de especificação.

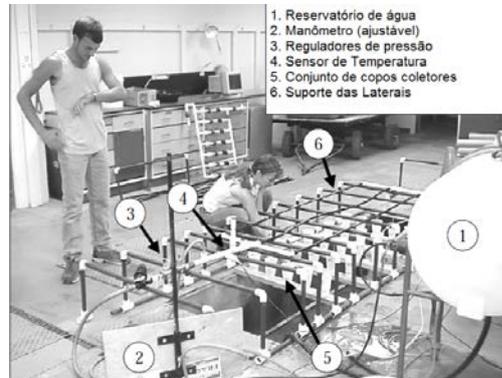
O índice de capacidade de processo (ICP) é um parâmetro adimensional que indiretamente mede o quanto o processo consegue atender às especificações, sendo que quanto maior o seu valor melhor o processo consegue atender às exigências (COSTA, EPPRESCHT; CARPINETTI, 2004).

Montgomery (2009) descreve que quando o valor de $C_p < 1,67$ para bilaterais e $C_p < 1,60$ para unilateral para processos novos, significa que a capacidade do processo é inadequada. Portanto, é recomendada a realização do trabalho com um processo que seja mais adequado às especificações.

3.8 ENSAIO DE IRRIGAÇÃO EM LABORATÓRIO

Segundo Brunheroto (2004), no Brasil, são necessários laboratórios que avaliem equipamentos, porque nem todos os fabricantes trabalham de maneira séria e idônea. Existem diversos aspectos a serem observados para o uso mais eficiente da água pela agricultura irrigada, mas, o fundamental que sejam destacados os equipamentos de alta performance na agricultura irrigada.

Clark et. al. (2005), utilizando uma bancada de ensaios conforme apresentado na Figura 3, avaliaram o efeito da temperatura da água elevada no desempenho da taxa de descarga do tubo gotejador de paredes finas com emissores de diferentes



características e fabricantes.

Figura 3 - Bancada para medir as taxas de vazão dos gotejadores

A fim de que se avaliasse o desempenho de gotejadores com o uso de esgoto doméstico tratado, Plestch et. al. (2009) utilizaram uma bancada de ensaios para tubos gotejadores representada na Figura 4.



Figura 4 - Vista geral da bancada de ensaios para tubo gotejadores.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E DOS KITS DE IRRIGAÇÃO UTILIZADOS

O experimento foi implantado no Laboratório de Desenvolvimento de Protótipos, localizado na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, situada no Município de Cascavel, Estado do Paraná, Brasil.

A realização do experimento se iniciou no mês de agosto de 2011. Foi utilizado um Kit de irrigação fabricado pela empresa Netafim™, constituído por um tubo gotejador Micro Drip com espaçamento de 0,3 m entre os gotejadores (Figura 5).



Figura 5 - kit de irrigação da marca Netafim, utilizado para este experimento.

A Netafim apresenta em seu catálogo a equação de seu emissor como sendo:

$$q = k * H^x \quad \text{Eq. (4)}$$

Em que:

q - vazão do emissor ($l \cdot h^{-1}$);

H - Pressão de serviço (Kpa);

k e x - Constantes referentes ao dimensionamento do gotejador (0,2094 e 0,49).

4.2 MONTAGEM DO EXPERIMENTO

O experimento foi montado em uma estrutura de concreto utilizado para ensaios de experimentos da área de estruturas. Na Figura 6 está ilustrada a estrutura existente com o sistema de irrigação instalado. Também foi instalado um reservatório com capacidade para 100 litros a fim de abastecer o sistema.



Figura 6 - Estrutura de concreto utilizada para ensaios de irrigação por gotejamento.

Na saída do reservatório foi instalado um filtro do tipo tela que acompanha o kit. Uma linha principal com um vão de 1,40 metro foi conectada após o filtro. Na linha principal, foram conectadas quatro linhas laterais, espaçadas por 0,40 metros uma da outra, conforme demonstrado na planta baixa (Figura 7). Cada linha lateral é composta por um tubo gotejador, e esta contém 16 gotejadores *in line*, espaçados a cada 0,30 m, conforme representado na Figura 7.

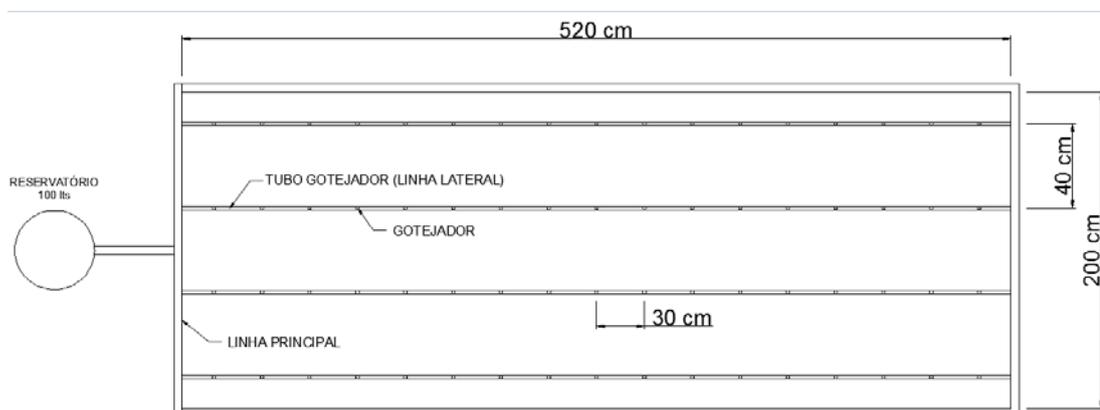


Figura 7 - Planta baixa da instalação do sistema de irrigação por gotejamento para ensaios.

O reservatório usado para este experimento foi instalado em três alturas de carga hidráulica: 1,0; 1,50 e 2,0 mca. O experimento foi submetido a pressão constante em seu reservatório, conforme descrito na sequência.

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 $\pm 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 8). Para a coleta da água proveniente dos gotejadores, foram utilizados coletores plásticos e, posteriormente, o volume coletado foi medido com uma proveta de 100 mL (Figura 8).

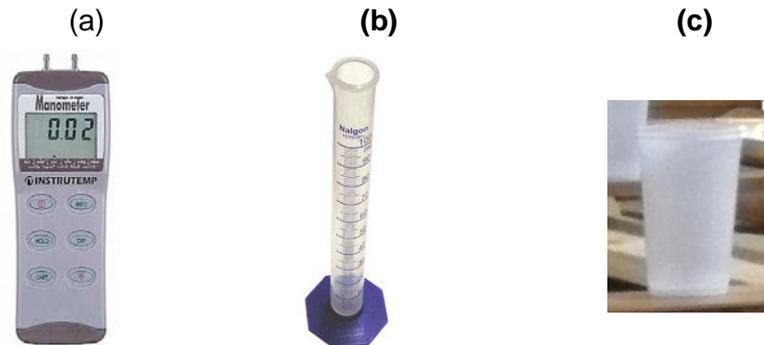


Figura 8 - (a) Manômetro digital; (b) proveta utilizada para medir volume; (c) coletor.

4.3 METODOLOGIA DE COLETA

A metodologia utilizada 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 a um 1/3 do comprimento total da linha lateral, o gotejador a 2/3 do comprimento e o último gotejador, conforme a Figura 9.

As linhas laterais selecionadas seguem o mesmo critério (1ª, 1/3, 2/3 e a última), porém, como o experimento possui apenas quatro linhas, descartou-se esse critério.

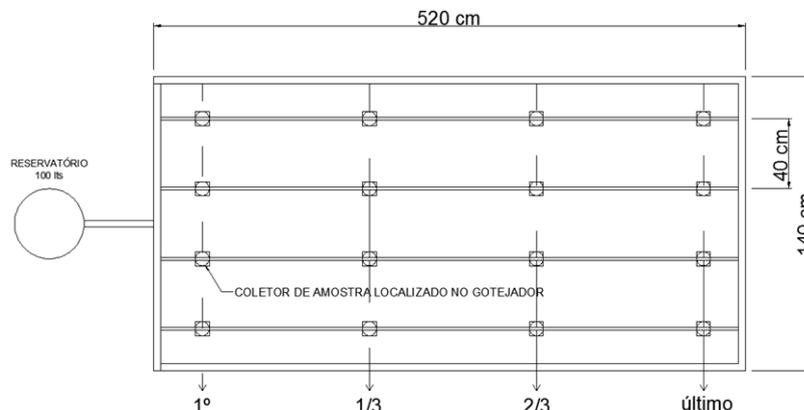


Figura 9 - Layout dos pontos de coleta segundo metodologia de KELLER e KARMELI (1975).

Para a coleta do volume de água, seguiu-se o recomendado pela metodologia. Todos os coletores foram posicionados ao mesmo tempo nos pontos de coleta enquanto o sistema esteve em operação por um tempo (3 a 5 minutos). Para este experimento foi determinado um tempo de coleta de 5 minutos, após o término do tempo, removiam-se todos ao mesmo tempo e media-se o volume de água de cada coletor.

Para realizar o deslocamento de todos os coletores ao mesmo tempo, desenvolveu-se uma plataforma de madeira conectada a rodízios fixos conforme a Figura 10, que movimentava todos os coletores ao mesmo tempo.

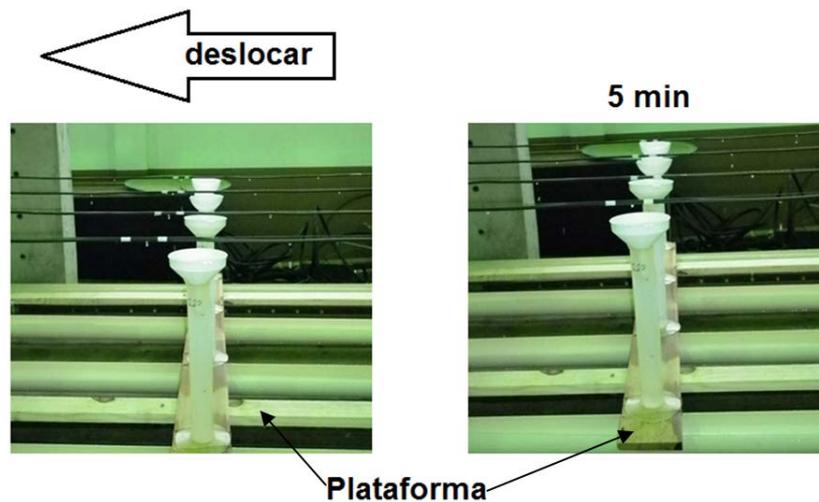


Figura 10 - Imagem da plataforma de operação com os coletores e de como se realizava a coleta de todos os coletores ao mesmo tempo.

- Carga Hidráulica Constante (CHC)

Instalou-se o reservatório nas três alturas de carga hidráulica (1,0 m; 1,5 m e 2,0 m) a fim de que se mantivesse a lâmina de água sempre constante, ou seja, o reservatório foi mantido sempre cheio, sem variação de pressão no início do sistema (Figura 11). Neste caso, a altura era determinada com o auxílio do manômetro.

O sistema operava em dois períodos, manhã e tarde, cujas coletas foram realizadas a cada trinta minutos.

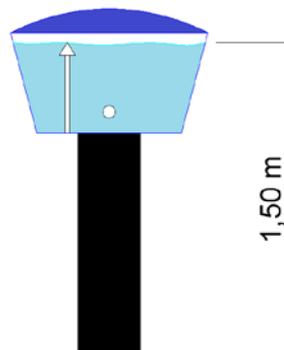


Figura 11 – Layout do reservatório para funcionamento com carga constante

4.3.1 SISTEMA FERTIRRIGAÇÃO

O sistema de fertirrigação foi instalado apenas em uma altura de carga hidráulica, a qual foi definida após a realização do experimento com água pura. Assim, escolheu-se a que obteve melhor coeficiente de uniformidade.

Para instalação do reservatório com carga hidráulica constante, foi instalado um reservatório secundário de 100 litros, acima do utilizado no sistema. O reservatório secundário abastecia o reservatório principal a fim de mantê-lo sempre constante, através de uma válvula de boia. Portanto, quando o reservatório principal esvaziava o secundário o abastecia, de acordo com esquema citado na Figura 12.



Figura 12 - Imagem dos dois reservatórios (secundário e principal) utilizados na fertirrigação.

Os Fertilizantes utilizados estão descritos na Tabela 3 e são solúveis em água própria para fertirrigação. Para este experimento, foram utilizados vários componentes descritos na Tabela 3, para utilização em hidroponia. Foi realizada diluição de 10:1 para este experimento.

Tabela 3 - Fertilizantes para fertirrigação utilizados neste experimento

Produtos	Formulação	pH	Solubilidade para 1000 litros
Sulfato de Potássio	18% S 50% K ₂ O	5,6	154 g
MAP Fertirrigação	12% N 60% P ₂ O ₅	4,6	374 g
Nitrato de Cálcio	15% N 19% Ca	5,0	350 g
Nitrato de Potássio	12% N 45% K ₂ O	6,0	390 g
KCl Fertirrigação	60% K ₂ O	5,6	400 g
Sulfato de Magnésio	9% Mg 11,9% S	4,0	500 g
MKP	52% P ₂ O ₅ 34% K ₂ O	4,6	226 g

Para as medições de pH e condutividade, foi utilizado um medidor de pH/ORP/TDS/Condutividade/Oxigênio dissolvido/temperatura Modelo PH-1500, Figura 13 (a), mas, para o pH, foi utilizado um eletrodo do tipo combinado modelo EPC-70 (Figura 13 (b)) e para condutividade elétrica, foi utilizado o sensor de condutividade/TDS, modelo SC-100 (Figura 13 (c)). A unidade da condutividade gerada pelo aparelho era em milisiemens por centímetro (ms/cm), a qual foi convertida para decisiemens por metro (ds/m).

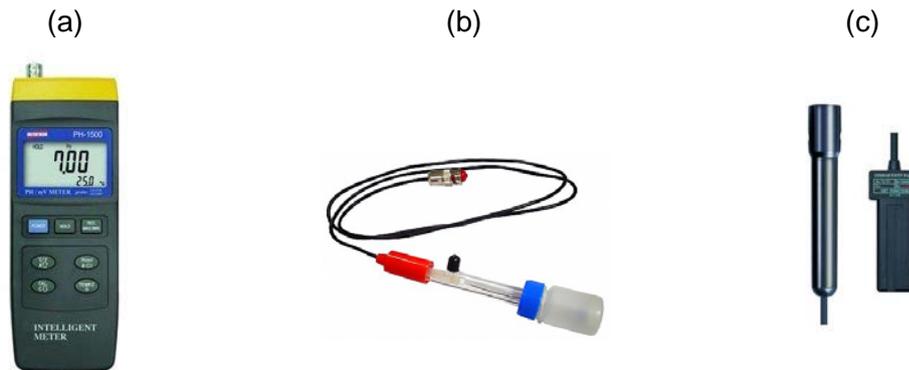


Figura 13 - (a) PH-1500; (b) eletrodo modelo EPC-70; (c) sensor SC-100.

