

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ**  
**CAMPUS DE CASCAVEL/PR**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**QUIMIGAÇÃO À BASE DE ÁCIDO FOSFÓRICO E HIPOCLORITO DE CÁLCIO NA**  
**IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO**

**FLORIANO LUIZ SUSZEK**

**CASCAVEL – PARANÁ – BRASIL**

**FEVEREIRO 2014**

**FLORIANO LUIZ SUSZEK**

**QUIMIGAÇÃO À BASE DE ÁCIDO FOSFÓRICO E HIPOCLORITO DE CÁLCIO NA  
IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO**

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

Orientador: Prof. Dr. Marcio Antonio Vilas Boas

**CASCADEL – PARANÁ – BRASIL**

**FEVEREIRO 2014**

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**Ficha catalográfica elaborada por Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362**

S966q Suszek, Floriano Luiz  
Quimigação à base de ácido fosfórico e hipoclorito de cálcio na irrigação por gotejamento. / Floriano Luiz Suszek — Cascavel, PR: UNIOESTE, 2014.  
76 f. ; 30 cm.

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

1. Agricultura familiar. 2. Filtros. 3. Fertigação. 4. Entupimentos. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

CDD 21. ed. 631.7

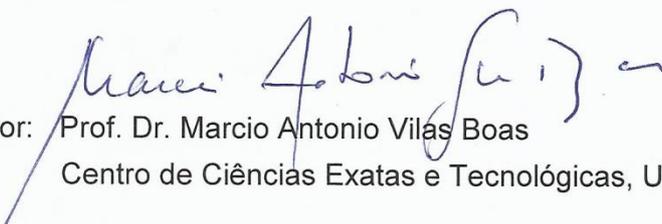
Revisor de normas de inglês e de português:  
Dhandara Soares de Lima.  
Data das revisões: 31 de março de 2014.

**FLORIANO LUIZ SUSZEK**

"Quimigação a base de ácido fosfórico e hipoclorito de cálcio na irrigação por gotejamento"

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

Orientador:

  
Prof. Dr. Marcio Antonio Vilas Boas

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Unioeste

  
Prof.ª. Dr.ª. Cacea Furlan Maggi

Colegiado de Agronomia e Engenharia de Aquicultura, UFFS

  
Prof. Dr. Helder Lopes Vasconcelos

Centro de Ciências Médicas e Farmacêuticas, Unioeste

Centro de Ciências Médicas e Farmacêuticas, Unioeste

  
Prof. Dr. Eloy Lemos de Mello

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Unioeste

Cascavel, 03 de fevereiro de 2014.

## BIOGRAFIA

Floriano Luiz Suszek é natural de Cascavel-PR, nascido no ano de 1988, cursou Engenharia Agrícola na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, no período de 2006 a 2010. Durante a graduação, atuou como pesquisador de iniciação científica na área de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, especificamente com reuso de água e resíduos sólidos. Durante o período de estágio e após a formação, trabalhou como Engenheiro Agrícola em Francisco Beltrão-PR, especificamente nas áreas de estruturas rurais para bovinos de leite e projetos de irrigação. Em 2011 começou a participar, como voluntário, do projeto de irrigação familiar da UNIOESTE *campus* Cascavel junto à EMATER-Salto do Lontra, enquanto cursava como aluno especial algumas matérias da Pós-Graduação em Engenharia Agrícola na UNIOESTE e, em 2012, iniciou o Mestrado como aluno regular na mesma instituição.

“Ninguém é bom por acaso, a virtude deve ser bem aprendida”

Chico Xavier

## AGRADECIMENTOS

A Deus, que permitiu que este trabalho pudesse ser feito sem graves acontecimentos, aos meus pais, Neli de Fátima Giachini Suszek e Floriano Suszek, pelas preocupações e apoios durante todo o tempo de estudo, aos irmãos e cunhados, Morgana Suszek Gonçalves, Marcelo Suszek, Marcos Leandro Gonçalves e Nilva Marques de Brito Suszek, por todo o auxílio;

Ao Professor Dr. Márcio Antônio Vilas Boas, pela disponibilidade em ajudar, pela preocupação, a amizade e os ensinamentos; e ao Professor Dr. Helder Lopes Vasconcelos, pelo auxílio no planejamento do experimento;

Aos amigos Márcio Roberto Klein, Cláudia Facini Reis, Flavio Daniel Szekut, Thiago Zuculloto Nunes, Bruno Bonemberguer, João Apel Miguel, Maurilio Palhari Jr., Marcelo Reisdorfer, Marcelo José da Silva e demais companheiros da Pós-Graduação que sempre me apoiaram e ajudaram no processo de planejamento da pesquisa;

Às famílias que me acolheram durante a execução da pesquisa, Nerci da Silva, Zulmira da Silva e família e Neivaldo Zuanazzi e família, pela amizade, pelo respeito e principalmente por estarem dispostos a receber um conhecimento a mais;

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE e Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – PGEAGRI pela possibilidade e disponibilidade de transporte para a realização desta pesquisa, bem como os funcionários Ricardo Hoffman e Vera Celita Schmidt, pela amizade e pelo auxílio nas horas que mais precisei, e à Professora Sílvia Renata Machado Coelho, pela autorização dos meios de transporte utilizados.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudos;

À Associação Atlética Bando do Brasil – AABB, de Salto do Lontra, pela permissão de uso da Casa Familiar Rural, onde a equipe de trabalho se hospedou.

## QUIMIGAÇÃO À BASE DE ÁCIDO FOSFÓRICO E HIPOCLORITO DE CÁLCIO NA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO

### RESUMO

O uso da água doce disponível no mundo necessita ser mais eficiente, e sistemas de irrigação localizada, como o gotejamento, apresentam alta eficiência em aplicação de água para as culturas. No município de Salto do Lontra – PR, vários produtores fazem uso do gotejamento em fruticultura e horticultura, acompanhados pelo projeto de agricultura familiar desenvolvido na região. Um grande problema do uso de gotejamento é o entupimento dos emissores, que pode ser causado por agentes químicos, físicos ou biológicos, reduzindo a uniformidade de aplicação de água e fertilizante, tornando menor a vida útil do sistema e ineficaz. Avaliações de uniformidade foram feitas para monitorar o entupimento ao longo dos tratamentos, sendo que, conforme a alteração da vazão, com pouca variação de pressão, foram constatados os emissores obstruídos. Cada sistema recebeu um tratamento para desobstrução dos emissores, que foram à base de ácido fosfórico e de hipoclorito de cálcio, que, posteriormente, foram analisados por comparações de média ao teste Tukey e por gráficos de controle estatístico. Os filtros utilizados (filtro de discos e filtro de tela) foram analisados por meio de pesagem das impurezas contidas neles, a cada seis avaliações. A uniformidade foi melhor avaliada pelo CUD e CV, já que o CUC apresentou dados acima de 90%, mesmo com alta variação de vazão e pressão. Com auxílio dos gráficos de controle, pode-se ver que o hipoclorito de cálcio apresentou melhor desempenho que o ácido fosfórico na limpeza do sistema, por retornar a vazão inicial das avaliações. O filtro de discos foi mais eficiente quanto à retenção de resíduos quando comparado ao filtro de tela, que apresentou entupimento no sistema em que estava instalado.