4.4 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Para operação do sistema com água pura, o delineamento experimental utilizado foi um delineamento inteiramente casualizado com o fator altura da carga hidráulica em 3 níveis de altura (1,0; 1,5 e 2,0 m). Para fertirrigação foi determinado um delineamento inteiramente casualizado com um fator, tipo de irrigação com dois níveis (água pura e fertirrigação). Como variáveis respostas, teve-se a vazão ($L h^{-1}$), medido em cada gotejador amostrado, e a pressão (kpa) medida no início e no final do sistema. Os tratamentos ficaram assim constituídos:

- Primeira etapa:
 - T1: Altura da carga hidráulica de 1,0 m com 30 repetições;
 - T2: Altura da carga hidráulica de 1,5 m com 30 repetições;
 - T3: Altura da carga hidráulica de 2,0 m com 30 repetições;
- Segunda etapa (Fertirrigação para a altura ser definida como a de melhor uniformidade):

- T2: Água pura com 30 repetições;
- T4: Fertirrigação com 30 repetições;

Após a aplicação de todos os tratamentos, foi realizada uma análise estatística por meio do programa MINITAB (versão 15) e do *software* SISVAR, para o cálculo das medidas de tendência central (média aritmética e mediana), das medidas de dispersão (valores máximo e mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação) e das medidas de assimetria, de curtose e equações de regressão em função da relação entre a vazão e a pressão fornecida pelo sistema.

4.5 AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

4.5.1 UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DE ÁGUA

Os critérios utilizados, para avaliar o sistema foram o coeficiente de variação (CV) do emissor na linha lateral, a uniformidade de emissão (CUD) e o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC).

4.5.2 TESTE DE NORMALIDADE

Para a aplicação das ferramentas fornecidas pelo controle estatístico de processo, houve a necessidade de que os dados apresentassem distribuição normal, que foi observada pelo Teorema do Limite Central segundo Montgomery (2009).

Para ser considerada como uma distribuição normal, os dados precisam ser aleatórios independentes, retirados de uma produção populacional de média μ_x e variância σ_x^2 . A distribuição amostral da média aproxima-se de uma distribuição normal para um n grande que, neste caso, é igual a 30, considerado como suficiente para este critério.

4.5.3 GRÁFICOS DE CONTROLE SHEWHART PARA MEDIDAS INDIVIDUAIS

O gráfico de controle utilizado neste estudo foi o de Shewhart, para medidas individuais, sendo que este foi realizado por meio do programa MINITAB (versão 15).

O gráfico de controle para as observações individuais tem a finalidade de observar a existência de pontos fora de controle, ou seja, que estão fora dos limites e também avaliar a ocorrência de configurações indesejáveis como tendências, pontos muito próximos dos limites ou da linha média.

O LSC e o LIC podem ser estatisticamente determinados, a partir da amplitude média (Eq. 7) das amostras, e estão em função da variabilidade do processo, de acordo com as equações 5 e 6.

$$LSC = \bar{x} + 3 * \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad \text{Eq. (5)}$$

$$LIC = \bar{x} - 3 * \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad \text{Eq. (6)}$$

$$\overline{MR} = \frac{\sum |x_i - x_{i-1}|}{n-1} \quad \text{Eq. (7)}$$

em que:

\bar{x} - média;

d_2 - constante, depende do número de repetições por ensaio, para $r = 1$, o valor da constante é 1,128.

\overline{MR} - média da amplitude;

Este gráfico foi utilizado para o monitoramento dos coeficientes de variação de vazão (CV), uniformidade de emissão (UE) e uniformidade de Christiansen (CUC) no tempo (ensaios).

4.5.4 ÍNDICE DE CAPACIDADE DE PROCESSO

Werkema (1995) descreve a necessidade de que o processo esteja sob controle estatístico, para a utilização do índice de capacidade de processo (Cp), que a variável de interesse tenha distribuição próxima da normal e que as amostras não apresentem autocorrelação, e estas duas condições foram testadas por meio do programa MINITAB

(versão 15). Quando o processo encontra-se estável, aplica-se o Cpk (processos unilaterais) que é definido de acordo com a equação 10.

$$Cp_s = \frac{LSE - \bar{x}}{3\sigma} \quad \text{Eq. (8)}$$

$$Cp_i = \frac{\bar{x} - LIE}{3\sigma} \quad \text{Eq. (9)}$$

$$Cpk = (Cp_i; Cp_s) \quad \text{Eq. (10)}$$

em que:

\bar{x} - média;

LSE - limite superior de especificação,

LIE - limite inferior de especificação,

Cp_i - Capacidade de processo do LIE,

Cp_s - Capacidade de processo do LSE.

O índice referente à equação 8 considera apenas a existência do limite superior de especificação e a equação 9 é determinado a partir do limite inferior de especificação, utilizado no coeficiente de uniformidade de emissão e de uniformidade de Christiansen, já que esses possuem apenas um limite mínimo de especificação. Enquanto o Cpk (Eq. 10) é o menor valor entre *Cp_i* e *Cp_s*.

A classificação do processo é demonstrada pela Tabela 6, segundo Montgomery (2009).

Tabela 4 - Valores mínimos recomendados da razão da capacidade de processo (Cp;Cpk).

	Especificações bilaterais	Especificações unilaterais
Processos Existentes	1,33	1,25
Processos Novos	1,50	1,45
Segurança, força ou parâmetro crítico (processos existentes)	1,50	1,45
Segurança, força ou parâmetro crítico (processos novos)	1,67	1,60

Fonte: Montgomery (2009)

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DE ÁGUA

5.1.1 IRRIGAÇÃO ÁGUA PURA

Os resultados apresentados na Tabela A dos anexos são referentes às médias de vazões por ensaio e cada ensaio refere-se à coleta de volume de água de 16 pontos do sistema, segundo metodologia proposta por KELLER e KARMELI (1975), com pressão da carga constante.

5.1.1.1 Análise Estatística Descritiva

A partir dos dados da Tabela A (ANEXOS), foi determinada a análise estatística de cada tratamento para irrigação com água pura, conforme dados apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Análise estatística descritiva dos valores de vazão (l.h^{-1}) para irrigação com água pura.

Fator de Variação	N	Média (l.h^{-1})	Desvio Padrão	CV (%)	Mínimo (l.h^{-1})	Máximo (l.h^{-1})	Assimetria	Curtose
T1 - h = 1,0 m	30	0,687	0,0110	1,61	0,660	0,720	0,5908	0,0410
T2 - h = 1,5 m	30	0,839	0,0112	1,34	0,810	0,876	0,6704	0,0633
T3 - h = 2,0 m	30	0,963	0,0145	1,50	0,888	1,020	0,3268	1,5431

Nota: CV = coeficiente de variação.

Ao serem analisados os dados da Tabela 5, observa-se que os resultados que apresentaram maior vazão foram submetidos a uma altura da carga hidráulica de 2,0 m (dois metros).

Nota-se que em todos os tratamentos houve um comportamento semelhante, com pouca variabilidade, com relação ao desvio padrão. Isso pode ser comprovado pelos valores de CV que se encontram abaixo de 10%, indicando dados homogêneos (PIMENTEL GOMES, 2000).

Segundo Silva *et. al.*, (2007), quando existem valores de assimetria próximos de zero, tem-se a simetria na distribuição dos dados com relação à média e à mediana. Porém, quando a distribuição for simétrica, seus valores serão coincidentes ou próximos. Ao serem analisados os valores de assimetria da Tabela 5, observa-se que todos os

dados estão próximos de zero, possuindo cinco valores positivos. Este sinal significa a tendência da distribuição dos dados, todavia, se o valor for negativo, a distribuição está desviada para a esquerda e caso o valor seja positivo, a mesma estará desviada para a direita. Pode-se dizer que uma distribuição é razoavelmente simétrica, quando seus valores de assimetria variam entre -1 e +1. Logo, para os dados de assimetria deste experimento, apresentados na Tabela 5, pode se caracterizar como uma distribuição razoavelmente simétrica, a qual apresenta tendência 5 para direita.

Segundo ASABE (1994), para se considerar um dado como **(alguma coisa como)** aceitável, o emissor teria que possuir valor de coeficiente de variação menor que 15%. O mesmo é considerado como excelente quando apresentar coeficiente menor que 5%, para tanto, na análise dos dados da Tabela 5, os tratamentos utilizados foram aceitáveis e considerados como excelentes com 95% de confiança.

Em um trabalho de campo com *kit* de irrigação por gotejamento, Hermes (2010), ao utilizar alturas da carga hidráulica de 1,0 m e 1,5 m, encontrou respectivamente 0,552 e 0,644 l.h⁻¹, com comprimento de linha lateral de 16 m, valores que foram inferiores aos apresentados neste experimento. Se comparados com os valores do fabricante, para uma carga de 1,0 m, que é o recomendado para a instalação do *kit* de irrigação familiar, tem-se uma vazão média do sistema de 0,65 l.h⁻¹. Logo, todos os valores deste experimento foram superiores aos do fabricante, porém, se trabalhou com um experimento com comprimento de linha lateral de 5,0 m.

5.1.1.2 Coeficiente de Uniformidade de Christiansen

Os dados da Tabela B são referentes aos coeficientes de uniformidade de irrigação Christiansen, calculados por ensaio. A seguir, na Tabela 6, foi determinada a análise descritiva dos valores do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC).

Tabela 6 - Análise estatística descritiva dos valores do CUC da Tabela B.

Fator de Variação	Nº de Ensaio	Média (%)	Desvio Padrão	Mínimo (%)	Máximo (%)
T1 - h = 1,0 m	30	98,77	0,1965	98,12	99,15
T2 - h = 1,5 m	30	99,02	0,1184	98,85	99,25
T3 - h = 2,0 m	30	98,94	0,1843	98,33	99,25

Ao serem analisados os valores médios do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) da Tabela 6, nota-se que em todos os tratamentos os valores são considerados como aceitáveis segundo Mantovani & Ramos, 1994, os quais usam como

parâmetro considerado aceitável todo valor igual ou superior a 90%. No entanto, Bernardo, Soares e Mantovani (2005) descrevem que o valor mínimo admitido é de 80%, ou seja, baseado nos dois critérios, os valores de CUC são aceitáveis em todos os tratamentos aplicados. No entanto, o tratamento com altura da carga hidráulica com 99,02% apresentou melhor uniformidade. Percebe-se também que os desvios padrões foram baixos, ou seja, houve pouca variação dos dados obtidos. Comprova-se esta teoria quando foram analisados os valores de mínimo e máximo da Tabela 6.

Liu & Huang (2009) encontraram resultados semelhantes em um estudo de bancada de irrigação por gotejamento, com água pura e pressão de 100 KPa. Os valores de CUC e CUD ficaram próximos a 98%, ou seja, bem próximos aos apresentados por este experimento.

Ao estudar o efeito da carga hidráulica e da declividade em um sistema de irrigação de baixo custo conhecido como IDE drip kit, para uma altura da carga hidráulica de 1,0; 1,5 e 2,0 m, Ella, Reyes e Yoder (2009) encontraram que o valor de CUC foi de 64,8%; 69,8% e 69,9%, respectivamente. Tais dados são bem inferiores aos determinados neste trabalho. Essa diferença é justificada pelas características do sistema de irrigação utilizado e também pela qualidade da água utilizada, e que não foi especificada.

Ao se analisar o gráfico da Figura 14, pode-se afirmar o conceito do coeficiente de uniformidade de Christiansen, o qual se refere à dispersão dos dados de vazão com relação à média, portanto, quanto mais dispersos os dados menor o CUC. E como discutido anteriormente sobre os dados da Tabela 6, confirma-se, pelo gráfico da Figura 14, uma menor dispersão nos dados de altura 1,5 m (T2).

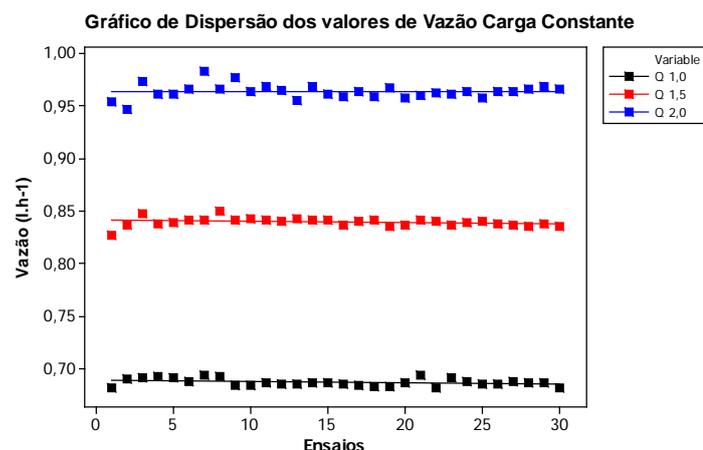


Figura 14 - Gráfico de dispersão dos dados de vazão para carga constante.

5.1.1.3 Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD)

Os dados da Tabela 7 apresentam a análise descritiva resumida dos valores do coeficiente de uniformidade de distribuição calculados a partir dos dados da Tabela B.

Tabela 7 - Análise estatística descritiva dos valores do CUD dos dados da Tabela B.

Fator de Variação	Nº de Ensaios	Média (%)	Desvio Padrão	Mínimo (%)	Máximo (%)
T1 - h = 1,0 m	30	98,26	0,6718	94,88	98,92
T2 - h = 1,5 m	30	98,69	0,2151	98,32	99,15
T3 - h = 2,0 m	30	98,60	0,2891	97,55	99,06

Baseado nos critérios para classificação de coeficiente de uniformidade de distribuição, segundo ASABE (1996), de acordo com a análise dos dados da Tabela 7, consideram-se todos os tratamentos como aceitáveis e de performance excelente, pois obteve-se uniformidade maior que 90%.

Chigerwe et. al. (2004) ao trabalharem com kits de irrigação de baixo custo e alturas do reservatório que variaram de 0,5 m a 3,0 m, encontraram coeficiente de distribuição superior a 90%. Um desses kits foi utilizado neste experimento, o qual chegou ao mesmo critério de excelente, segundo a classificação da ASABE (1996).

5.1.2 FERTIRRIGAÇÃO

Este estudo teve por objetivo avaliar também o sistema com a utilização de fertilizantes específicos para irrigação.

Para avaliação da fertirrigação, foi instalado um sistema na altura de carga hidráulica de 1,5 m para o presente experimento, pois essa foi a que apresentou melhor eficiência de operação conforme resultados do item 5.1.2 desta dissertação. Na Figura 15 está apresentado um gráfico de linhas em que confirma que na altura de 1,5 m obteve-se melhor uniformidade.

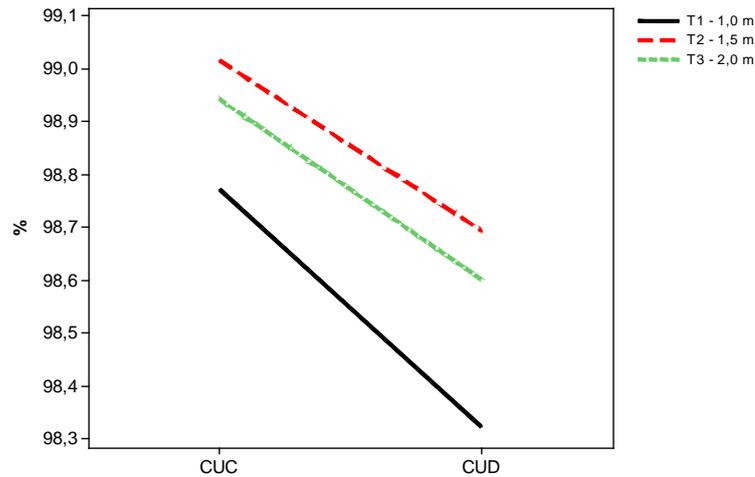


Figura 15 - Gráfico de linhas para média do CUC e CUD para irrigação com água pura, dos dados da Tabela B.

A coleta de dados foi realizada com base nesses critérios, seguindo a mesma metodologia. A análise estatística descritiva da vazão, a partir dos dados das Tabelas A1 e A3, está descrita na Tabela 8.

Tabela 8 - Análise estatística descritiva dos valores de vazão (l.h^{-1}) para altura hidráulica de 1,5 m com irrigação comum e fertirrigação.