**PALAVRAS-CHAVE:** agricultura familiar, filtros, fertigação, entupimento.

## PHOSFORIC ACID AND CALCIUM HYPOCHLORITE QUIMIGATION IN DRIP IRRIGATION

### ABSTRACT

The use of fresh water available in the world needs to be more efficient, and localized irrigation systems such as drip irrigation show high efficiency for water use in crop irrigation. In the city of Salto do Lontra, state of Paraná, Brazil, several producers use drip irrigation in fruit growing and horticulture, accompanied by a family farming project developed in the region. One major problem of this system is the clogging in drip emitters, which can be caused by chemical, physical or biological agents, reducing the uniformity of water and fertilizer application, diminishing the system's effectiveness and usability. Reviews of uniformity were made to monitor the clogging over the treatments, whereas, according to the change of flow, with little variation in pressure, clogged emitters were found. Each system received a treatment for unclogging the emitters, composed of phosphoric acid and of calcium hypochlorite, which were subsequently analyzed by Tukey's comparison test and statistical control charts. The filters used (disc filter and screen filter) were analyzed by weighing the impurities contained therein, in an interval of six reviews. The uniformity was better assessed by CUD and CV, as the CUC presented data above 90% even with high variation in flow and pressure. With the help of control charts, it can be seen that the calcium hypochlorite showed better performance than the phosphoric acid to clean the system for returning the initial flow rating. The disc filter was more efficient for waste retention when compared to the screen filter, which showed blockage in the system where it was installed.

**KEY WORDS:** family farming, filters, fertigation, clogging.

## SUMARIO

LISTA DE TABELAS .....	ix
LISTA DE FIGURAS .....	x
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 OBJETIVOS .....	3
2.1 Objetivo Geral .....	3
2.2 Objetivos Específicos .....	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 Irrigação localizada .....	4
3.2 Quimigação.....	5
3.2.1 Fertirrigação e fertigação.....	6
3.3 Entupimento.....	6
3.4 Uniformidade de emissão.....	7
3.5 Controle estatístico de processos.....	8
3.5.1 Cartas de controle de Shewhart.....	9
3.5.2 Capacidade de processo .....	9
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	11
4.1 Unidade experimental .....	11
4.2 Materiais utilizados.....	11
4.3 Período do experimento .....	12
4.4 Quimigação.....	12
4.5 Coleta de dados .....	13
4.6 Montagem do experimento.....	14
4.7 Delineamento experimental.....	16
4.8 Tratamentos analisados .....	16
4.9 Coeficientes de uniformidade e grau de entupimento.....	16
4.10 Gráficos de Controle .....	18
4.11 Índice de capacidade potencial de processo .....	18
4.12 Desempenho de capacidade de processo.....	19
4.13 Análise de comparação dos filtros.....	19
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	20
5.1 Vazão na subunidade um.....	20
5.2 Coeficientes de uniformidade da subunidade um .....	25
5.3 Distribuição da quimigação na subunidade um .....	29
5.4 Vazão na subunidade dois .....	32

5.5	Coeficientes de uniformidade da subunidade dois .....	36
5.6	Distribuição da quimigação na subunidade dois.....	40
5.7	Análise da água utilizada na irrigação .....	42
5.8	Análise da capacidade de processo .....	42
5.9	Análise de comparação dos filtros.....	44
6	CONCLUSÕES .....	46
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	47
8	REFERÊNCIAS.....	48
	APÊNDICES.....	52

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 Classificação do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC).....	7
Tabela 2 Critérios pra a avaliação do CUD, segundo ASABE (1996).....	8
Tabela 3 Critérios para avaliação do CV, segundo ASABE (R2008).....	8
Tabela 4 Classificação de $C_p$ segundo Montgomery (2009).....	10
Tabela 5 Adubação de produção por ciclo/safra da videira segundo a produtividade esperada e os teores de N, P e K existentes no solo.....	12
Tabela 6 Compatibilidade entre os fertilizantes empregados em fertirrigação.....	13
Tabela 7 Distribuição dos tratamentos nas respectivas subunidades. ....	16
Tabela 8 Análise de variância da vazão nos tratamentos da subunidade um. ....	22
Tabela 9 Teste de Tukey a 5% de significância para a vazão na subunidade um.....	22
Tabela 10 Análise de variância do CUC nos tratamentos da subunidade um. ....	27
Tabela 11 Teste de Tukey a 5% de significância para o CUC na subunidade um.....	27
Tabela 12 Análise de variância do CUC nos tratamentos da subunidade um. ....	27
Tabela 13 Teste de Tukey a 5% de significância para o CUD na subunidade um.....	27
Tabela 14 Análise de variância do CUC nos tratamentos da subunidade um. ....	28
Tabela 15 Teste de Tukey a 5% de significância para o CV na subunidade um. ....	28
Tabela 16 Regressão linear dos fatores analisados na subunidade um.....	28
Tabela 17 Análise de variância da vazão nos tratamentos da subunidade dois.....	34
Tabela 18 Análise de variância do CUC nos tratamentos da subunidade dois.....	38
Tabela 19 Teste de Tukey a 5% de significância para o CUC na subunidade dois.....	38
Tabela 20 Análise de variância do CUC nos tratamentos da subunidade dois.....	38
Tabela 21 Análise de variância do CUC nos tratamentos da subunidade dois.....	39
Tabela 22 Regressão linear dos fatores analisados na subunidade dois. ....	39
Tabela 23 Classificação dos fatores de risco ao entupimento.....	42
Tabela 24 Capacidade de processo do CUC nos sistemas avaliados.....	42
Tabela 25 Capacidade de processo do CUD nos sistemas avaliados.....	43
Tabela 26 Capacidade de processo do CV nas subunidades avaliadas. ....	44
Tabela 27 Peso dos resíduos coletados nos filtros. ....	44

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ciclo PDCA.....	8
Figura 2 Carta de controle de Shewhart.....	9
Figura 3 Altimetria da área experimental.....	11
Figura 4 Layout de montagem e funcionamento da estrutura de coleta das vazões. ....	14
Figura 5 Croqui da área experimental.....	15
Figura 6 Layout de montagem do experimento.....	15
Figura 7 Histograma dos dados de vazão da subunidade um.....	20
Figura 8 Intervalos de confiança para os dados de vazão da subunidade um. ....	20
Figura 9 Boxplot dos dados de vazão média na subunidade um. ....	21
Figura 10 Boxplot para cada tratamento da subunidade um. ....	21
Figura 11 Gráfico de controle da vazão nas avaliações da subunidade um. ....	23
Figura 12 Variação da pressão inicial ao longo das avaliações da subunidade um. ....	23
Figura 13 Curva vazão X pressão medida em campo da subunidade um.....	24
Figura 14 Mapa de contorno da vazão por gotejador avaliado da subunidade um.....	24
Figura 15 Gráfico de controle do CUC na subunidade um. ....	25
Figura 16 Gráfico de controle do CUD na subunidade um. ....	26
Figura 17 Gráfico de controle do CV na subunidade um.....	26
Figura 18 Distribuição dos produtos químicos na subunidade um em seis avaliações.....	30
Figura 19 Distribuição da condutividade elétrica ( $\text{dS m}^{-1}$ ) e pH na aplicação de cloreto de potássio nos gotejadores avaliados na subunidade um. ....	31
Figura 20 Distribuição da condutividade elétrica ( $\text{dS m}^{-1}$ ) e pH na aplicação de ácido fosfórico nos gotejadores avaliados na subunidade um. ....	31
Figura 21 Histograma dos dados de vazão da subunidade dois. ....	32
Figura 22 Intervalos de confiança para os dados de vazão da subunidade dois.....	32
Figura 23 Boxplot dos dados de vazão média na subunidade dois.....	33
Figura 24 Boxplot para cada tratamento da subunidade dois.....	33
Figura 25 Gráfico de controle da vazão original nas avaliações da subunidade dois. ....	34
Figura 26 Variação da pressão inicial ao longo das avaliações da subunidade dois.....	35
Figura 27 Curva vazão X pressão medida em campo da subunidade dois. ....	35
Figura 28 Mapa de contorno da vazão por gotejador avaliado da subunidade dois. ....	36
Figura 29 Gráfico de controle do CUC na subunidade dois.....	36
Figura 30 Gráfico de controle do CUD na subunidade dois.....	37
Figura 31 Gráfico de controle do CV na subunidade dois. ....	37
Figura 32 Distribuição dos produtos químicos na subunidade dois em seis avaliações. ....	40
Figura 33 Distribuição da condutividade elétrica (ppm) e pH na aplicação de cloreto de	

potássio nos gotejadores avaliados na subunidade dois.....	41
Figura 34 Distribuição da condutividade elétrica (ppm) e pH na aplicação de hipoclorito de cálcio nos gotejadores avaliados na subunidade dois.....	41
Figura 35 Gráfico de pressão medida antes do filtro nas subunidades. ....	45

## 1 INTRODUÇÃO

A maioria dos alimentos é proveniente da agricultura e sua utilização na nutrição humana está relacionada com o aumento da população e com a disponibilidade desses alimentos em cada região. Para aumento da produção de alimentos é necessário espaço para plantio, mas sem que interfira nas reservas ambientais. O uso da irrigação em áreas agricultáveis possibilita o aumento da produção na mesma área plantada. Segundo Christofidis (2006), as áreas irrigadas correspondem a 18% das áreas agricultáveis do mundo, e representam 44% da produção agrícola.

Porém, sistemas de irrigação requerem uma alta demanda de água, que deve ser utilizada da forma mais eficiente possível para evitar perdas. Várias leis de proteção aos recursos hídricos foram criadas e são rigorosamente exigidas quando se faz um projeto de irrigação de área considerável.

O Brasil possui um total de água armazenada em reservatórios artificiais de 3607m<sup>3</sup> por habitante (ANA, 2011), e 5,5 milhões de hectares irrigados com potencial de aumento para mais de 30 milhões de hectares (ANA, 2013). Deste potencial, mais de 4,5 milhões de hectares para a região sul (IBGE, 2009).

Apesar do potencial alto para irrigação, ainda são necessários estudos para que o uso dessa água seja mais eficiente, ou seja, que se evitem perdas do recurso, e também que sejam divulgadas mais informações para os agricultores de como se fazer o manejo correto dos sistemas de irrigação.

O desenvolvimento da agricultura irrigada exige procedimentos tecnológicos e econômicos para otimizar o uso da água, visando a melhoria da eficiência de aplicação e dos ganhos de produtividade baseados na resposta da cultura, da aplicação de água e outros insumos sem, contudo, comprometer a disponibilidade e a qualidade do recurso (PAZ et al., 2000).

A irrigação localizada é o tipo mais eficiente de irrigação, pois aplica a água em forma de gota, diretamente no sistema radicular da planta, deixando o solo sempre próximo à capacidade de campo e reduzindo perdas por evaporação.

Com base na falta de tempo e de recursos para pequenos produtores rurais, que na maioria das vezes se resumem à agricultura familiar, foram confeccionados “kits” de irrigação localizada por algumas empresas de irrigação, que vêm a ser mais econômicos e não necessitam de tanta mão de obra como outros sistemas. De acordo com o IBGE (2009), a agricultura familiar ocupa 24,3% da área de estabelecimentos agropecuários do Brasil, totalizando 80,25 milhões de hectares, ou seja, 9,4% da área total do país. Esta significativa porcentagem poderia ser responsável por grande parte da produção de alimentos no Brasil, pois, de acordo com Brito e colaboradores (2002), de 5% da área irrigada no país equivale a

16% da produção de alimentos.

Em um projeto de irrigação localizada, é muito importante fazer análise da água que será utilizada, pois nela podem conter elementos que causam entupimento nos emissores, reduzindo a vazão e a eficiência do sistema. Podem ser utilizados produtos químicos para a limpeza das tubulações e emissores à base de ácidos ou que contenham cloro em sua composição.

A uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação vem a ser a disponibilidade da água irrigada nos emissores de forma mais igualitária possível para as plantas, sem risco de irrigação excessiva em algumas áreas enquanto outras não atingiram sua necessidade hídrica. Com o excesso de irrigação pode ocorrer acidificação do solo por lixiviação de elementos básicos e necessidade de drenagem, mas com déficit de irrigação, a produção da cultura implantada pode ser comprometida. Sendo assim, a uniformidade é um meio de análise do sistema de irrigação para que se mantenha em ideal a vazão por planta, e seu monitoramento pode mostrar causas de problemas no sistema.

Analisando os fatos acima citados, este trabalho teve como objetivo avaliar a uniformidade de sistemas de irrigação e fertirrigação por gotejamento, no município de Salto do Lontra – Paraná, visando possíveis causas de perda de uniformidade, analisadas com uso de gráficos de controle estatístico, aplicando química para recuperação dos emissores obstruídos e avaliar a eficiência do uso de filtro de discos e filtro de tela.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a uniformidade de irrigação e quimigação em sistemas de irrigação por gotejamento.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Aplicar a quimigação à base de hipoclorito de cálcio em um sistema de gotejamento visando a melhoria da uniformidade e da vazão no sistema pela limpeza da tubulação.

Aplicar a quimigação à base de ácido fosfórico em um sistema de gotejamento visando a melhoria da uniformidade de emissão e vazão pela desobstrução de gotejadores entupidos.

Comparar a eficácia dos filtros utilizados no sistema, sendo estes: filtro de discos e filtro de tela.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Irrigação localizada

A grande parte dos alimentos utilizados para a nutrição da população é proveniente da agricultura (BRITO et al., 2012). De acordo com a ONU (2013), a estimativa da população para 2050 é de 9,6 bilhões de pessoas e esse aumento progressivo da população requer que a produção de alimentos seja maior. Porém, as áreas agricultáveis dividem espaço com as áreas de preservação ambiental; logo, sua expansão está comprometida. Uma alternativa segura de se obter maior produtividade, tendo em vista a mesma área agrícola, é o uso da irrigação.