Variáveis Estatísticas	Tipos de irrigação	
	T2 - Água Pura	T4 - Fertirrigação
N	30	30
Média (l.h^{-1})	0,839	0,830
Desvio Padrão	0,0112	0,0164
C.V. (%)	1,34	1,97
Mínimo (l.h^{-1})	0,810	0,774
Máximo (l.h^{-1})	0,876	0,864
Assimetria	0,6704	-0,4951
Curtose	0,0633	0,4068

Nota-se que na Tabela 8 os valores de CV, que se encontram abaixo de 10%, podem ser considerados como dados homogêneos (PIMENTEL GOMES, 2000). A variação dos valores coletados nos trinta ensaios foi baixa, pois os dados da Tabela 8 apresentaram um desvio padrão baixo.

Os valores de assimetria foram próximos de zero (0) dentro da faixa de -1 e +1, com valores positivos e negativos. Isso indica então, segundo SILVA *et. al.*, (2007), uma distribuição simétrica com uma pequena tendência para esquerda (fertirrigação); quando negativo e para direita (água pura) quando positivo.

Na Tabela 9, foram gerados os valores de CUC e CUD para o sistema de fertirrigação e acrescentados junto com os dados sobre água pura.

Tabela 9 - Análise estatística descritiva dos Coeficientes de Uniformidade para altura hidráulica de 1,5 m com irrigação comum e fertirrigação.

C.U.	Tipos de irrigação	N	Médias (%)	Desvios Padrões	Mínimo (%)	Máximo (%)
CUC	T2 - Água pura	30	99,02	0,1184	98,85	99,25
	T4 - Fertirrigação	30	98,56	0,1481	98,29	99,00
CUD	T2 - Água pura	30	98,69	0,2151	98,32	99,15
	T4 - Fertirrigação	30	97,71	0,2095	97,29	98,15

Os valores de CUC foram analisados de acordo com o critério de Mantovani & Ramos (1994), os quais consideram aceitáveis todos os tratamentos, pois todos obtiveram eficiência superior a 90%.

A mesma aceitação é atribuída para os valores de CUD, pois, segundo ASABE (1996), estão dentro dos critérios de aceitável e excelente, pois foi obtida uniformidade maior que 90%.

Nascimento *et. al.* (2009), em um experimento com tubo de gotejador e fertilizante mineral para fertirrigação, realizaram pesquisas com kits para pequenas propriedades, com o funcionamento à baixa pressão. Esses autores elevaram o reservatório a uma altura de 3 (três) metros e determinaram o funcionamento como excelente, pois os valores dos CUC e CUD foram superiores a 90% em 90 dias de funcionamento. Tais valores estão próximos aos encontrados neste experimento com fertirrigação.

- Potencial Hidrogeniônico e Condutividade elétrica

Na Tabela 10 encontra-se a análise estatística descritiva dos dados de pH e condutividade elétrica da mistura da água com fertilizante na saída dos gotejadores.

Tabela 10 - Análise estatística descritiva dos valores de pH e condutividade elétrica para altura hidráulica de 1,5 m e fertirrigação.

Variáveis Estatísticas	pH	C.E. (dS.m ⁻¹)
N	30	30
Média	6,16	2,26
Desvio Padrão	0,0445	0,1005
C.V.	0,72	4,46
Mínimo	6,00	1,90
Máximo	6,80	2,34
Assimetria	5,4307	-1,7799
Curtose	87,2522	2,9643
CUC (%)	99,88	99,91

Pelos resultados apresentados na Tabela 10, os dados de pH proporcionaram um baixo risco de entupimento, pois estavam abaixo de 7,0 (NAKAYAMA; BUCKS, 1986). Ainda segundo os mesmos autores, com relação à condutividade elétrica, há um risco moderado, pois a mesma encontra-se na faixa de 0,7 a 3,0 dS.m⁻¹, sendo assim, são necessários cuidados com o sistema com relação à manutenção de operação para que não ocorra entupimento no decorrer do tempo.

Em seu experimento com fertilizante mineral, Nascimento *et. al.* (2009) encontraram valores de CE iguais a 0,17 dS m⁻¹, os quais não apresentaram restrição para o uso da fertirrigação (NAKAYAMA; BUCKS, 1986), e são inferiores aos valores de CE, determinados nesta pesquisa. Esses mesmos autores ainda encontraram pH igual a 7,8, classificado como risco ao entupimento moderado (NAKAYAMA; BUCKS, 1986). Tal dado foi superior ao resultado de pH encontrado nos tratamentos de fertirrigação deste experimento. A diferença se explica pelo fato de se utilizar uma concentração diferente dos fertilizantes minerais.

Nota-se também que o desvio padrão dos dados foi baixo, conseqüentemente, o coeficiente de variação também foi baixo, inferior a 10% (PIMENTEL GOMES, 2000) considerando os dados homogêneos.

Hermes (2010), em um experimento de campo com *kit* de irrigação por gotejamento, utilizou água residuária de fecularia e encontrou valores inferiores ao deste experimento, para condutividade elétrica 0,123 dS.m⁻¹ e pH 5,58, baseado na altura da carga hidráulica de 1,5 m.

5.2 Relação entre a vazão e a pressão

A equação do emissor deste experimento foi gerada pelo gráfico da Figura 16 por análise de regressão da relação vazão-pressão, que determinou a equação $Q = 0,2097 * P^{0,5074}$ com $R^2 = 0,9976$. Nota-se que os valores do expoente de descarga (x) e da constante “k”, descritos no item 4.1, foram bem próximos aos valores do fabricante para os dois tipos de carga.

Na pesquisa com tubo gotejador da marca Netafim, modelo Tiran 17, Pletsch *et al.* (2009) obtiveram a equação $Q = 0,2417 * P^{0,47}$, com coeficiente de determinação (R^2) de 0,9952 e expoente de descarga (x) de 0,47, valores próximos aos deste experimento.

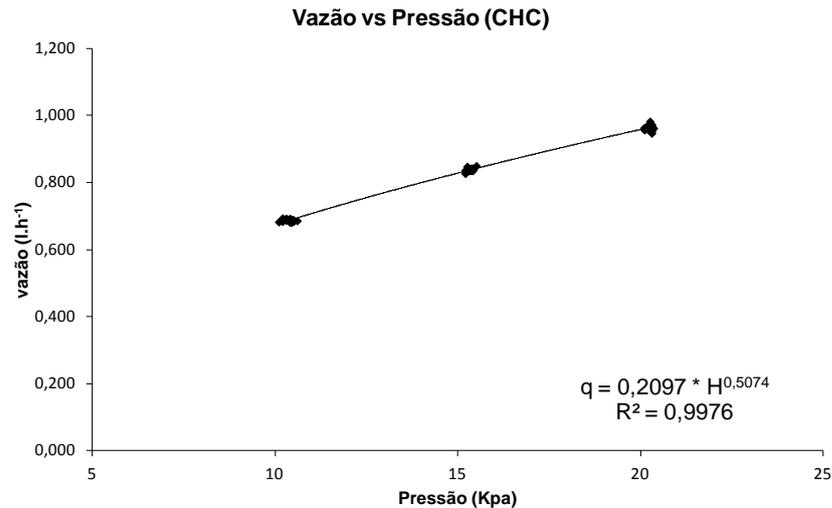


Figura 16 - Gráfico de regressão linear da vazão média dos ensaios em função da pressão média em KPa.

O valor de R^2 (coeficiente de determinação) significa o quanto o modelo ajustado explica a variação da variável vazão (Q). Logo, quer dizer que, 99,76% da variabilidade de vazão são explicados pela variável pressão.

Hermes (2010) e Hernandez (2010), em estudo com kit de irrigação por gotejamento com baixa pressão de operação, encontraram valores de R^2 iguais a 93,70% e 99,94%, respectivamente. Enquanto, FARIA *et. al.* (2002) estudaram o entupimento de gotejadores e o efeito gerado pela pressão e obtiveram R^2 de 99,76% que, por coincidência, foi o mesmo valor encontrado para esta pesquisa. Logo nota-se que apenas Hermes (2010) obteve valores inferiores a este experimento, porém ainda com um coeficiente de determinação elevado.

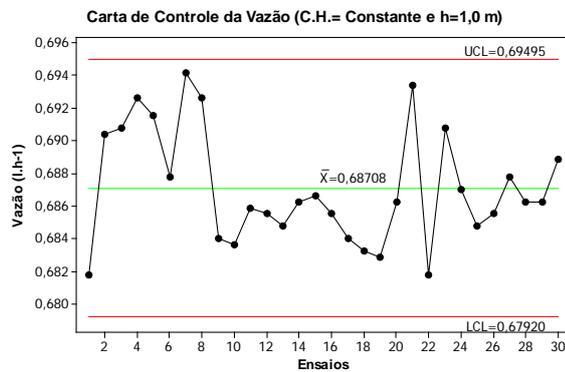
KIRNAK *et. al.* (2004), no que se refere à determinação do desempenho hidráulico de emissores de irrigação nas planícies de Harã, na Turquia, utilizaram emissores compensantes e não-compensantes e demonstraram que coeficiente de correlação (R^2) com elevados valores variou de 0,958 a 0,999.

5.3 Controle de qualidade

5.3.1 APLICAÇÃO DE GRÁFICOS DE CONTROLE DE SHEWHART PARA MEDIDAS INDIVIDUAIS

Na Figura 19, estão apresentados os gráficos de controle de Shewhart para medidas individuais dos valores de vazão. Para o Tratamento 1 (Figura 17), nota-se que

todos os dados de vazão encontram-se dentro dos limites de controle, porém, do ensaio 9 ao 20, os dados representam uma sequência abaixo da linha média, logo tal processo



foi considerado como fora de controle estatístico de qualidade.

Figura 17 - Gráfico de controle da vazão para e altura de C.H. 1,0 m.

Nota: C.H. = carga hidráulica; ULC = limite superior de controle; LCL = limite inferior de controle.

Apesar de o sistema estar fora de controle estatístico, verificou-se, pelo programa minitab, um teste-t de comparação de médias com desvio padrão populacional desconhecido, com o objetivo de verificar se o sistema apresenta maior ou menor vazão que a especificação de fábrica.

$$H_0: \mu > 0,65 \text{ l.h}^{-1} \text{ (Rejeita-se } H_0 \text{ se p-valor} > 0,05);$$

$$H_1: \mu \leq 0,65 \text{ l.h}^{-1}$$

Variable	N	Mean	StDev	T	P-valor
Q (l.h-1)	480	0,687075	0,011034	73,62	<0,05

Portanto, com 95% de confiança, confirma-se pelo teste que a média de vazão do sistema para altura de 1,0 m é superior à especificação do fabricante, atendendo aos requisitos, porém esses ainda não possuem controle de qualidade, sendo necessário verificar quais as causas especiais que interferiram no padrão qualidade.

O gráfico de controle Shewhart para dados individuais apresentados na Figura 18 representa os valores de vazão do Tratamento 2 (Figura 18). Observa-se que os ensaios 1 e 8 encontram-se fora dos limites de controle, assim, são considerados fora de controle estatístico de qualidade.

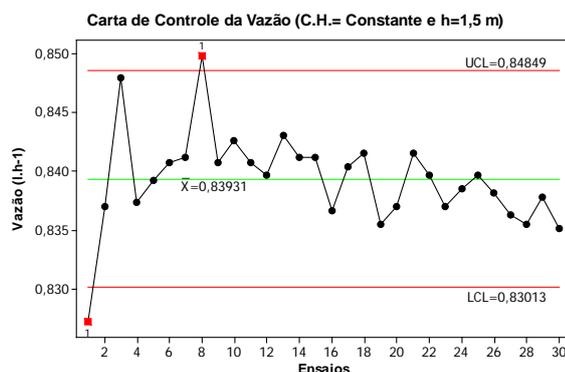


Figura 18 - Gráfico de controle da vazão para altura C.H. 1,5 m.

Nota: C.H. = carga hidráulica; ULC = limite superior de controle; LCL = limite inferior de controle.

Como para o T_1 , neste caso, foi realizado o teste de comparação de médias, para verificar se a média de vazão de fabricação é maior ou menor que a vazão do experimento para a altura de 1,5 metro.

$$H_0: \mu > 0,789 \text{ l.h}^{-1} \text{ (Rejeita-se } H_0 \text{ se p-valor} > 0,05);$$

$$H_1: \mu \leq 0,789 \text{ l.h}^{-1}$$

Variable	N	Mean	StDev	T	p-valor
Q (l.h-1)	480	0,839312	0,011212	98,31	<0,05

Pelo teste-t com 5% de significância, a média do sistema é superior à média de vazão de fabricação.

Para o Tratamento 3 (Figura 19) dos dados, o Ensaio 7 tem valor acima do limite superior de controle, nove (9) pontos abaixo da linha média, mas dentro da faixa 2-sigma.

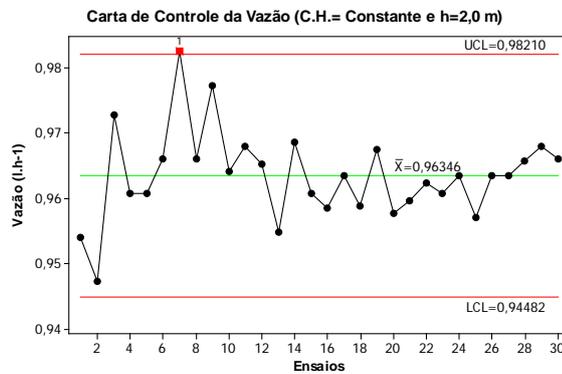


Figura 19 - Gráfico de controle da vazão para altura C.H. 2,0 m.

Nota: C.H. = carga hidráulica; ULC = limite superior de controle; LCL = limite inferior de controle.

Para este caso, também verificou-se uma comparação de médias pelo teste-t.

$$H_0: \mu > 0,91 \text{ l.h}^{-1} \text{ (Rejeita-se } H_0 \text{ se p-valor} > 0,05);$$

$$H_1: \mu \leq 0,91 \text{ l.h}^{-1}$$

Variable	N	Mean	StDev	T	p-valor
Q (l.h-1)	480	0,963462	0,014494	80,81	<0,05

Pelo resultado do teste-t a 5% de significância, este sistema apresentou média de vazão superior à especificação do fabricante para altura de dois (2) metros.

Para fertirrigação, no gráfico da Figura 20, pode-se observar que os dados de vazão estão fora de controle estatístico de qualidade, pois além dos ensaios 3 e 23 estarem fora dos limites de controle, o sistema também apresentou uma tendência para o limite superior a partir do ensaio 4. Uma sequência também foi constatada a partir do ensaio 14 de 11 pontos acima da linha média.

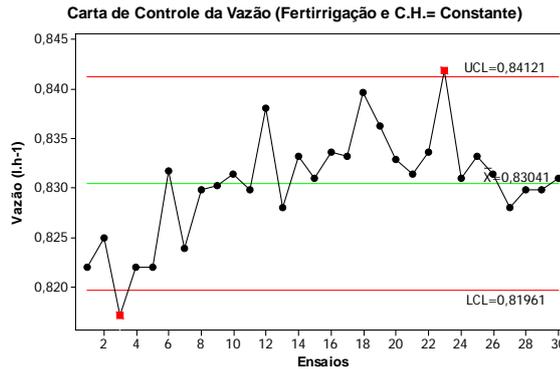


Figura 20 - Gráfico de controle da vazão para fertirrigação com altura C.H. 1,5.
Nota: C.H. = carga hidráulica; ULC = limite superior de controle; LCL = limite inferior de controle.

Assim como nos demais tratamentos com água pura, para fertirrigação também realizou-se um teste de comparação de médias com a vazão média de fabricação para altura de 1,5 m.

$$H_0: \mu > 0,789 \text{ l.h}^{-1} \text{ (Rejeita-se } H_0 \text{ se } p\text{-valor} > 0,05);$$

$$H_1: \mu \leq 0,789 \text{ l.h}^{-1}$$

Variable	N	Mean	StDev	T	p-valor
Q (l.h-1)	480	0,830413	0,016360	55,46	<0,05

Para fertirrigação, o resultado foi de que a média do sistema foi superior à do fabricante com 95% de confiança, mesmo quando aplicado fertilizante.

Os gráficos de controle de Shewhart para medidas individuais, apresentados pelas Figuras 21, 22 e 23, são baseados nos valores de CUC (Tabela B).

Para a altura de 1,0 m (Figura 21), este gráfico apresentou uma sequência de 6 pontos acima da linha média e no ensaio 30, os pontos estão abaixo do limite inferior de controle. No entanto, não foram registrados pontos fora dos limites no tratamento com altura de 1,5m, porém ocorreu uma sequência de 7 pontos do ensaio 18 ao 24, abaixo da linha média. Enquanto para altura de 2,0 m, foi verificado que o ensaio 2, no gráfico, está abaixo da linha inferior de controle. Para tanto, de acordo com nessas características, os ensaios de CUC foram considerados sem controle estatístico de qualidade.

Justi (2010) e Hermes (2010) avaliaram o controle estatístico de qualidade para o CUC, em irrigação por aspersão e irrigação por gotejamentos, respectivamente, e encontraram um ponto fora dos limites de controle, como ocorreu neste experimento, assim, é recomendada uma maior atenção para a causa dessa variação.

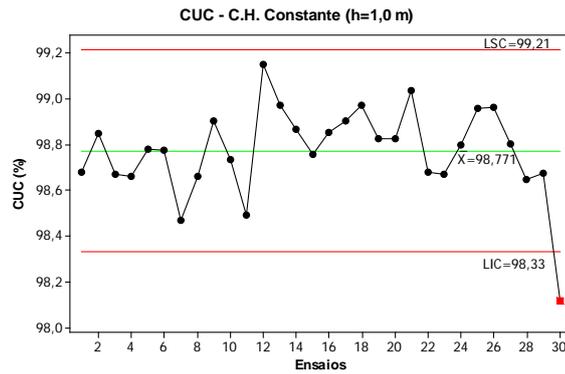


Figura 21 - Gráfico de controle do CUC para altura C.H. 1,0.
Nota: C.H. = carga hidráulica LSC = limite superior de controle; LIC = limite inferior de controle.

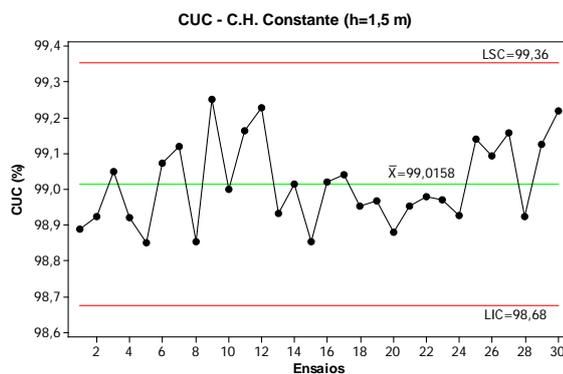


Figura 22 - Gráfico de controle do CUC para altura C.H. 1,5 m.
Nota: C.H. = carga hidráulica; LSC = limite superior de controle; LIC = limite inferior de controle.

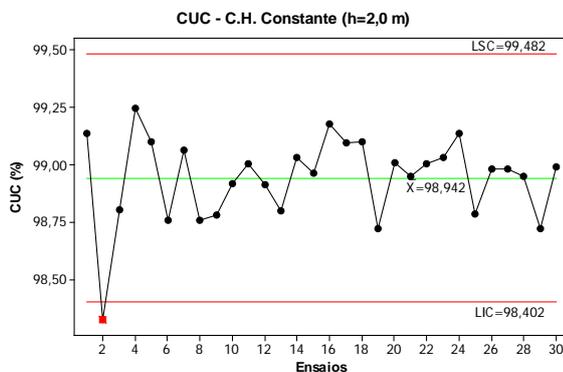


Figura 23 - Gráfico de controle do CUC para altura C.H. 2,0 m.
Nota: C.H. = carga hidráulica; LSC = limite superior de controle; LIC = limite inferior de controle.

Como o critério para ser considerado um sistema aceitável, o CUC precisa ser igual ou superior a 90%, segundo Mantovani & Ramos (1994). Foi realizado um teste de comparação de médias (teste-t) para os tratamentos 1, 2 e 3 a fim de verificar se esses tratamentos são aceitáveis.

$$H_0: \mu > 90\% \text{ (Rejeita-se } H_0 \text{ se } p\text{-valor} > 0,05);$$

$$H_1: \mu \leq 90\%$$

Tratamento 1 (T1 – h=1,0m):

Variable	N	Mean	StDev	T	p-valor
CUC	30	98,7709	0,1965	244,47	<0,05

Tratamento 2 (T1 – h=1,5m):

Variable	N	Mean	StDev	T	p-valor
CUC	30	99,0158	0,1184	417,00	<0,05

Tratamento 3 (T1 – h=2,0m):

Variable	N	Mean	StDev	T	p-valor
CUC	30	98,9423	0,1843	265,81	<0,05

De acordo com os testes aplicados, com 5% de significância, pode-se dizer que os três tratamentos obtiveram Coeficientes de Uniformidade de Christiansen superiores a 90%.

Para fertirrigação (Figura 24), o CUC demonstrou ser satisfatório e, apesar de o ensaio 20 estar muito próximo do LSC, a distribuição dos dados foi aleatória à linha média, conforme representado nos gráficos da Figura 26.

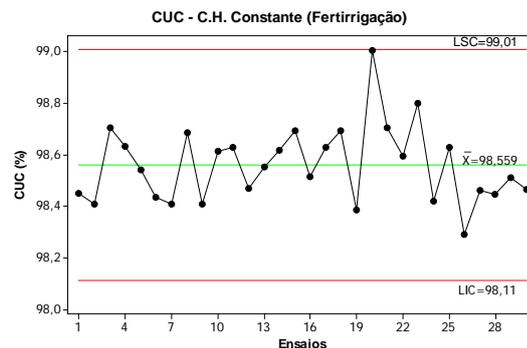


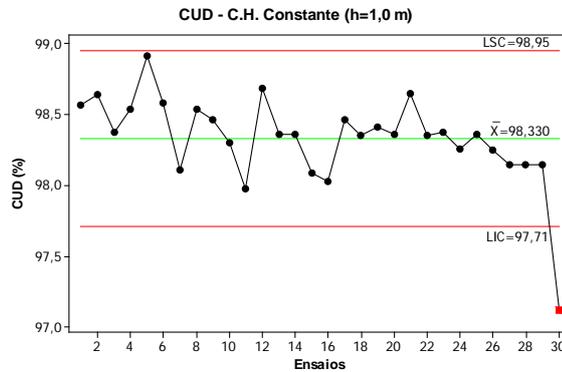
Figura 24 - Gráfico de controle do CUC para fertirrigação com altura C.H. 1,5 m .
Nota: C.H. = carga hidráulica; LSC = limite superior de controle; LIC = limite inferior de controle.

Nas Figuras 25, 26 e 27, podem ser observados os gráficos de controle de Shewhart para medidas individuais, gerados a partir dos valores de CUD (Tabela B).

Verifica-se que o Tratamento 1, a partir do ensaio 17, demonstrou uma sequência acima da linha média com relação ao controle de qualidade para o CUD, seguido de uma tendência ao limite inferior de controle, e ainda, o ensaio 30 ultrapassou esse limite, o qual foi considerado fora do controle estatístico de qualidade.

Para os gráficos da Figura 26 (Tratamento 2), os valores estão dentro dos critérios dos gráficos de controle de Shewhart para medidas individuais, os quais foram classificados como sob controle estatístico de qualidade.

Todavia na Figura 27, um dado foi apresentado fora do limite inferior e, ainda, apresentou sequência do ensaio 13 ao 21 acima da linha média sendo então considerado



fora de controle estatístico de qualidade.

Figura 25 - Gráfico de controle do CUD para altura C.H. 1,0 m.

Nota: C.H. = carga hidráulica; LSC = limite superior de controle; LIC = limite inferior de controle.

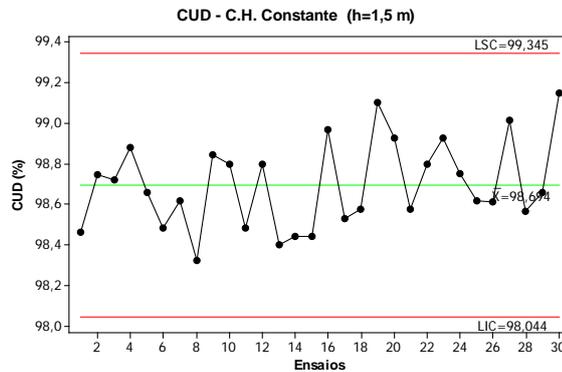


Figura 26 - Gráfico de controle do CUD para altura C.H. 1,5 m.

Nota: C.H. = carga hidráulica; LSC = limite superior de controle; LIC = limite inferior de controle.

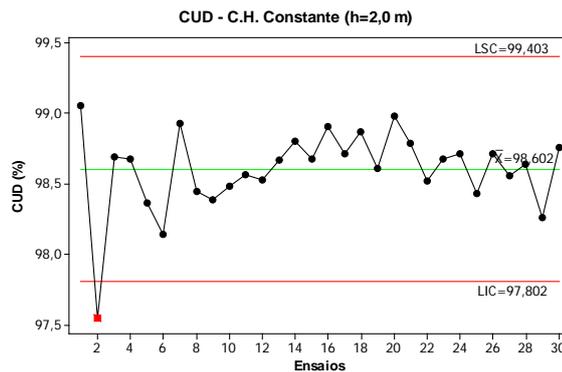


Figura 27 - Gráfico de controle do CUD para altura C.H. 2,0 m.

Nota: C.H. = carga hidráulica; LSC = limite superior de controle; LIC = limite inferior de controle.

As avaliações dos dados deste trabalho foram baseadas na norma da ASABE (1996), a qual considera que quando o valor do CUD for superior a 90%, o sistema é considerado excelente. A partir desta informação, verificou-se pelo teste de comparação de médias, se todos os tratamentos apresentaram média superior ao de especificação.

$H_0: \mu > 90\%$ (Rejeita-se H_0 se $p\text{-valor} > 0,05$);

$H_1: \mu \leq 90\%$

Tratamento 1 (T1 – h=1,0m):

Variable	N	Mean	StDev	T	p-valor
CUD	30	98,3245	0,3348	136,17	$p < 0,05$

Tratamento 2 (T1 – h=1,5m):

Variable	N	Mean	StDev	T	p-valor
CUD	30	98,6943	0,2151	221,36	$p < 0,05$

Tratamento 3 (T1 – h=2,0m):

Variable	N	Mean	StDev	T	p-valor
CUD	30	98,6023	0,2891	162,96	$p < 0,05$

Após realizado o teste, constatou-se com 95% de confiança que todos os tratamentos obtiveram valor do coeficiente de distribuição acima do mínimo necessário para ser considerado excelente.

Os valores de CUD para fertirrigação estavam sob controle estatístico de qualidade para carga constante (Figura 28).

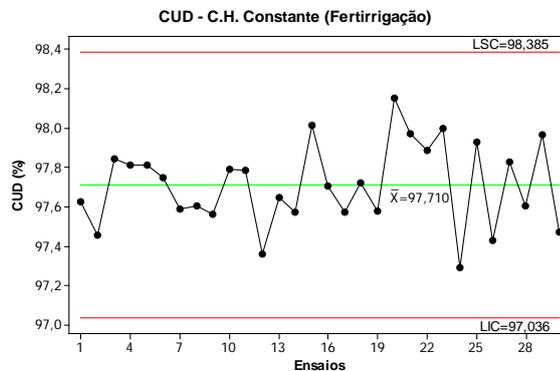


Figura 28 - Gráfico de controle do CUD para fertirrigação com altura C.H. 1,5 m.

Nota: C.H. = carga hidráulica; LSC = limite superior de controle; LIC = limite inferior de controle.

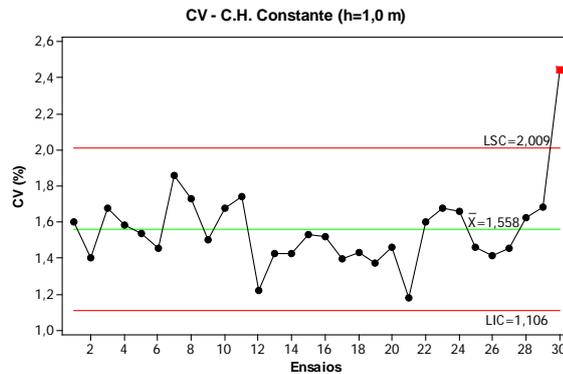
A partir dos dados da Tabela B, foram gerados os gráficos de controle de Shewhart para medidas individuais, representados pelas Figuras 29, 30 e 31, que correspondem aos dados do CV.

Na Figura 29 o ensaio 30 foi superior ao LSC e ainda dos ensaios 12 ao 21, foi gerada uma sequência de pontos abaixo da linha média, ao se considerar T1 fora de controle estatístico de qualidade.

Na Figura 30, a distribuição dos dados está dentro dos limites de controle, considerando o Tratamento 2 sob controle estatístico de qualidade. Enquanto no gráfico

da Figura 31, o Tratamento 3 demonstra não estar sob controle estatístico de qualidade, por apresentar o ensaio 2 fora do limite superior de controle.

Hermes (2010), em sistema de irrigação por gotejamento que funciona à baixa pressão, para CV, determinou que o processo estava fora de controle, por apresentar ponto fora dos limites e periodicidade. No entanto, Hernandez (2010) encontrou



resultados semelhantes ao deste experimento para o controle de qualidade, baseado no CV, quando está dentro dos limites de controle.

Figura 29 - Gráfico de controle do CV para altura C.H. 1,0 m.

Nota: C.H. = carga hidráulica; LSC = limite superior de controle; LIC = limite inferior de controle.

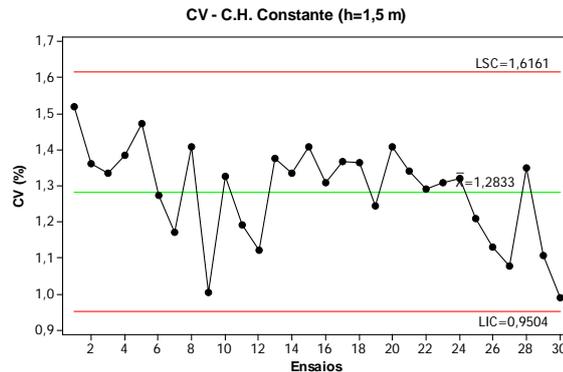


Figura 30 - Gráfico de controle do CV para altura C.H. 1,5 m.

Nota: C.H. = carga hidráulica; LSC = limite superior de controle; LIC = limite inferior de controle.

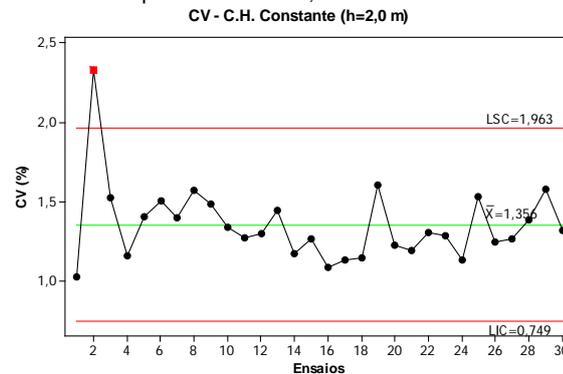


Figura 31 - Gráfico de controle do CV para altura C.H. 2,0 m.