No método da irrigação localizada a água é, em geral, aplicada em apenas uma fração do sistema radicular das plantas, empregando-se emissores pontuais, lineares ou superficiais (ANDRADE; BRITO, 2006). A água é aplicada, em pequena intensidade, diretamente sobre o solo, umedecendo a área do sistema radicular da cultura, porém em alta frequência, mantendo o solo próximo à capacidade de campo e fazendo com que a evaporação da água seja minimizada (REIS et al., 2005). O gotejamento é o método de irrigação mais eficiente na relação entre produtividade e unidade de água aplicada, porém ocupa somente 1% das áreas irrigadas em países desenvolvidos, sendo mais propício para horticultura e fruticultura (COELHO et al., 2005).

Sistemas de irrigação por gotejamento apresentam alta eficiência e baixo consumo de água e energia. A irrigação localizada permite um controle da água fornecida às plantas, reduz a incidência de pragas e doenças, permite a aplicação de produtos químicos via água de irrigação (quimigação) e possibilita cultivo em áreas com afloramentos rochosos. Apesar de várias vantagens, este sistema tem alto custo inicial, além de necessitar de filtragem da água para evitar entupimento de emissores e frequentes manutenções (MANTOVANI et al., 2007).

De acordo com Basso et al. (2010), a irrigação localizada tem como vantagens: alta eficiência de aplicação, redução de escoamento superficial e percolação profunda, economia de água, energia e mão de obra, além de permitir automatização, fertirrigação e de não interferir nos tratamentos fitossanitários. As principais desvantagens do método são: a facilidade de entupimento, o alto custo de implantação, não permitir o controle eficaz do microclima e o fato de poder condicionar limitações ao sistema radicular.

De acordo com Hernandez (1999), a implantação de sistemas de irrigação localizada apresenta alto custo inicial, pois são sistemas fixos com grande número de tubulações, que pode ser comparado ao custo de um sistema por aspersão. Porém os custos operacionais

são menores que outros sistemas devido ao baixo consumo de energia utilizada.

Para culturas de pequeno espaçamento como a videira, os sistemas de irrigação por gotejamento e por microaspersão têm sido projetados de maneira a formar uma faixa úmida contínua, ao longo da fileira de plantas (SOARES; NASCIMENTO, 1998).

O uso da irrigação por gotejamento para culturas em épocas secas e para irrigação suplementar em períodos de chuvas poderia aumentar a produtividade e a sustentabilidade da agricultura e, conseqüentemente, aumentar a renda dos produtores (ELLA et al., 2009).

De todos os recursos hídricos retirados do país, a irrigação ocupa 54%, mas desta parte somente 51% é aproveitada (ANA, 2012), mostrando que a eficiência de consumo ainda é baixa, necessitando de mais pesquisas na área de engenharia para melhorar essa eficiência e mais divulgação de métodos de manejo corretos para quem faz uso da irrigação.

### **3.2 Quimigação**

A quimigação consiste em aplicar uma solução, ou calda, de agroquímicos (fertilizante, inseticida, fungicida, herbicida ou nematicida) por meio do sistema de irrigação. Quando se trata de produtos que atuam no solo, a aplicação, em princípio, pode ser feita por meio de qualquer método de irrigação: gravitacional, aspersão ou localizado. Porém, a aplicação de produtos com atividade foliar somente é viável nos sistemas de irrigação por aspersão: laterais portáteis (convencional), pivô central, rolão e outros (BRITO, 2002).

De acordo com Santos et al. (2012), quimigação é a aplicação de produtos químicos através da água de irrigação, pode ser utilizado em sistemas de irrigação por gotejamento, microaspersão e pivô central. Os sistemas pressurizados são mais recomendados devido ao movimento turbulento da água, que ajuda a manter o material químico uniformemente distribuído nas tubulações, o que contribui na obtenção de boa uniformidade de aplicação. As vantagens desta prática em relação às aplicações tradicionais são a maior eficiência dos produtos aplicados, menor custo com mão de obra e, conseqüentemente, uma maximização técnica e econômica da adubação ou do tratamento fitossanitário adotado.

O sucesso da quimigação, tendo como alvo tanto o solo quanto a folhagem, depende em grande parte da uniformidade de aplicação do produto, a qual é geralmente proporcional à uniformidade de distribuição da água pelo sistema de irrigação (VENEGAS; SAAD, 2010).

O uso da fungigação, aplicação de fungicida pela água de irrigação, traz algumas vantagens, como o não contato do produto com o operador no momento de aplicação, ganho de tempo na aplicação e, de acordo com Oliveira (2005), uma vantagem da fungigação, específica no controle do mofo branco, refere-se ao alcance do produto na superfície do solo, atingindo diretamente o alvo.

### 3.2.1 Fertirrigação e fertigação

A fertirrigação é uma das maneiras mais eficientes e econômicas de aplicar fertilizante às plantas, por causa da necessidade de irrigação para o cultivo das plantas. Assim, ao aplicar os fertilizantes em menor quantidade por vez, e com maior frequência, pode-se manter um teor de nutrientes no solo nas quantidades exigidas nas diferentes fases do ciclo da cultura, o que aumentará a eficiência do uso de nutrientes pelas plantas e, conseqüentemente, a sua produtividade (BASSO et al., 2010).

Existem dois termos utilizados para o uso de fertilizantes via água de irrigação; de acordo com Detomini e Dourado Neto (2007), o termo fertigação é a técnica utilizada para aplicar fertilizantes via água de irrigação, porém, em épocas chuvosas de certas regiões, não há necessidade de fazer irrigação, tornando a fertigação conveniente. Já o termo fertirrigação é a técnica que tem por objetivo aplicar o fertilizante junto à água de irrigação, sendo esta, necessária para suprir a demanda hídrica da planta.

A aplicação contínua do adubo deve ser feita de modo racional, com intuito de se evitar a degradação do meio ambiente. No solo, o excesso de adubo pode aumentar a salinidade e afetar o equilíbrio dos nutrientes (FREIRE FILHO et al., 2008). O excesso de fertilizantes nas plantas também pode causar danos à cultura e prejuízo ao produtor, tanto na perda da produção quanto na perda do fertilizante em excesso. O amarelecimento das folhas, queda de folhas e frutos e podridão apical dos frutos, podem ser indícios de disponibilidade excessiva de nutrientes no solo para a cultura.

### 3.3 Entupimento

Um problema frequente em sistemas de irrigação por gotejamento é o entupimento dos emissores, que está diretamente ligado à qualidade de água e à eficiência dos filtros utilizados (RIBEIRO et al., 2008).

A qualidade da água utilizada na irrigação deve ser levada em conta, pois seus componentes podem causar danos ao sistema implantado no campo. De acordo com Capra e Scicolone (1998), o entupimento está baseado na qualidade da água de irrigação e seu efeito é correspondente na vazão dos emissores, causando desuniformidade no campo. Ribeiro e colaboradores (2008) utilizaram tratamentos químicos na água de irrigação à base de ácido nítrico e hipoclorito de sódio para desobstrução de emissores entupidos por material biológico, obtendo melhoria na uniformidade. Outra alternativa para desentupimento, segundo Vieira e colaboradores (2004), é usar ácido fosfórico de pH 2, o que mostrou boa eficiência no desentupimento embora seja uma alternativa de custo alto, ou golpear a tubulação com uma vareta metálica, afim de desprender compostos ferruginosos depositados, isso com o sistema ligado e as linhas laterais abertas no final.

As substâncias químicas dissolvidas na água de irrigação, como por exemplo, o

carbonato de cálcio e o sulfeto de cálcio em altas concentrações, podem precipitar e eventualmente formar incrustações nas paredes das tubulações e emissores, restringindo a passagem da água. Problemas com incrustações e corrosão das tubulações são frequentes quando se utilizam águas subterrâneas. As incrustações são depósitos de matéria orgânica e inorgânica que se aderem às superfícies dos equipamentos de irrigação localizada e restringem a passagem de água através das tubulações e saídas de água dos emissores. As suspensões que mais comumente podem produzir essas incrustações são: as areias, silte, os carbonatos, o ferro e os organismos biológicos (RIBEIRO et al., 2005).

A obstrução dos emissores afeta negativamente a operação do sistema, reduzindo as chances de sucesso da irrigação e tornando a qualidade da água a principal preocupação no manejo de culturas irrigadas por sistemas localizados (TESTEZLAF, 2008).

De acordo com Teixeira et al. (2008), para redução do entupimento são sugeridos o uso de filtragem e cloração, mas essas técnicas variam em função da fonte causadora de entupimento. A avaliação sistemática do sistema de irrigação e o monitoramento da qualidade de água são essenciais para prevenir o entupimento.

### 3.4 Uniformidade de emissão

A uniformidade de distribuição é uma informação importante para a avaliação de sistemas de irrigação localizada, tanto na fase de projeto como no acompanhamento do desempenho após a implantação (FAVETTA;BOTREL, 2001).

Segundo Silva e Silva (2005), a desuniformidade de gotejadores e microaspersores é atribuída à falta de manutenção, sistemas mal dimensionados, ou que estão em uso há determinado tempo, resultando em áreas com excesso de água e outras com déficit, não atendendo às necessidades hídricas da cultura.

Existem alguns métodos para cálculo da uniformidade, um deles é o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), proposto por Christiansen (1942), no qual a classificação é apresentada na Tabela 1, segundo Bernardo et al. (2006).

Outros métodos também podem ser utilizados, como o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), apresentado por Kruse (1978), sendo mais sensível às variações de vazão, e o Coeficiente de Variação no Campo (CV), proposto por Keller e Bliesner (1990).

Tabela 1 Classificação do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC)

CUC	CLASSIFICAÇÃO
>90%	excelente
80-90%	bom
70-80%	regular
60-70%	ruim
<60%	inaceitável

Fonte: Bernardo et al. (2006)

A classificação do CUD é apresentada na Tabela 2, de acordo com ASABE (1996), e a classificação do CV é mostrada na Tabela 3, segundo recomendação da ASABE (R2008).

Tabela 2 Critérios pra a avaliação do CUD, segundo ASABE (1996)

<b>Classificação</b>	<b>Excelente</b>	<b>Bom</b>	<b>Regular</b>	<b>Ruim</b>	<b>Inaceitável</b>
CUD	>90	75-90	62-75	50-62	<50

Fonte: ASABE EP 458 (1996)

Tabela 3 Critérios para avaliação do CV, segundo ASABE (R2008)

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

Fonte: ASABE EP 405.1 APR1988 (R2008)

### 3.5 Controle estatístico de processos

O controle estatístico de processos (CEP) é um método de se analisar a qualidade de um processo, tal qual, variando ao longo do tempo ou do número de observações, gerando gráficos de controle. Segundo Domingos Filho e colaboradores (2012), os gráficos de controle estatístico são uma das ferramentas mais utilizadas para medir qualidade de produtos ou serviços, por apresentarem fácil construção e interpretação e por detectarem problemas ao longo do processo.

Para implantar o CEP em um determinado local, foi criado um esquema que deve ser seguido, chamado de ciclo PDCA (Figura 1).

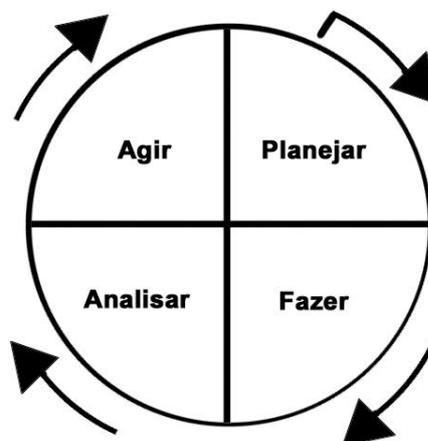


Figura 1 Ciclo PDCA.

O ciclo PDCA constitui em planejar o experimento que deverá ser aplicado no sistema, montar o experimento e começar o estudo piloto, analisar os resultados obtidos e, se obtiver sucesso (capacidade de processo adequada), aplicar o planejado definitivamente no sistema (MONTGOMERY, 2009). Caso não haja sucesso (capacidade de processo inadequada), o ciclo deve recomeçar com uma nova ideia.

Excessiva variabilidade dos dados gera resíduos, e a qualidade nada mais é do que a redução destes resíduos. A correção do resíduo requer muito esforço e o custo é alto, mas com a aplicação do controle estatístico de processos (CEP), estes resíduos poderiam ser reduzidos (MONTGOMERY, 2009).

### 3.5.1 Cartas de controle de Shewhart

A carta de controle é uma das técnicas primárias do CEP, a qual mostra as médias medidas da característica de qualidade nas amostras no tempo, ou pelo número de amostras. A linha central (LC) corresponde ao ponto onde deveriam estar as médias, caso não houvesse variabilidade, e os limites superior e inferior de controle (LSC e LIC) são determinados por considerações estatísticas (MONTGOMERY, 2009). Ainda pode-se analisar o gráfico de controle por limites de especificação, convencionados pelo requerimento do pesquisador, sendo estes os limites superior e inferior de especificação (LSE e LIE).

A Figura 2 mostra um exemplo de uma carta de controle de Shewhart.

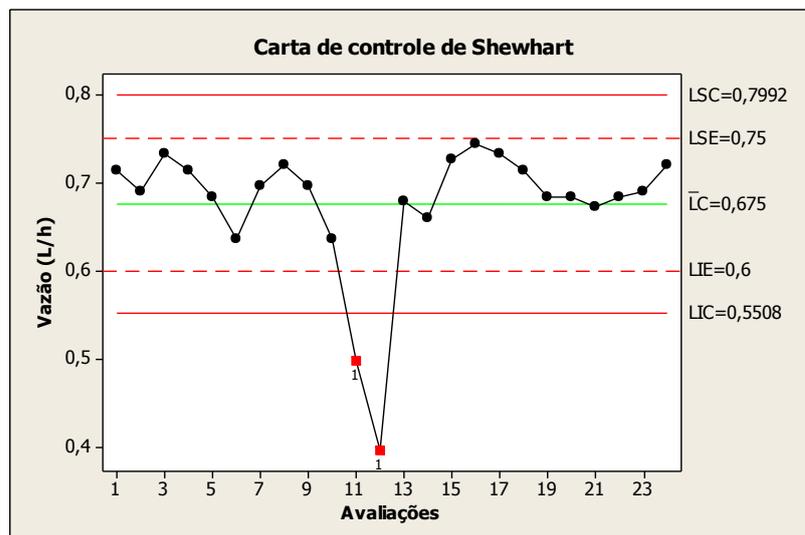


Figura 2 Carta de controle de Shewhart.