Nota: C.H. = carga hidráulica; LSC = limite superior de controle; LIC = limite inferior de controle.

Ao se considerar que a classificação de um emissor é de excelente qualidade, a mesma precisa ter valor de CV igual ou inferior a 5% (ASABE, 1994). Assim, realizou-se o teste-T para comparar as médias dos tratamentos com o de especificação.

$H_0: \mu < 90\%$ (Rejeita-se H_0 se $p\text{-valor} > 0,05$);

$H_1: \mu \geq 90\%$

Tratamento 1 (T1 – h=1,0m):

Variable	N	Mean	StDev	T	p-valor
CV	30	1,5659	0,2617	-71,88	$p < 0,05$

Tratamento 2 (T1 – h=1,5m):

Variable	N	Mean	StDev	T	p-valor
CV	30	1,2833	0,1327	-153,44	$p < 0,05$

Tratamento 3 (T1 – h=2,0m):

Variable	N	Mean	StDev	T	p-valor
CV	30	1,3563	0,2431	-82,11	$p < 0,05$

Os resultados do teste-t, apresentados a 5% de significância, resultaram em todas as médias de CV dos tratamentos inferiores ao de especificação.

Na Figura 32, nota-se que o ensaio 20 de CV encontra-se abaixo do limite inferior de controle, portanto, é considerado o CV para o Tratamento 4 como fora de controle estatístico de qualidade.

Hermes (2010) também encontrou distribuição dos dados no gráfico semelhante a deste tratamento ao analisar fertirrigação com água residuária de fecularia, com um ponto fora de controle e os demais dentro dos limites, o qual também foi considerado como fora de controle estatístico.

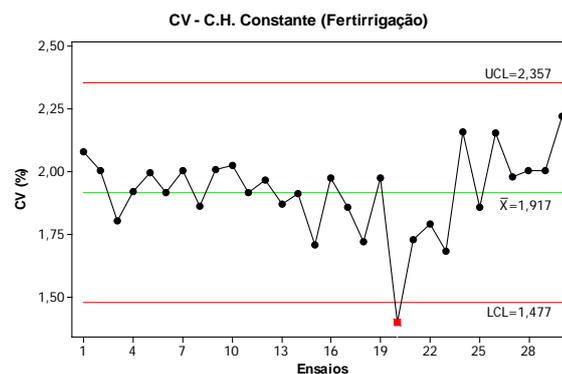


Figura 32 - Gráfico de controle do CV para fertirrigação com altura C.H. 1,5 m.

Nota: C.H. = carga hidráulica; LSC = limite superior de controle; LIC = limite inferior de controle.

5.3.2 CAPACIDADE DE PROCESSO

Sabendo-se que o índice de capacidade de processo é a resposta de quanto o processo está operando dentro dos limites fornecidos de especificação, tem-se, na sequência, uma avaliação do sistema, baseada nos valores obtidos dos coeficientes de

uniformidade de Christiansen (CUC), uniformidade de distribuição (CUD) e de variação (CV), para irrigação e fertirrigação.

Os valores obtidos para a capacidade dos processos foram elevados. Isto ocorreu devido a uma baixa variabilidade dos dados amostrados, ou seja, o desvio padrão utilizado nos cálculos tinha um valor baixo.

Na Tabela 11, foram determinados os valores de capacidade de processo para o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), ao se levar em consideração o limite inferior de especificação (LIE) como o valor de CUC igual a 90%, e que segundo Mantovani & Ramos (1994), o sistema é considerado como aceitável. Foi também verificado que o Cpk com LIE era igual ao CUC de 80%. E, de acordo com Bernardo, Soares e Mantovani (2005), esse é o valor para considerar o sistema aceitável.

Tabela 11 - Valores referentes à razão da capacidade de processo para a análise dos dados de CUC.

Fator de Variação	Cpk (LIE=90%)	Cpk (LIE=80%)
T1 - h = 1,0 m	19,87	42,53
T2 - h = 1,5 m	26,50	55,90
T3 - h = 2,0 m	16,56	35,07

Nota-se que, a partir dos dados da Tabela 11, a razão da capacidade de processo (RCP), baseada no limite inferior para todos os processos, gerou um valor muito alto. Isto ocorreu porque o valor médio dos ensaios gera uma variação elevada em relação ao LIE e, como foi dito anteriormente, os dados possuem baixa variabilidade.

Analisa-se também que quando o critério de especificação foi reduzido de 90% para 80%, os valores de Cpk aumentaram, ou seja, quanto menor a exigência do fabricante, melhor vai ser a capacidade do processo em trabalhar dentro das especificações.

Pode-se ainda dizer que o sistema de gotejamento possui excelente capacidade de processo, pois seu valor é superior ao proposto por Montgomery (2009) para possuir esta classificação, ou seja, os valores de Cpk são maiores que 1,60, para processo unilateral, ou seja, que é usado apenas um limite de especificação. Logo, o funcionamento do sistema pelo Tratamento 2 é o processo de melhor capacidade pelos dados de CUC.

Hermes (2010), em sistemas de gotejamento de baixo custo, com operação a baixas pressões, determinou o índice de capacidade de processo aceitável para dados de CUC e também notou um acréscimo do valor de Cpk quando o critério passou de 90% para 80%, conforme foi encontrado nesta pesquisa, porém, com valores de Cpk inferiores.

Na Tabela 12, encontram-se os valores da capacidade de processo, para a análise dos dados de CUD, que também levam em consideração apenas o limite inferior de especificação. Para esse caso, para efeito de cálculo, foram utilizados os critérios de classificação, segundo a norma da ASABE (1996). Assim, o sistema foi considerado como excelente quando os valores foram superiores a 90%; quando os valores variaram de 75 a 90%, o sistema foi considerado como bom; e de 62% a 75%, como regular.

Tabela 12 – Valores referentes à razão da capacidade de processo para a análise dos dados de CUD.

Fator de Variação	Cpk (LIE=90%)	Cpk (LIE=75%)	Cpk (LIE=62%)
T1 - h = 1,0 m	13,41	37,55	58,47
T2 - h = 1,5 m	13,36	36,41	56,39
T3 - h = 2,0 m	10,82	29,49	45,74

Assim, a partir dos dados da Tabela 12, pode-se dizer que para os valores de CUD, todos os tratamentos possuem capacidade de processo, pois seus valores foram superiores a 1,60, segundo Montgomery (2009) para processos unilaterais, ou seja, leva-se em consideração apenas um limite de especificação e ainda que o Tratamento 1 foi o que obteve melhor capacidade de processo.

Pode-se determinar também que, conforme o critério de exigência diminui, a capacidade de processo aumentou para todos os tratamentos. E que os valores também foram altos devido à baixa variabilidade dos dados de CUD.

Os índices de capacidade de processo (Cpk) da Tabela 13 foram determinados pelos dados do coeficiente de variação (CV) de vazão do emissor. Foram utilizados os critérios de classificação baseados na norma da ASABE (1994), que considera valores de CV maiores que 5% como excelentes; quando os valores estão entre 5% e 7%, são considerados como médios e de 7 a 11% são regulares.

Tabela 13 - Valores referentes à razão da capacidade de processo para a análise dos dados do coeficiente de variação.

Fator de Variação	Cpk (LSE=5%)	Cpk (LSE=7%)	Cpk (LSE=11%)
T1 - h = 1,0 m	7,62	12,05	20,90
T2 - h = 1,5 m	11,17	17,17	29,19
T3 - h = 2,0 m	6,00	10,31	15,89

Nota: C.H. = Carga hidráulica;

Segundo Montgomery (2009), todos os dados da tabela 13, possuem capacidade de processo, ou seja, todos os tratamentos estão dentro das especificações. Sendo o tratamento 2 o de melhor capacidade de processo por ter os maiores índices.

Os resultados de Cpk para esta análise também foram altos, devido aos dados de CV possuírem baixa variabilidade. Os índices de Cpk aumentaram, conforme o LIE aumentou, ou seja, os parâmetros de exigência diminuíram.

Na Tabela 14 estão apresentados os valores de Cpk para a avaliação na fertirrigação, para CUC, CUD e CV, seguindo seus parâmetros de classificação.

Tabela 14 - Valores referentes à capacidade de processo para a análise dos dados para fertirrigação.

Fator de Variação	Critério	Cpk
CUC	Cpk (LIE=90%)	19,10
	Cpk (LIE=80%)	41,41
CUD	Cpk (LIE=90%)	11,44
	Cpk (LIE=75%)	33,69
	Cpk (LIE=62%)	52,97
CV	Cpk (LSE=5%)	7,01
	Cpk (LSE=7%)	11,56
	Cpk (LSE=11%)	20,65

Nota: C.H. = Carga hidráulica;

Nota-se que todos os índices de capacidade de processo (Cpk) da Tabela 14 seguiram os critérios de Montgomery (2009) e todos os valores foram maiores que 1,60 para os processos novos. É preciso levar em conta que os processos unilaterais, aqui considerados, possuem capacidade de processo.

Nota-se também que para a fertirrigação, ocorre o mesmo procedimento que ocorre com água pura, ou seja, quanto menor for o critério de exigência do fabricante, maiores foram os valores de Cpk. Na Figura 33, está representado o gráfico de regressão exponencial do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), em relação aos valores de capacidade de processo (Cpk), a partir dos dados de fertirrigação da Tabela 14. No gráfico, está justificado o que foi dito anteriormente com relação ao critério de exigência, ou seja, quanto menor é o valor de CUD, ou a especificação, maior vai ser a capacidade do processo (cpk).

A regressão da Figura 33 apresentou um coeficiente de determinação igual a 94,14% (R^2), ou seja, com 94,14% de variabilidade dos CUDs, os quais são explicados pela variável Cpk.

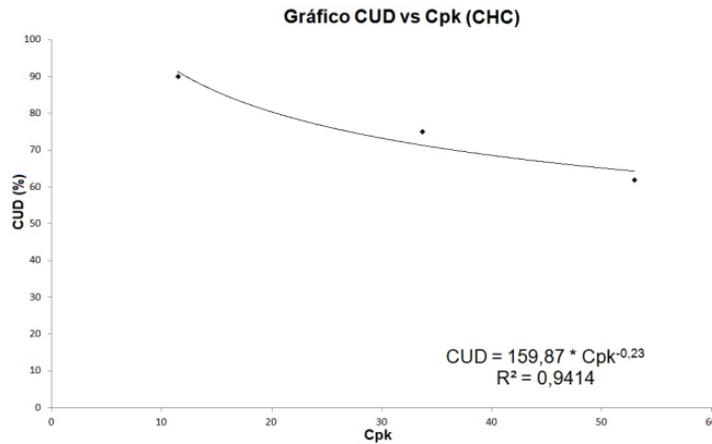


Figura 33 - Gráfico de regressão da equação característica do CUD vs Cpk para fertirrigação.
 Nota: CUD = Coeficiente de Uniformidade de Distribuição; Cpk = Capacidade de processo.

A regressão exponencial gerada em função do coeficiente de variação (CV) e a capacidade de processo (Cpk) estão apresentadas nos gráficos da Figura 34. Pode-se observar que esses gráficos também explicam a influência dos limites de especificação, ou seja, em relação ao CV, quanto maior for seu critério de exigência, maior será o valor da capacidade de processo (Cpk).

A equação gerada pelos gráficos explica que 99,83% de variabilidade do CV são explicados pela variável Cpk.

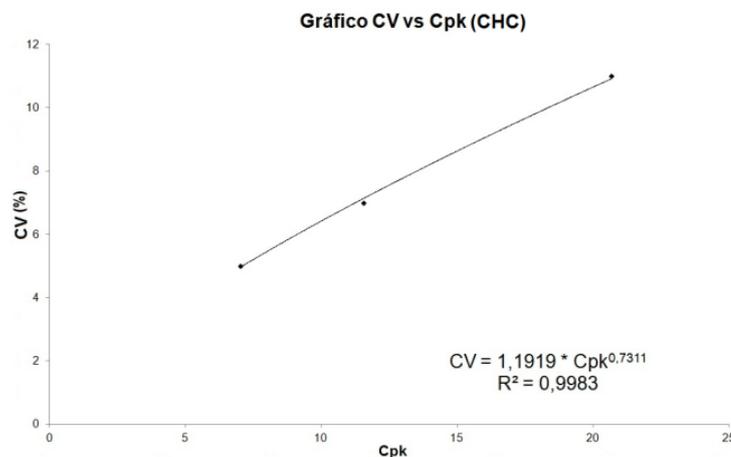


Figura 34 - Gráfico de regressão da equação característica do CV vs Cpk para fertirrigação.
 Nota: CUD = Coeficiente de Uniformidade de Distribuição; Cpk = Capacidade de processo.

5.3.3 Relação de CUC, CUD e CV com Cpk da vazão

A partir da equação do fabricante (Eq. 4), foi encontrada a vazão do fabricante (Tabela D) para as pressões médias dos ensaios de cada tratamento (Tabela A). A partir desses dados, foi determinada a capacidade de processo (Cpk) das vazões, considerando a vazão do fabricante como LIE (Tabela D).

Com base nessas informações, gerou-se a regressão dos dados de Cpk da Tabela D, com o CUC da Tabela B, para verificar a relação que há entre os dois termos. Tais informações estão descritas na Tabela 15.

Tabela 15 - Equação e Coeficiente de determinação (R^2), gerados pela regressão linear dos dados de CUC e Cpk da vazão, para os tratamentos de irrigação com água pura.

Altura da C.H.	Equação	R^2	p-valor	Decisão
T1 - h = 1,0 m	CUC = 0,3969 * Cpk + 98,423	0,1697	0,0237	*
T2 - h = 1,5 m	CUC = 0,5631 * Cpk + 98,291	0,6317	1,56*10 ⁻⁷	*
T3 - h = 2,0 m	CUC = 0,636 * Cpk + 98,123	0,5437	3,35*10 ⁻⁶	*

Notas: * indica que o valor de p-valor é significativo (<0,05) e "ns" que o valor de p-valor não é significativo (>0,05) ao nível de 5% de significância. Fc é o ponto crítico segundo a distribuição F-Snedecor.

Uma análise de variância de regressão foi realizada nos dados da Tabela 15. Assim, verificou-se que os modelos apresentados foram todos significativos, pois o p-valor gerado de cada regressão foi inferior a 0,05, com 95% de confiança. A partir dessas informações, pode-se dizer que os valores de CUC tiveram relação com os valores de Cpk da vazão.

Nota-se que o tratamento com altura de 1,5 m (T2) obteve o melhor coeficiente de determinação (R^2), 0,6317, ou seja, a variabilidade do CUC para esse tratamento depende de 63,17% da variável Cpk.

Na Tabela 16, foi realizada análise de regressão linear para os dados de CUD (Tabela B) com os dados de Cpk da vazão (Tabela D).

Tabela 16 - Equação e Coeficiente de determinação (R^2), gerados pela regressão linear dos dados de CUD e Cpk da vazão, para os tratamentos de irrigação com água pura.

Altura da C.H.	Equação	R^2	p-valor	Decisão
T1 - h = 1,0 m	CUD = 0,8567 * Cpk + 97,578	0,3116	0,0015	*
T2 - h = 1,5 m	CUD = 0,2441 * Cpk + 98,38	0,0360	0,3154	ns
T3 - h = 2,0 m	CUD = 0,636 * Cpk + 98,123	0,5437	1,08*10 ⁻⁷	*

Notas: * indica que o valor de p-valor é significativo (<0,05) e "ns" que o valor de p-valor não é significativo (>0,05) ao nível de 5% de significância. Fc é o ponto crítico segundo a distribuição F-Snedecor.