### 3.5.2 Capacidade de processo

Se o gráfico de Shewhart apresentar pontos fora dos limites de controle, como mostra os emissores 11 e 12 da Figura 2, este estará fora de controle estatístico e não há

capacidade potencial de processo ( $C_p$ ), indicando que tais pontos necessitam de observações mais minuciosas a fim de descobrir as causas de estarem saindo de controle. Porém, se os pontos estiverem todos dentro dos limites de controle e a distribuição da variável estiver próxima a normal, deve-se calcular a capacidade de processo e classificá-la como descrita na Tabela 4, segundo Montgomery (2009).

Tabela 4 Classificação de  $C_p$  segundo Montgomery (2009)

Processo existente		Processo novo	
$C_p \geq 1,25$	Processo adequado	$C_p \geq 1,45$	Processo adequado
$1 \leq C_p \leq 1,25$	Processo aceitável	$1 \leq C_p \leq 1,45$	Processo aceitável
$C_p < 1$	Processo inadequado	$C_p < 1$	Processo inadequado

Esta classificação é adequada para processos industriais; porém, como não há ainda uma classificação para processos de irrigação, faz-se uso desta mesma.

Se o gráfico possui limites de especificação unilaterais, podem-se usar os índices superior ( $C_L$ ) e inferior ( $C_U$ ) de processo. E o menor valor destes dois índices é chamado de desempenho de processo ( $C_{PK}$ ). Se o  $C_{PK} < C_p$ , o processo estará fora do ponto de especificação.

O processo é dito estatisticamente sob controle quando somente causas comuns de variabilidade estiverem presentes. Ao contrário, se um processo apresentar, além das causas comuns de variabilidade, causas especiais, ele será dito fora de controle estatístico (GONÇALVES; WERNER, 2009). Como as causas comuns afetam todos os pontos do processo o tempo todo, este ainda se mantém sob controle, mas quando surgem causas especiais, estas agem somente em alguns pontos, por circunstâncias especiais, podendo, assim, levar alguns pontos para fora do controle.

Mudanças na distribuição do processo na decorrência de causas especiais podem ser tanto negativas como positivas. Quando são negativas, elas devem ser entendidas e eliminadas, mas se forem positivas, devem ser entendidas e transformadas em parte permanente do processo (IQA, 2005).

Na irrigação por gotejamento, o aumento do índice de capacidade do processo é diretamente proporcional ao aumento da uniformidade de distribuição. Este índice é capaz de diagnosticar se a irrigação tem capacidade de se manter sob controle, mantendo assim a uniformidade recomendada (JUSTI et al., 2010).

A literatura sobre controle estatístico cita que não se pode trabalhar com dados não normais para a capacidade de processo; porém, para irrigação, este tópico ainda é pouco conhecido, e o fato de transformar dados é uma maneira de escapar da realidade e manipular os mesmos. Sendo assim, este trabalho teve o intuito de aplicar a capacidade de processo para irrigação a campo, mesmo que os dados não apresentem normalidade.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Unidade experimental

O experimento foi realizado em uma propriedade rural da cidade de Salto do Lontra – PR, localizada na região Sudoeste do Estado, coordenadas geográficas 25°44'04" de latitude Sul e 53°12'49" de longitude Oeste e altitude de 484 metros, onde há cultivo de videiras. Foram instalados dois sistemas de irrigação por gotejamento, sendo um sistema com tubos STREAMLINE™ 16060, existente no local, com uso de três anos, e um sistema novo com tubos Microdrip 8, ambos da marca NETAFIM, cujas vazões nominais são de 1,6 L.h<sup>-1</sup> e 2,0 L.h<sup>-1</sup>, respectivamente, com pressões de serviço de 3,50 bar e 1,96 bar. Na Figura 3 pode ser observada a altimetria da área experimental.

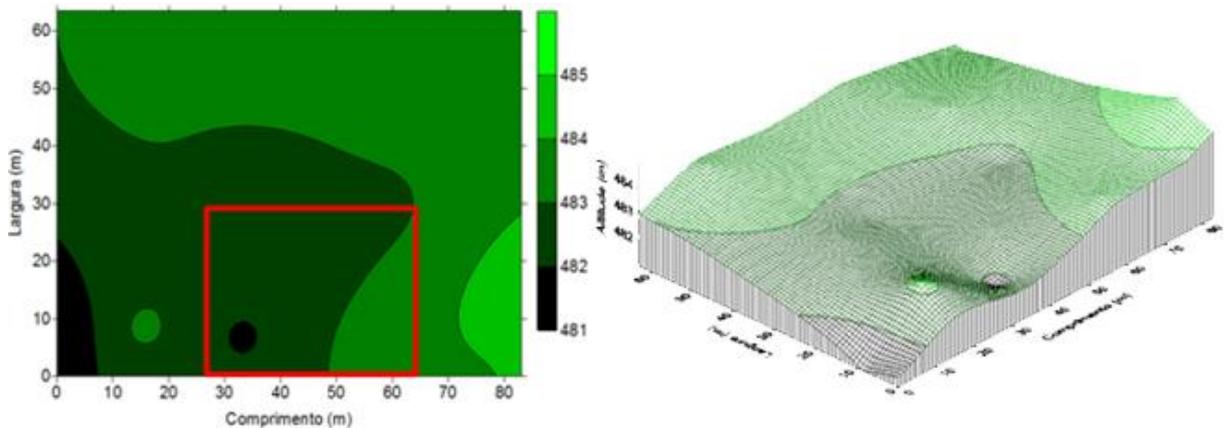


Figura 3 Altimetria da área experimental.

O terreno total medido apresenta declividade média de 6%; porém, a área selecionada em vermelho delimita a área experimental avaliada na qual apresenta declividade de 3,33%. O mapa foi produzido pelo software Surfer 8.0, disponibilizado pelo Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

### 4.2 Materiais utilizados

O sistema foi conduzido por gravidade, composto por dois filtros, sendo um filtro de discos e um filtro de tela, cada um instalado em uma subunidade. Foi montado um aplicador de produtos químicos próximo ao reservatório de água para que fosse feita a mistura dos produtos antes da aplicação a campo.

Os “kits” de irrigação familiar são compostos de uma tubulação de polietileno de 1”, um registro de esfera de 1”, um filtro de tela de 1” e tubos gotejadores com conectores iniciais. A caixa d’água é extremamente necessária, porém não é inclusa ao “kit”.

### 4.3 Período do experimento

O experimento foi conduzido durante o mês de outubro. As variações de temperatura foram altas, pois as coletas foram realizadas pela manhã e à tarde. Chuvas durante o experimento eram comuns, forçando sua parada por algumas horas e influenciando em alguns resultados.