A análise de variância das regressões de CUD vs Cpk (Tabela 16) explicou que apenas a regressão, para o Tratamento 2, não foi significativa a 5% de significância. Porém, as demais foram significativas, ou então, como regressão, elas possuem relação significativa entre CUD e Cpk.

De acordo com os dados da Tabela 16, o Tratamento 3 apresentou o melhor coeficiente de determinação, com $R^2=0,5437$, demonstrando que os valores de CUD possuem uma relação de 54,37% dos dados de Cpk de vazão.

As regressões lineares dos dados de CV (Tabela B) com os dados de Cpk (Tabela D), para cada tratamento, estão relacionadas na Tabela 17.

Tabela 17 - Equação e Coeficiente de determinação (R^2), gerados pela regressão linear dos dados de CV e Cpk da vazão, para os tratamentos de irrigação com água pura.

Altura da C.H.	Equação	R^2	p-valor	Decisão
T1 - h = 1,0 m	CV = -0,6005 * Cpk + 2,0843	0,2925	0,0014	*
T2 - h = 1,5 m	CV = -0,6366 * Cpk + 2,1027	0,6432	$9,93 \cdot 10^{-8}$	*
T3 - h = 2,0 m	CV = -0,8884 * Cpk + 2,5009	0,6097	$3,56 \cdot 10^{-7}$	*

Notas: * indica que o valor de p-valor é significativo (<0,05) e "ns" que o valor de p-valor não é significativo (>0,05) ao nível de 5% de significância. Fc é o ponto crítico segundo a distribuição F-Snedecor.

A análise de variância das regressões apresentadas na Tabela 17 apresentou dados com 5% de significância, enquanto as regressões de CV apresentaram relação significativa com os dados de Cpk.

A partir dos dados da Tabela 17 também foi possível verificar que a melhor correlação dos dados foi para o Tratamento 2, com $R^2 = 0,6432$, ou seja, pode-se dizer que os dados de CV possuem uma relação de 64,32% com os valores de Cpk de vazão.

Para os dados de fertirrigação, também foram geradas as regressões lineares dos dados de CUC, CUD e CV, com os dados de Cpk de vazão (Tabela 18).

Tabela 18 - Equação e Coeficiente de determinação (R^2), gerados pela regressão linear dos dados de CUC, CUD e CV vs Cpk da vazão, para Fertirrigação.

Coefficientes	Equação	R^2	p-valor	Decisão
CUC	$y = 0,5782x + 98,07$	0,3797	0,0003	*
CUD	$y = 0,5262x + 97,265$	0,1571	0,0302	*
CV	$y = -0,7582x + 2,558$	0,5253	$5,91 \cdot 10^{-6}$	*

Notas: * indica que o valor de p-valor é significativo (<0,05) e "ns" que o valor de p-valor não é significativo (>0,05) ao nível de 5% de significância. Fc é o ponto crítico segundo a distribuição F-Snedecor.

A partir da análise de variância das regressões, verificou-se que apenas as regressões com carga constante foram significativas com 5% de significância, ou seja, os coeficientes (CUC, CUD e CV) possuíam relação significativa.

6. CONCLUSÃO

A partir dos resultados e discussão deste experimento, pode-se concluir que:

- Para irrigação com água pura:
 - I. Os tratamentos foram considerados aceitáveis e/ou excelentes, pelos valores dos coeficientes de uniformidade;
 - II. A altura de 1,5 m obteve os melhores coeficientes de uniformidade quando comparada às demais;
 - III. O Tratamento 2 apresentou os melhores resultados de uniformidade (CUC = 99,02% e CUD = 98,69%);
 - IV. O Efeito da pressão sobre a variação de vazão foi de 99,76%;
 - V. Com relação aos coeficientes (CV, CUD e CUC), neste estudo, os tratamentos não obtiveram efeito significativo no controle estatístico de qualidade;
 - VI. Com relação à capacidade de processo, concluiu-se que todos os tratamentos estão dentro dos padrões de especificações;
 - VII. Verificou-se também que quanto menor o critério de exigência, maior vai ser a capacidade do processo;
 - VIII. Houve efeito significativo da relação do CUC e CV com a capacidade de processo de vazão para todos os tratamentos;
 - IX. A relação entre CUD e o C_{pk} não foi significativa apenas no tratamento 3;
 - Para fertirrigação com altura de 1,5 m:
 - X. O Sistema foi aceitável e/ou excelente segundo as normas de uniformidade;
 - XI. O efeito gerado pelos gráficos de controle de Shewhart demonstrou que o sistema não possui controle estatístico de qualidade;
 - XII. A operação da fertirrigação possui capacidade de processo, ou seja, funciona dentro dos padrões de especificação;
 - XIII. O efeito da relação dos coeficientes (CUC, CUD e CV) foi significativo.

7. CONSIDERAÇÕES

Em relação ao experimento realizado, há a necessidade de que sejam realizados os mesmos procedimentos em campo, em escala real do kit de gotejamento. Pois, devido aos altos valores de vazão, e que foram superiores aos de outros trabalhos, faz-se necessário verificar se a dimensão do sistema influencia o volume aplicado de água.

Já existem trabalhos semelhantes que verificaram o tamanho da linha lateral e a distribuição de gotejadores, porém ainda não se verificou se o tamanho de área do sistema é significativo. Logo, como sugestão, esta pesquisa tomará sequência seguindo os mesmos tratamentos ao verificar o funcionamento em diferentes dimensões de kits.

Sugere-se também que sejam aplicados tratamentos que diminuam o valor dos coeficientes de uniformidade e de variação e verifique-se a relação entre os valores de capacidade de processo.

8. ANEXOS

Tabela A - Valores médios de vazão ($l.h^{-1}$) e pressão média de serviço (Kpa).

Ensaio	h=1,0 m		h=1,5 m		h=2,0 m	
	Pm	Q	Pm	Q	Pm	Q
1	10,40	0,682	15,20	0,827	20,30	0,954
2	10,40	0,690	15,20	0,837	20,30	0,947
3	10,30	0,691	15,25	0,848	20,30	0,973
4	10,40	0,693	15,30	0,837	20,20	0,961
5	10,40	0,692	15,35	0,839	20,30	0,961
6	10,20	0,688	15,40	0,841	20,15	0,966
7	10,20	0,694	15,30	0,841	20,25	0,983
8	10,30	0,693	15,50	0,850	20,20	0,966
9	10,20	0,684	15,30	0,841	20,25	0,977
10	10,40	0,684	15,35	0,843	20,30	0,964
11	10,50	0,686	15,35	0,841	20,30	0,968
12	10,50	0,686	15,40	0,840	20,30	0,965
13	10,50	0,685	15,40	0,843	20,25	0,955
14	10,45	0,686	15,40	0,841	20,25	0,969
15	10,50	0,687	15,40	0,841	20,20	0,961
16	10,40	0,686	15,40	0,837	20,30	0,959
17	10,40	0,684	15,30	0,840	20,30	0,963
18	10,40	0,683	15,40	0,842	20,25	0,959
19	10,10	0,683	15,35	0,836	20,20	0,968
20	10,40	0,686	15,30	0,837	20,20	0,958
21	10,30	0,693	15,35	0,842	20,25	0,960
22	10,45	0,682	15,35	0,840	20,35	0,962
23	10,45	0,691	15,30	0,837	20,25	0,961
24	10,50	0,687	15,35	0,839	20,25	0,963
25	10,40	0,685	15,30	0,840	20,10	0,957
26	10,40	0,686	15,35	0,838	20,10	0,963
27	10,30	0,688	15,35	0,836	20,10	0,963
28	10,50	0,686	15,40	0,836	20,20	0,966
29	10,60	0,686	15,40	0,838	20,20	0,968
30	10,50	0,690	15,30	0,835	20,15	0,966
Média		0,687		0,839		0,963

Notas: h= altura da carga hidráulica; Q = Vazão; Pm = Pressão média de serviço.

Tabela B - Valores médios de CUC por ensaio (%).

Ensaio	h=1,0 m			h=1,5 m			h=2,0 m		
	CUC (%)	CUD (%)	CV(%)	CUC (%)	CUD (%)	CV(%)	CUC (%)	CUD (%)	CV(%)
1	98,68	98,57	1,60	98,89	98,46	1,52	99,14	99,06	1,03
2	98,85	98,64	1,40	98,92	98,75	1,36	98,33	97,55	2,33
3	98,67	98,37	1,67	99,05	98,72	1,34	98,80	98,69	1,53
4	98,66	98,54	1,58	98,92	98,88	1,38	99,25	98,67	1,16
5	98,78	98,92	1,54	98,85	98,66	1,47	99,10	98,36	1,40
6	98,77	98,58	1,46	99,07	98,48	1,27	98,76	98,14	1,50
7	98,47	98,11	1,86	99,12	98,62	1,17	99,06	98,93	1,40
8	98,66	98,54	1,73	98,85	98,32	1,41	98,76	98,45	1,57
9	98,90	98,46	1,50	99,25	98,84	1,01	98,78	98,39	1,48
10	98,73	98,30	1,68	99,00	98,80	1,32	98,92	98,48	1,34
11	98,49	97,98	1,74	99,16	98,48	1,19	99,01	98,57	1,27
12	99,15	98,69	1,22	99,23	98,79	1,12	98,91	98,52	1,30
13	98,97	98,36	1,43	98,93	98,40	1,38	98,80	98,66	1,45
14	98,87	98,36	1,42	99,01	98,44	1,33	99,03	98,80	1,17
15	98,76	98,09	1,53	98,85	98,44	1,41	98,97	98,67	1,27
16	98,85	98,03	1,52	99,02	98,97	1,31	99,18	98,90	1,08
17	98,90	98,46	1,40	99,04	98,53	1,37	99,09	98,72	1,14
18	98,97	98,35	1,43	98,95	98,57	1,37	99,10	98,87	1,15
19	98,83	98,41	1,37	98,97	99,10	1,24	98,72	98,60	1,61
20	98,83	98,36	1,46	98,88	98,92	1,41	99,01	98,98	1,23
21	99,03	98,65	1,18	98,95	98,57	1,34	98,95	98,79	1,20
22	98,68	98,35	1,60	98,98	98,79	1,29	99,01	98,52	1,31
23	98,67	98,37	1,67	98,97	98,92	1,31	99,03	98,67	1,29
24	98,80	98,25	1,66	98,93	98,75	1,32	99,14	98,72	1,14
25	98,96	98,36	1,46	99,14	98,62	1,21	98,79	98,43	1,54
26	98,96	98,25	1,41	99,09	98,61	1,13	98,98	98,72	1,24
27	98,80	98,15	1,46	99,16	99,01	1,08	98,98	98,56	1,27
28	98,65	98,14	1,62	98,92	98,56	1,35	98,95	98,64	1,39
29	98,67	98,14	1,69	99,13	98,66	1,11	98,72	98,26	1,58
30	98,12	96,96	2,69	99,22	99,15	0,99	98,99	98,76	1,32
Média	98,77	98,26	1,57	99,02	98,69	1,28	98,94	98,60	1,36

Notas: h= altura da carga hidráulica.

Tabela C - Valores médios de vazão (Q), CUC, CUD, CV, Pressão, pH, CE, por ensaio para fertirrigação.

Ensaio	Q (l.h ⁻¹)	CUC(%)	CUD (%)	CV (%)	Pm (%)	pH	CE (dS.m)
1	0,822	98,45	97,63	2,08	15,05	6,09	1,91
2	0,825	98,41	97,45	2,00	15,05	6,08	2,05
3	0,817	98,70	97,84	1,80	15,00	6,07	2,08
4	0,822	98,63	97,81	1,92	15,05	6,17	2,32
5	0,822	98,54	97,81	1,99	15,10	6,17	2,32
6	0,832	98,43	97,75	1,92	15,00	6,17	2,32
7	0,824	98,41	97,59	2,00	15,05	6,14	2,16
8	0,830	98,68	97,61	1,86	15,00	6,14	2,17
9	0,830	98,41	97,56	2,01	15,05	6,14	2,19
10	0,831	98,61	97,79	2,02	15,00	6,16	2,20
11	0,830	98,63	97,79	1,92	15,00	6,16	2,20
12	0,838	98,47	97,36	1,97	15,10	6,16	2,20
13	0,828	98,55	97,64	1,87	15,00	6,16	2,23
14	0,833	98,62	97,57	1,91	15,00	6,16	2,23
15	0,831	98,69	98,01	1,71	15,15	6,20	2,33
16	0,834	98,52	97,71	1,97	15,05	6,19	2,33
17	0,833	98,63	97,57	1,86	15,05	6,20	2,33
18	0,840	98,69	97,72	1,72	15,10	6,20	2,33
19	0,836	98,39	97,58	1,98	15,00	6,20	2,33
20	0,833	99,00	98,15	1,40	15,05	6,20	2,33
21	0,831	98,70	97,97	1,73	15,00	6,17	2,32
22	0,834	98,59	97,89	1,79	15,05	6,17	2,32
23	0,842	98,80	98,00	1,68	15,00	6,17	2,32
24	0,831	98,42	97,29	2,16	15,00	6,17	2,32
25	0,833	98,63	97,93	1,86	15,05	6,17	2,32
26	0,831	98,29	97,43	2,16	15,10	6,17	2,31
27	0,828	98,46	97,83	1,98	15,10	6,17	2,31
28	0,830	98,45	97,61	2,01	15,00	6,18	2,30
29	0,830	98,51	97,97	2,01	15,05	6,22	2,30
30	0,831	98,47	97,47	2,22	15,10	6,18	2,29
Média	0,830	98,56	97,71	1,92	15,04	6,16	2,26

Notas: h= altura da carga hidráulica.

Tabela D - Valores da vazão ($l.h^{-1}$) do fabricante, baseados na Equação 4, a partir dos dados de pressão da Tabela A1 e dos índices de capacidade de processo para dados de vazão por ensaio.

Ensaio	Q_{fab} (LIE)	Cpk (1,0 m)	Q_{fab} (LIE)	Cpk (1,5 m)	Q_{fab} (LIE)	Cpk (2,0 m)
1	0,66	0,67	0,79	0,87	0,92	1,31
2	0,66	1,06	0,79	1,25	0,92	0,48
3	0,66	0,99	0,80	1,53	0,92	1,29
4	0,66	1,00	0,80	1,16	0,91	1,42
5	0,66	1,00	0,80	1,10	0,92	1,12
6	0,65	1,14	0,80	1,28	0,91	1,23
7	0,65	1,05	0,80	1,49	0,91	1,65
8	0,66	1,00	0,80	1,33	0,91	1,16
9	0,65	0,99	0,80	1,72	0,91	1,44
10	0,66	0,70	0,80	1,32	0,92	1,26
11	0,66	0,64	0,80	1,41	0,92	1,42
12	0,66	0,91	0,80	1,42	0,92	1,32
13	0,66	0,75	0,80	1,25	0,91	0,97
14	0,66	0,85	0,80	1,23	0,91	1,59
15	0,66	0,76	0,80	1,17	0,91	1,30
16	0,66	0,83	0,80	1,13	0,92	1,38
17	0,66	0,85	0,80	1,26	0,92	1,46
18	0,66	0,80	0,80	1,22	0,91	1,35
19	0,65	1,16	0,80	1,19	0,91	1,16
20	0,66	0,89	0,80	1,13	0,91	1,26
21	0,66	1,50	0,80	1,28	0,91	1,31
22	0,66	0,63	0,80	1,27	0,92	1,21
23	0,66	0,85	0,80	1,22	0,91	1,25
24	0,66	0,71	0,80	1,21	0,91	1,49
25	0,66	0,84	0,80	1,40	0,91	1,04
26	0,66	0,89	0,80	1,40	0,91	1,45
27	0,66	1,04	0,80	1,41	0,91	1,43
28	0,66	0,70	0,80	1,06	0,91	1,30
29	0,67	0,59	0,80	1,37	0,91	1,19
30	0,66	0,52	0,80	1,54	0,91	1,40
Média	0,66	0,88	0,80	1,29	0,91	1,29

Notas: h= altura da carga hidráulica; Q_{fab} = Vazão do fabricante (eq. 4) ($l.h^{-1}$); LIE = Limite inferior de especificação.