### 4.4 Quimigação

A fertirrigação foi feita à base de cloreto de potássio (KCl) diluído em água, sendo 60% a concentração do fertilizante, em um reservatório de nível acima do reservatório de água, com um recipiente de recebimento do fertilizante com torneira boia, para manter a pressão e vazão de entrada do químico, no reservatório de água, o mais constante possível. O total aplicado foi de 32,86 kg de fertilizante, sendo 21,26 kg na subunidade um e 11,6 na subunidade dois. O calculo para essas quantidades foi baseado na análise de solo feita na área seguindo recomendações da Embrapa (2011), conforme Tabela 5.

Tabela 5 Adubação de produção por ciclo/safra da videira segundo a produtividade esperada e os teores de N, P e K existentes no solo

Produtividade esperada (t ha <sup>-1</sup> )	N (kg ha <sup>-1</sup> )	P Mehlich (mg dm <sup>-3</sup> )				K solo (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )			
		<11	11 a 20	21 a 40	> 40	< 0,16	0,16 -0,3	0,31-0,40	> 45
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )				K <sub>2</sub> O <sup>(1)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )			
< 15	120	100	80	60	40	120	100	80	60
15-25	160	130	110	80	50	200	160	140	100
26-35	200	160	140	100	60	300	240	200	130
>35	240	200	160	120	80	400	320	240	160

\*Fonte: Embrapa, 2011

O processo de limpeza do sistema foi feito com ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) e hipoclorito de cálcio (Ca(ClO)<sub>2</sub>), sendo 10,63 Kg de ácido fosfórico na subunidade um e 150 g de hipoclorito de cálcio para 1500 litros de água, com 65% de cloro ativo, na subunidade dois.

Para diluição do fertilizante e dos produtos químicos, foram utilizados 100 litros de água que, após a diluição, incorporaram a água para irrigação.

A Tabela 6 mostra a compatibilidade de produtos químicos utilizados em fertirrigação, onde pode-se ver que há compatibilidade entre os produtos químicos utilizados, cloreto de potássio e ácido fosfórico.

Tabela 6 Compatibilidade entre os fertilizantes empregados em fertirrigação

Fertilizante <sup>1</sup>	UR	NA	SA	NC	NK	CK	SK	FA	MS	MQ	SM	AF	AS	AN
Ureia (UR)		C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Nitrato de amônio (NA)			C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Sulfato de amônio (SA)				I	C	C	SR	C	C	C	C	C	C	C
Nitrato de cálcio (NC)					C	C	I	I	I	SR	I	I	I	C
Nitrato de potássio (NK)						C	C	C	C	C	C	C	C	C
Cloreto de potássio (CK)							SR	C	C	C	C	C	C	C
Sulfato de potássio (SK)								C	SR	C	SR	C	SR	C
Fosfatos de amônio MAP e DAP (FA)									I	SR	I	C	C	C
Fe, Zn, Cu, Mn, Sulfato (MS)										C	C	I	C	C
Fe, Zn, Cu, Mn, Quelato (MQ)											C	SR	C	I
Sulfato de magnésio (SM)												C	C	C
Ácido fosfórico (AF)													C	C
Ácido sulfúrico (AS)														C
Ácido nítrico (AN)														

<sup>1</sup>C = compatível; SR = solubilidade reduzida; I = incompatível

\*Fonte: Embrapa, 2011

#### 4.5 Coleta de dados

As avaliações ocorreram com uso de coletores abaixo dos gotejadores com baixa variação de pressão, com quatro minutos cada coleta, resultando em vazões amostrais. A pressão foi mensurada por manômetros digitais e a vazão medida por provetas graduadas.

Foi utilizada a metodologia de coleta de dados segundo Keller e Karmeli (1975), na qual são selecionados, para amostragem, a primeira, 1/3, 2/3 e última linhas laterais, sendo coletadas as vazões no primeiro, 1/3, 2/3 e último gotejadores. A Figura 4 mostra o esquema de montagem da estrutura de coleta.

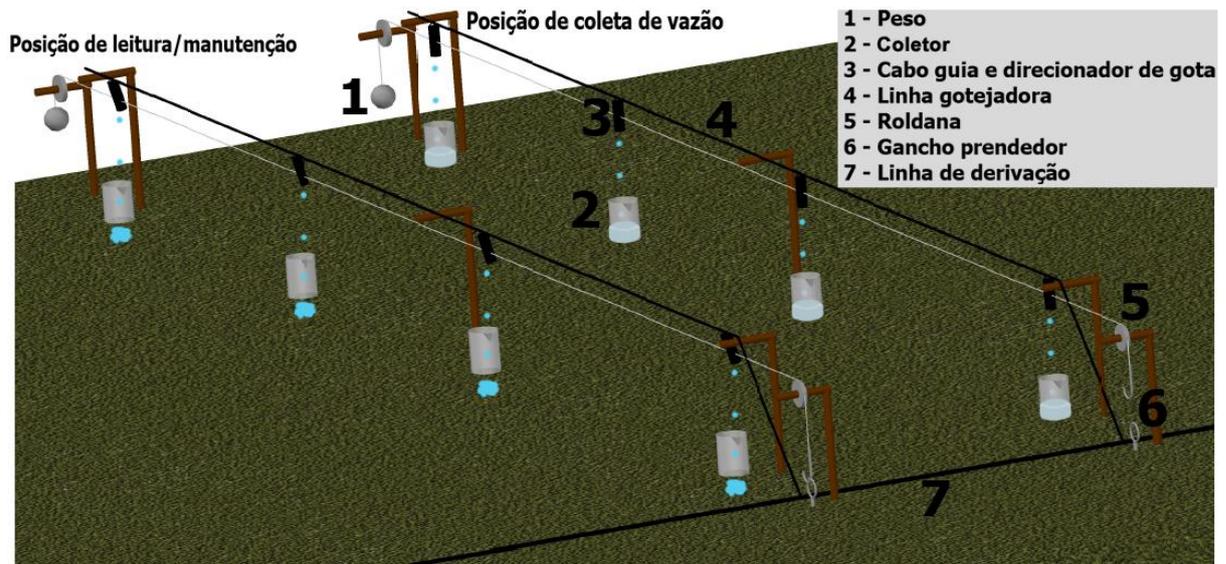


Figura 4 Layout de montagem e funcionamento da estrutura de coleta das vazões.

As coletas das vazões ocorreram ao mesmo tempo para cada linha, com uso de uma estrutura com cabos de aço. A linha gotejadora avaliada teve seu nível elevado cerca de 20 cm para que fossem colocados os coletores abaixo das gotas, sendo avaliada uma subunidade por vez, com uma hora de tempo de irrigação por avaliação.

#### 4.6 Montagem do experimento

O croqui da área experimental pode ser visualizado na Figura 5.