Tabela E - Valores da vazão ($l.h^{-1}$) coletados em trinta ensaios dos dezesseis pontos amostrados para altura de 1,0 metro com água pura.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,678	0,684	0,684	0,684	0,684	0,678	0,690	0,678	0,672	0,672
2	0,672	0,684	0,684	0,690	0,684	0,684	0,690	0,684	0,678	0,684
3	0,672	0,684	0,672	0,684	0,684	0,678	0,690	0,690	0,672	0,672
4	0,672	0,684	0,684	0,684	0,684	0,678	0,684	0,696	0,678	0,672
5	0,690	0,708	0,708	0,702	0,696	0,702	0,708	0,708	0,696	0,696
6	0,672	0,690	0,696	0,690	0,684	0,684	0,696	0,684	0,684	0,684
7	0,696	0,702	0,708	0,708	0,708	0,702	0,708	0,714	0,696	0,708
8	0,708	0,708	0,714	0,714	0,720	0,708	0,720	0,720	0,708	0,702
9	0,690	0,696	0,696	0,696	0,696	0,690	0,696	0,696	0,684	0,684
10	0,684	0,696	0,684	0,702	0,696	0,696	0,708	0,690	0,684	0,684
11	0,684	0,678	0,678	0,684	0,684	0,684	0,684	0,684	0,678	0,672
12	0,684	0,684	0,690	0,684	0,696	0,684	0,684	0,690	0,684	0,678
13	0,672	0,684	0,690	0,678	0,684	0,678	0,684	0,684	0,672	0,672
14	0,672	0,690	0,684	0,684	0,684	0,678	0,684	0,684	0,678	0,678
15	0,672	0,678	0,684	0,690	0,684	0,684	0,672	0,696	0,684	0,684
16	0,690	0,696	0,696	0,708	0,696	0,696	0,708	0,684	0,696	0,696
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0,672	0,678	0,672	0,678	0,678	0,672	0,672	0,672	0,672	0,678
2	0,678	0,684	0,684	0,684	0,684	0,684	0,672	0,684	0,684	0,684
3	0,672	0,672	0,672	0,672	0,672	0,672	0,678	0,672	0,672	0,678
4	0,672	0,684	0,672	0,684	0,672	0,684	0,672	0,672	0,672	0,672
5	0,696	0,690	0,696	0,696	0,696	0,696	0,696	0,690	0,696	0,696
6	0,684	0,684	0,684	0,690	0,684	0,684	0,684	0,684	0,684	0,684
7	0,696	0,696	0,696	0,696	0,696	0,696	0,696	0,690	0,696	0,696
8	0,708	0,708	0,708	0,708	0,708	0,708	0,702	0,708	0,696	0,708
9	0,696	0,684	0,684	0,690	0,696	0,690	0,690	0,684	0,690	0,684
10	0,690	0,690	0,690	0,690	0,696	0,696	0,696	0,690	0,690	0,696
11	0,678	0,684	0,684	0,678	0,684	0,672	0,678	0,672	0,672	0,678
12	0,702	0,684	0,684	0,684	0,684	0,684	0,684	0,684	0,684	0,684
13	0,678	0,678	0,678	0,672	0,684	0,672	0,678	0,672	0,678	0,672
14	0,672	0,678	0,678	0,678	0,672	0,684	0,678	0,684	0,678	0,684
15	0,684	0,684	0,684	0,684	0,684	0,684	0,684	0,684	0,672	0,690
16	0,696	0,690	0,690	0,696	0,696	0,690	0,684	0,690	0,690	0,696
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0,684	0,666	0,678	0,672	0,678	0,672	0,678	0,672	0,678	0,672
2	0,690	0,672	0,684	0,684	0,684	0,684	0,672	0,690	0,684	0,684
3	0,684	0,672	0,672	0,678	0,672	0,672	0,672	0,678	0,672	0,660
4	0,684	0,672	0,684	0,678	0,672	0,672	0,678	0,672	0,672	0,684
5	0,696	0,690	0,696	0,696	0,696	0,696	0,696	0,696	0,696	0,696
6	0,696	0,684	0,690	0,690	0,684	0,684	0,684	0,684	0,684	0,684
7	0,708	0,702	0,708	0,708	0,696	0,696	0,696	0,702	0,708	0,720
8	0,708	0,702	0,708	0,714	0,708	0,708	0,708	0,708	0,708	0,720
9	0,696	0,690	0,714	0,690	0,684	0,690	0,696	0,696	0,696	0,708
10	0,696	0,684	0,696	0,684	0,684	0,684	0,696	0,678	0,684	0,684
11	0,684	0,690	0,684	0,684	0,672	0,678	0,684	0,678	0,684	0,684
12	0,696	0,678	0,696	0,684	0,684	0,684	0,684	0,690	0,684	0,696
13	0,684	0,672	0,684	0,672	0,678	0,684	0,690	0,672	0,672	0,672
14	0,690	0,672	0,684	0,684	0,684	0,684	0,684	0,684	0,678	0,672
15	0,696	0,678	0,684	0,684	0,684	0,690	0,690	0,684	0,684	0,696
16	0,702	0,684	0,690	0,690	0,696	0,690	0,696	0,696	0,696	0,690

Tabela F - Valores da vazão ($l.h^{-1}$) coletados em trinta ensaios dos dezesseis pontos amostrados para altura de 1,5 metros com água pura.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,816	0,828	0,846	0,828	0,828	0,840	0,840	0,834	0,834	0,834
2	0,816	0,828	0,840	0,828	0,828	0,828	0,840	0,852	0,840	0,834
3	0,816	0,834	0,834	0,828	0,828	0,828	0,834	0,828	0,828	0,828
4	0,816	0,828	0,846	0,828	0,834	0,834	0,840	0,840	0,840	0,840
5	0,840	0,852	0,864	0,852	0,852	0,858	0,852	0,852	0,852	0,852
6	0,828	0,834	0,846	0,840	0,840	0,840	0,846	0,846	0,840	0,840
7	0,852	0,852	0,864	0,858	0,864	0,852	0,846	0,870	0,852	0,858
8	0,852	0,864	0,876	0,864	0,864	0,864	0,864	0,864	0,858	0,870
9	0,828	0,840	0,846	0,840	0,840	0,846	0,846	0,840	0,846	0,840
10	0,828	0,834	0,840	0,834	0,834	0,840	0,840	0,840	0,834	0,840
11	0,828	0,834	0,846	0,828	0,834	0,840	0,834	0,852	0,834	0,834
12	0,828	0,828	0,846	0,834	0,834	0,840	0,828	0,858	0,840	0,840
13	0,810	0,822	0,834	0,828	0,828	0,828	0,828	0,846	0,828	0,834
14	0,816	0,828	0,840	0,828	0,828	0,828	0,828	0,846	0,840	0,840
15	0,828	0,840	0,846	0,840	0,840	0,840	0,840	0,864	0,840	0,840
16	0,834	0,846	0,852	0,840	0,852	0,846	0,852	0,864	0,846	0,858
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0,828	0,834	0,834	0,834	0,834	0,828	0,834	0,828	0,828	0,840
2	0,840	0,840	0,840	0,840	0,834	0,828	0,840	0,840	0,828	0,828
3	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828
4	0,828	0,840	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,834	0,828	0,828
5	0,852	0,846	0,852	0,858	0,858	0,840	0,852	0,852	0,852	0,852
6	0,840	0,834	0,846	0,840	0,846	0,840	0,840	0,840	0,828	0,828
7	0,852	0,852	0,858	0,858	0,858	0,858	0,864	0,864	0,852	0,858
8	0,864	0,864	0,870	0,864	0,864	0,864	0,864	0,864	0,858	0,864
9	0,846	0,846	0,846	0,846	0,846	0,834	0,840	0,834	0,828	0,840
10	0,840	0,840	0,846	0,840	0,840	0,828	0,840	0,840	0,834	0,828
11	0,840	0,834	0,840	0,840	0,834	0,840	0,828	0,840	0,828	0,828
12	0,840	0,840	0,852	0,846	0,840	0,840	0,840	0,852	0,840	0,840
13	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,834	0,828	0,828	0,828
14	0,840	0,828	0,834	0,828	0,828	0,828	0,828	0,834	0,828	0,828
15	0,840	0,840	0,846	0,840	0,840	0,834	0,840	0,840	0,840	0,834
16	0,846	0,840	0,840	0,840	0,852	0,840	0,846	0,846	0,840	0,840
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0,828	0,834	0,828	0,828	0,834	0,840	0,828	0,822	0,828	0,828
2	0,828	0,834	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,822	0,828	0,828
3	0,834	0,828	0,828	0,828	0,828	0,822	0,828	0,822	0,834	0,828
4	0,828	0,834	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828
5	0,852	0,852	0,852	0,846	0,852	0,852	0,840	0,846	0,846	0,840
6	0,840	0,828	0,834	0,834	0,840	0,840	0,834	0,840	0,840	0,840
7	0,858	0,858	0,852	0,852	0,852	0,852	0,852	0,846	0,840	0,840
8	0,864	0,864	0,864	0,864	0,864	0,852	0,858	0,864	0,858	0,858
9	0,858	0,846	0,840	0,846	0,840	0,840	0,840	0,840	0,846	0,840
10	0,840	0,840	0,834	0,834	0,840	0,840	0,834	0,828	0,840	0,834
11	0,840	0,834	0,828	0,840	0,834	0,840	0,828	0,834	0,840	0,834
12	0,840	0,834	0,840	0,840	0,840	0,840	0,840	0,840	0,840	0,840
13	0,834	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828	0,822	0,828
14	0,834	0,834	0,828	0,828	0,840	0,828	0,834	0,828	0,828	0,828
15	0,840	0,846	0,840	0,840	0,840	0,834	0,840	0,840	0,840	0,828
16	0,846	0,840	0,840	0,852	0,846	0,846	0,840	0,840	0,846	0,840

Tabela G - Valores da vazão ($l.h^{-1}$) coletados em trinta ensaios dos dezesseis pontos amostrados para altura de 2,0 metros com água pura.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,948	0,888	0,960	0,948	0,948	0,948	0,972	0,960	0,960	0,954
2	0,960	0,960	0,960	0,960	0,960	0,972	0,972	0,960	0,972	0,948
3	0,960	0,948	0,960	0,960	0,960	0,948	0,972	0,960	0,966	0,960
4	0,972	0,936	0,960	0,948	0,948	0,948	0,972	0,948	0,966	0,960
5	0,948	0,984	0,996	0,972	0,972	0,960	0,984	0,972	0,996	0,978
6	0,972	0,972	0,960	0,960	0,960	0,960	0,984	0,960	0,978	0,960
7	0,948	0,972	0,996	0,984	0,972	0,972	1,008	0,984	0,996	0,984
8	0,948	0,936	0,996	0,984	0,996	0,984	1,020	0,996	1,008	0,990
9	0,948	0,960	0,996	0,960	0,960	0,972	0,984	0,972	0,984	0,972
10	0,948	0,936	0,972	0,960	0,960	0,972	0,984	0,948	0,972	0,960
11	0,948	0,948	0,972	0,960	0,960	0,996	0,984	0,960	0,972	0,960
12	0,960	0,948	0,972	0,960	0,960	0,960	0,984	0,996	0,972	0,960
13	0,936	0,936	0,960	0,948	0,948	0,948	0,972	0,960	0,960	0,948
14	0,960	0,936	0,960	0,948	0,936	0,960	0,972	0,948	0,960	0,948
15	0,948	0,960	0,972	0,960	0,960	0,984	0,972	0,972	0,984	0,966
16	0,960	0,936	0,972	0,960	0,972	0,972	0,984	0,960	0,990	0,978
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0,960	0,954	0,936	0,972	0,948	0,948	0,960	0,960	0,960	0,948
2	0,960	0,948	0,948	0,960	0,948	0,960	0,960	0,960	0,960	0,948
3	0,960	0,960	0,948	0,960	0,948	0,948	0,948	0,948	0,948	0,948
4	0,948	0,954	0,948	0,960	0,948	0,948	0,954	0,948	0,948	0,948
5	0,978	0,984	0,972	0,984	0,972	0,966	0,972	0,972	0,996	0,972
6	0,966	0,960	0,948	0,984	0,966	0,960	0,960	0,954	0,960	0,954
7	0,990	0,984	0,972	0,978	0,978	0,966	0,984	0,972	0,984	0,978
8	0,990	0,984	0,984	0,990	0,984	0,984	0,984	0,984	1,002	0,984
9	0,972	0,972	0,960	0,972	0,972	0,960	0,972	0,960	0,972	0,960
10	0,966	0,966	0,948	0,960	0,960	0,960	0,966	0,954	0,960	0,954
11	0,972	0,972	0,948	0,972	0,960	0,948	0,960	0,954	0,960	0,948
12	0,966	0,960	0,948	0,960	0,960	0,960	0,960	0,948	0,960	0,960
13	0,960	0,954	0,936	0,948	0,948	0,948	0,948	0,948	0,960	0,948
14	0,948	0,948	0,948	0,960	0,948	0,948	0,954	0,948	0,960	0,948
15	0,972	0,966	0,960	0,966	0,960	0,960	0,960	0,960	0,978	0,960
16	0,978	0,978	0,972	0,972	0,972	0,972	0,972	0,972	0,972	0,966
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0,954	0,948	0,948	0,954	0,936	0,954	0,960	0,948	0,972	0,960
2	0,948	0,966	0,966	0,966	0,942	0,954	0,948	0,954	0,960	0,960
3	0,954	0,948	0,948	0,960	0,948	0,960	0,954	0,954	0,972	0,960
4	0,948	0,948	0,948	0,948	0,948	0,948	0,948	0,960	0,960	0,960
5	0,972	0,972	0,978	0,972	0,972	0,978	0,972	0,972	0,984	0,978
6	0,972	0,960	0,954	0,960	0,960	0,966	0,954	0,960	0,972	0,960
7	0,972	0,984	0,972	0,978	0,972	0,978	0,978	0,990	0,996	0,984
8	0,984	0,990	0,990	0,990	0,990	0,984	0,990	0,996	0,996	0,996
9	0,966	0,966	0,960	0,966	0,960	0,966	0,972	0,966	0,978	0,972
10	0,954	0,954	0,960	0,960	0,954	0,966	0,960	0,972	0,972	0,960
11	0,948	0,960	0,960	0,960	0,948	0,960	0,960	0,960	0,960	0,966
12	0,954	0,960	0,960	0,948	0,954	0,954	0,966	0,966	0,948	0,960
13	0,948	0,960	0,948	0,960	0,942	0,948	0,948	0,954	0,960	0,948
14	0,948	0,948	0,948	0,954	0,948	0,954	0,960	0,954	0,948	0,948
15	0,966	0,960	0,960	0,966	0,960	0,960	0,966	0,966	0,948	0,966
16	0,966	0,972	0,972	0,972	0,978	0,984	0,978	0,978	0,960	0,978

Tabela H - Valores da vazão ($l.h^{-1}$) coletados em trinta ensaios dos dezesseis pontos amostrados para altura de 1,5 metros com fertirrigação.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,834	0,834	0,822	0,828	0,822	0,834	0,822	0,834	0,828	0,834
2	0,840	0,846	0,834	0,846	0,846	0,846	0,846	0,846	0,852	0,834
3	0,810	0,810	0,804	0,810	0,810	0,822	0,810	0,816	0,816	0,822
4	0,822	0,834	0,822	0,822	0,834	0,846	0,834	0,834	0,846	0,834
5	0,834	0,834	0,822	0,828	0,822	0,846	0,834	0,834	0,834	0,834
6	0,822	0,822	0,822	0,828	0,822	0,822	0,822	0,834	0,834	0,834
7	0,810	0,810	0,810	0,810	0,810	0,822	0,810	0,816	0,816	0,822
8	0,780	0,786	0,774	0,786	0,786	0,798	0,786	0,786	0,792	0,786
9	0,822	0,828	0,822	0,822	0,822	0,846	0,846	0,852	0,852	0,858
10	0,810	0,810	0,810	0,816	0,810	0,810	0,816	0,834	0,816	0,822
11	0,822	0,810	0,810	0,822	0,822	0,834	0,810	0,822	0,822	0,822
12	0,846	0,846	0,834	0,846	0,846	0,846	0,834	0,834	0,840	0,846
13	0,846	0,846	0,834	0,846	0,846	0,858	0,828	0,834	0,834	0,834
14	0,810	0,822	0,822	0,810	0,810	0,822	0,810	0,822	0,816	0,822
15	0,810	0,828	0,810	0,810	0,810	0,822	0,828	0,834	0,834	0,840
16	0,834	0,834	0,822	0,822	0,834	0,834	0,846	0,846	0,852	0,858
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0,834	0,840	0,834	0,834	0,840	0,828	0,834	0,846	0,834	0,840
2	0,846	0,852	0,852	0,846	0,846	0,846	0,852	0,858	0,846	0,846
3	0,816	0,822	0,816	0,816	0,822	0,822	0,828	0,846	0,822	0,816
4	0,834	0,846	0,834	0,834	0,828	0,828	0,840	0,840	0,852	0,834
5	0,834	0,840	0,834	0,846	0,834	0,834	0,834	0,846	0,846	0,834
6	0,834	0,846	0,840	0,834	0,834	0,840	0,834	0,840	0,834	0,834
7	0,822	0,822	0,816	0,822	0,822	0,822	0,822	0,828	0,828	0,822
8	0,786	0,798	0,792	0,792	0,798	0,798	0,798	0,804	0,798	0,804
9	0,852	0,864	0,852	0,858	0,852	0,858	0,852	0,858	0,858	0,846
10	0,822	0,834	0,816	0,822	0,822	0,828	0,816	0,834	0,822	0,828
11	0,822	0,828	0,822	0,834	0,828	0,828	0,828	0,828	0,822	0,834
12	0,840	0,846	0,834	0,846	0,846	0,864	0,846	0,846	0,858	0,846
13	0,834	0,846	0,834	0,846	0,828	0,834	0,840	0,846	0,846	0,834
14	0,822	0,822	0,810	0,822	0,816	0,816	0,816	0,822	0,822	0,834
15	0,828	0,846	0,828	0,834	0,828	0,840	0,834	0,834	0,840	0,828
16	0,852	0,858	0,834	0,846	0,852	0,852	0,858	0,858	0,852	0,846
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0,834	0,834	0,846	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834	0,840	0,840
2	0,852	0,846	0,858	0,858	0,846	0,846	0,846	0,846	0,846	0,852
3	0,816	0,822	0,834	0,816	0,822	0,816	0,810	0,822	0,822	0,822
4	0,834	0,834	0,840	0,846	0,834	0,834	0,822	0,834	0,822	0,834
5	0,834	0,840	0,846	0,834	0,834	0,834	0,822	0,834	0,822	0,822
6	0,834	0,840	0,846	0,834	0,834	0,834	0,822	0,822	0,834	0,822
7	0,822	0,822	0,834	0,816	0,822	0,822	0,810	0,810	0,822	0,810
8	0,798	0,804	0,804	0,786	0,798	0,792	0,798	0,792	0,786	0,786
9	0,852	0,846	0,852	0,834	0,846	0,852	0,822	0,822	0,822	0,828
10	0,822	0,822	0,828	0,822	0,822	0,816	0,822	0,816	0,822	0,828
11	0,834	0,840	0,840	0,828	0,822	0,822	0,834	0,834	0,834	0,828
12	0,834	0,858	0,864	0,858	0,858	0,858	0,858	0,858	0,852	0,864
13	0,852	0,858	0,858	0,840	0,858	0,858	0,858	0,852	0,858	0,858
14	0,822	0,816	0,834	0,828	0,834	0,822	0,834	0,834	0,834	0,834
15	0,822	0,822	0,840	0,816	0,822	0,816	0,822	0,822	0,822	0,834
16	0,840	0,834	0,846	0,846	0,846	0,846	0,834	0,846	0,840	0,834

9. REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS - ASABE. **Field evaluation of micro-irrigation Systems**. St. Joseph, p. 792-7.1996.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS - ASABE. **Design and installation of micro-irrigation 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**. Rio de Janeiro, 1985. 22 p.
- 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**. Viçosa, MG: UFV, Imprensa Universitária, 2005.
- BHAT, R.; SUJATHA, S. Soil fertility and nutrient uptake by arecanut (*Areca catechu* L.) as affected by level and frequency of fertigation in a laterite soil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, n. 3, p. 445-456, 2008.
- 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.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário – MDA. **Lei Nº 11.326, DE 24 DE JULHO DE 2006**. Estabelece As Diretrizes Para A Formulação Da Política Nacional Da Agricultura Familiar E Empreendimentos Familiares Rurais, **Diário Oficial da União**, BRASÍLIA, 2006,
- BRUNHEROTO, E. Laboratórios Para Avaliação de Equipamentos de Irrigação. **Revista ITEM**, Brasília, v. 64, n. 1, 2004.
- BURNEY J. A., NAYLOR R. L. Smallholder Irrigation as a Poverty Alleviation Tool in Sub-Saharan Africa. **World Development**, Volume 40, Issue 1, January 2012, Pages 110-123, ISSN 0305-750X, 10.1016/j.worlddev.2011.05.007.
- CHIGERWE J., MANJENGWA N., ZAAG P. V., ZHAKATA W., ROCKSTRÖM J., Low head drip irrigation kits and treadle pumps for smallholder farmers in Zimbabwe: a technical evaluation based on laboratory tests, **Physics and Chemistry of the Earth**, Parts A/B/C, Volume 29, Issues 15–18, 2004, Pages 1049-1059, ISSN 1474-7065.
- 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.
- CLARK, G. A.; LAMM, F. R.; ROGERS D. H. Sensitivity of Thin-Walled Drip Tape Emitter Discharge to Water Temperature. **Applied Engineering in Agriculture**. v. 21, n. 5, p. 855-863, 2005.

COSTA, A. F. B.; EPPRESCHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle estatístico de qualidade**. São Paulo: Atlas, 2004.

COSTA J. M.; ORTUNÃ M. F.; CHAVES M. M. Deficit irrigation as a strategy to save water: physiology and potential application to horticulture. **Journal of Integrative Plant Biology**, Beijing, v. 49, n. 10, p. 1421–1434, 2007.

CUNHA, F. F.; MATOS, A. T.; BATISTA, R. O.; MONACO, P. A. L. Uniformidade de distribuição em sistemas de irrigação por gotejamento utilizando água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 1, p. 143-147, 2006.

ELLA, V. B.; REYES, M. R.; YODER, R. Effect of hydraulic head and slope on water distribution uniformity of low-cost drip irrigation system. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 25, n. 3, p. 349-356, 2009.

FAGANELLO, C. R. F.; FOLEGATTI, M. V.; GONÇALVES, R. A. B.; LUCAS, A. A. T. Uso da água de irrigação e gestão de recursos hídricos na microbacia do Ribeirão dos Marins do município de Piracicaba/SP. **Irriga**, Botucatu, v. 12, n. 4, p. 456-470, 2007.

FARIA, L. F.; COELHO, R. D.; FLECHA, P. A. N.; ROBLES, W. G. R.; VÁSQUEZ, M. A. N. Entupimento de gotejadores e seu efeito na pressão da rede hidráulica de um sistema de microirrigação. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 195-198, 2002.

FERNANDES, A. L. T.; COELHO, R. D.; BOTREL, 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.

FERNANDES, A. **O Perfil Da Agricultura Familiar Brasileira**. BRASÍLIA, 2009. Disponível em: < <http://www.webartigos.com/>>. Acesso em: 25 fev. 2011.

GONCALVES, E. B.; ANTONIASSI, R. Incerteza em resultados analíticos e verificação de conformidade de qualidade de alimentos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. vol. 30, n. 4, p. 917-927, 2010.

HERMES, E. **Controle estatístico de processo aplicado na uniformidade da irrigação e fertirrigação por gotejamento**. 96f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Cascavel – PR. 2010.

HERNANDEZ, R. H. **Efeito da carga hidráulica e qualidade de água na uniformidade de sistema de irrigação por gotejamento**. 79p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel. Cascavel – PR. 2010.

INFANTE, P.; DIAS, J. R. Carta X com Amostras de Tamanho Variável: Um Novo Procedimento Dinâmico. **Investigação Operacional**, Lisboa, v. 26, n. 1, p. 45-63, 2006.

JUSTI, André L; VILAS BOAS, Marcio A e SAMPAIO, Silvio C. Índice de capacidade do processo na avaliação da irrigação por aspersão. **Eng. Agríc. [online]**. 2010, v. 30, n. 2, p. 264-270. ISSN 0100-6916.

J. PUIG-BARGUÉS, G. ARBAT, M. ELBANA, M. DURAN-ROS, J. BARRAGÁN, F. RAMÍREZ de CARTAGENA, F.R. LAMM, Effect of flushing frequency on emitter clogging

in micro-irrigation with effluents. **Agricultural Water Management**. V. 7, Issue 6, June 2010, Pages 883-891, ISSN 0378-3774.

KARLBERG, L.; PENNING DE VRIES, F. W. T. Exploring potentials and constraints of low-cost drip irrigation with saline water in sub-Saharan. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 29, p. 1035–1042, 2004.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design. Glendora, Rain bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1975. 133p.

KELLER, J.; ADHIKARI, L. D.; PETERSEN, M. R.Ç SURIWANSI, S. Engineering low-cost micro-irrigation for small plots. Lakewood. **International Development Enterprises**. 2001, 25p.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990.

KIRNAK, H., DOĞAN, E., DEMIR, S. and YALÇIN, S. (2004) Determination of hydraulic performance of trickle irrigation emitters used in irrigation system in the Harran Plain. Turkish. **Journal of Agriculture and Forestry**, v. 28, p. 223- 230.

KRUSE, E. G. Describing irrigation efficiency and uniformity. **Journal Irrigation Drainage Division**. Washington, v. 104, n. 1, p. 35-41, 1978.

LIMA, A. A. N.; LIMA, J. R.; SILVA, J. L. Aplicação do controle estatístico de processo na indústria farmacêutica. **Rev. Ciênc. Farm. Básica Apl.** v. 27, n. 3, p. 177-187, 2006.

LIU, H.; HUANG, G. Laboratory experiment on drip emitter clogging with fresh water and treated sewage effluent. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, n. 5, p. 745-756, 2009.

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, p. 217-229, 1992.

LÓPEZ-MATA, E.; TARJUELO, J. M.; JUAN, J. A. DE; BALLESTEROS, R.; DOMÍNGUEZ, R. A. Effect of irrigation uniformity on the profitability of crops. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 98, p.190-19, 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.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L.; MORETTI, C. L. **Irrigação e fertirrigação do meloeiro por gotejamento**. Brasília: Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças, 2001. (Circular Técnica n. 25).

MANTOVANI, E. C; BERNARDO, S; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 2ª ed., atual. e ampl. Viçosa: Ed. UFV, 2007.

MICHEL, R.; FOGLIATTO, F. S. Projeto econômico de cartas adaptativas para monitoramento de processos. **Revista Gestão & Produção**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 17-31, 2002.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. Tradução: Farias, A. M. L., Flores, V. R. L. F., Laurencel, L. C. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2009.

VILLAS BOAS, R. L.; ANTUNES, C. L.; BOARETO, A. E.; SOUSA, V. F.; DUENHAS, L. H. Perfil da pesquisa e emprego da fertirrigação no Brasil. In: FOLEGATTI, M. V. *et al.* Fertirrigação de flores, frutas e hortaliças. **Guaíba: Agropecuária**, v. 2, cap. 3, p. 71-103, 2001.

NASCIMENTO, J. M. S.; LIMA, L. A.; CARARO D. C.; CASTRO, E. M.; SILVA, M. V. G. Avaliação da uniformidade de aplicação de água em um sistema de gotejamento para pequenas propriedades. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras. V. 33, Edição Especial, p. 1728 -1733, 2009.

NAKAYAMA, F. S; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation for crop production: design, operation and management**. Amsterdam: Elsevier, 1986. 164 p.

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/About_IWMI/Strategic_Documents/Annual_Reports/index.asp> Acesso em: 13 mar. 2010.

PLETSCH, T. A.; CRUZ, R. L.; MAZZER, H. R.; OLIVEIRA, E. F.; Desempenho de Gotejadores com o Uso de Esgoto Doméstico Tratado. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 2, p. 243-253, 2009.

RUSSO, S. L. **Gráficos de controle para variáveis não-conformes autocorrelacionadas**. 2002. 120 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14. Ed. Piracicaba: Degaspari, 2000. 477 p.

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

RAVIKUMAR V., VIJAYAKUMAR G., ŠIMŮNEK J., CHELLAMUTHU S., SANTHI R., APPAVU K., Evaluation of fertigation scheduling for sugarcane using a vadose zone flow and transport model, **Agricultural Water Management**, Volume 98, Issue 9, July 2011, Pages 1431-1440, ISSN 0378-3774.

REIS, M. M.; PALADINI, E. P.; KHATOR, S.; SOMMER, W. A. Artificial intelligence approach to support statistical quality control teaching. **Computers & Education**, v. 47, p. 448–464, 2006.

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.

SILVA JUNIOR, M. J.; MEDEIROS, J. F. Desenvolvimento de obstruções em gotejadores e eficiência do controle usando dois tipos de ácidos. **Irriga**, Botucatu. v. 12, n. 2, p. 185-191, 2007.

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.

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. R.; DENÍCULI, W.; BATISTA, R. O.; VAL, J. C. C.; MATOS, A. T. Suscetibilidade ao entupimento de microaspersores operando com água residuária de bovinocultura. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 13, n. 3, p. 155-160, 2005.

SOUZA, L. M.; JÚNIOR, J. I. R.; REIS, G. M.; IDE, M. S. Eficiência dos gráficos de controle xbarra, ewma e cusum. **Eletrônica & Engenharia**, Viçosa, v. 1, n. 1, p. 81-94, 2008.

TRINDADE, C.; REZENDE, J. L. P.; JACOVINE, L. A. G.; SARTÓRIO, M. L. **Ferramentas da Qualidade: Aplicação na Atividade Florestal**, Viçosa: UFV, 124p, 2000.

VIEIRA, G. H. S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, J. G. F.; RAMOS, M. M.; SILVA, C. M.; CORDEIRO, E. A. Recuperação de gotejadores obstruídos devido à utilização de águas ferruginosas. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 1-6, 2004.

WERKEMA, M. C. C. **Ferramentas da qualidade: ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos.** Belo Horizonte: FCO - UFMG, 1995. 404 p.