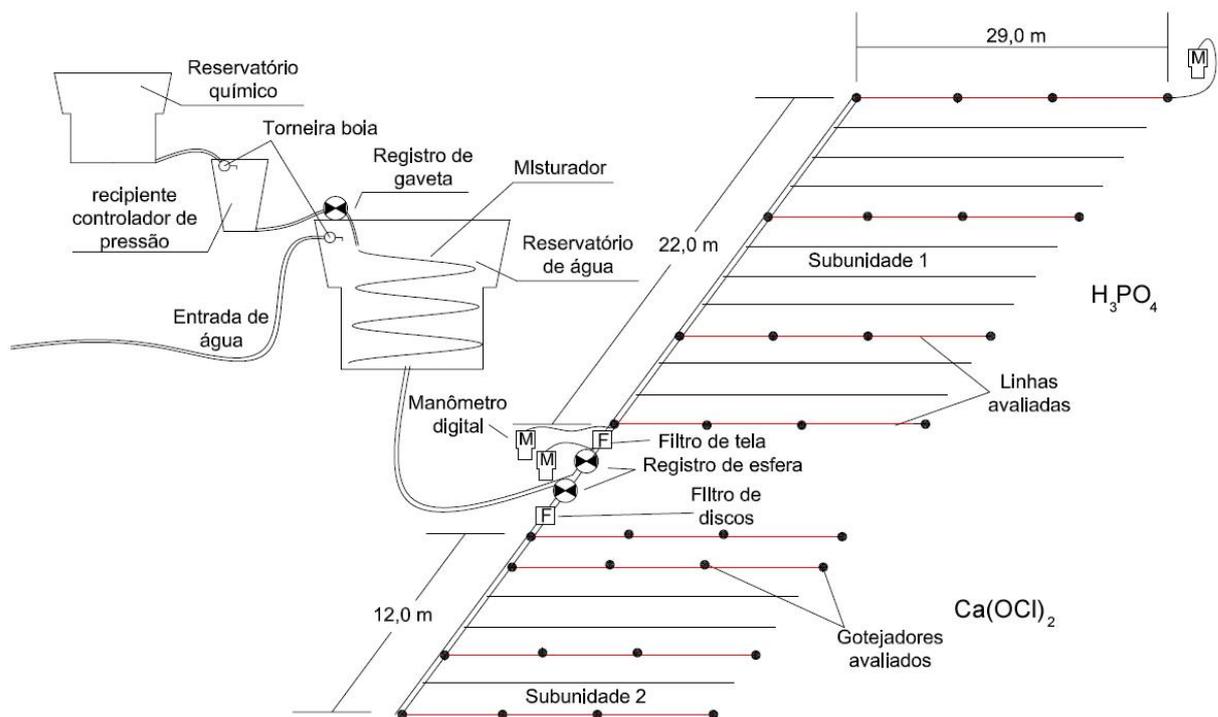


Figura 5 Croqui da área experimental.

A subunidade um aplicou a quimigação à base de ácido fosfórico, sendo este sistema com uso de três anos com tubos lay flat e o filtro instalado nesta subunidade foi o de tela. A subunidade dois aplicou a quimigação à base de hipoclorito de cálcio, sendo este sistema novo e com microtubos, e o filtro instalado foi o de discos. A esquematização da montagem dos sistemas pode ser vista na Figura 6.

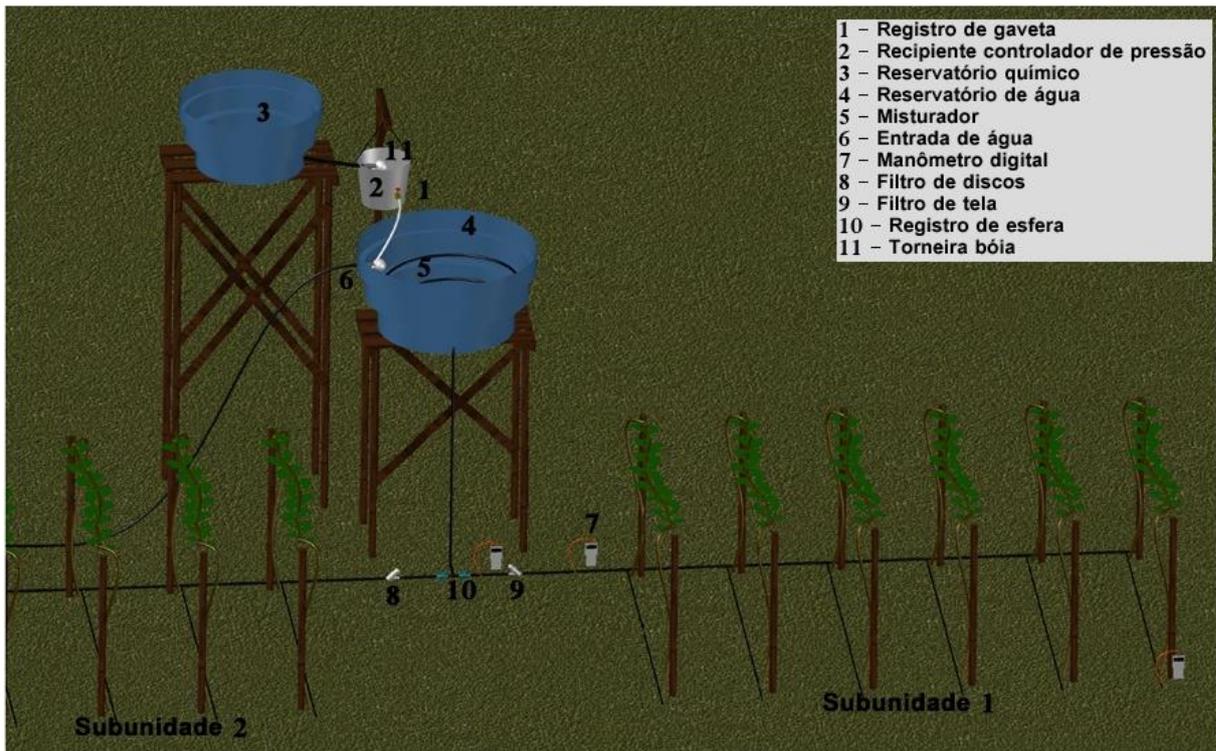


Figura 6 Layout de montagem do experimento.

O sistema foi conduzido por gravidade; então, para manter a pressão o mais constante possível foi feito um esquema com um recipiente com torneira boia entre os reservatórios. O produto químico entra no recipiente que mantém um nível constante dentro do mesmo, e este libera o produto para o reservatório de água com um registro de gaveta que controla a vazão do produto.

A mistura dos produtos químicos à água de irrigação foi feita no próprio reservatório de água com auxílio de um misturador, que é composto por uma mangueira em espiral com furos ao longo de sua extensão. A distribuição da calda no sistema foi direcionada por registros de esfera em cada subunidade, e o monitoramento da pressão foi feito por manômetros digitais, instalados antes do filtro, no começo, antes do primeiro gotejador, e no final, depois do último gotejador, isso em cada subunidade avaliada.

#### 4.7 Delineamento experimental

As análises estatísticas foram feitas com delineamento inteiramente casualizado com quatro tratamentos e duas subunidades amostrais, e o teste de diferença de médias aplicado foi o teste de Tukey a 5% de significância.

#### 4.8 Tratamentos analisados

Devido aos recursos escassos do experimento, só foi possível montar dois sistemas, sendo um com cada tratamento de limpeza das tubulações. Sendo assim, os tratamentos onde foram utilizados os produtos químicos diferenciaram-se pelas letras a e b.

Os tratamentos utilizados no experimento foram:

T1 → Irrigação com seis repetições pré quimigação;

T2 → Fertirrigação com seis repetições;

T3a → Quimigação à base de ácido fosfórico com seis repetições;

T3b → Quimigação à base de hipoclorito de cálcio com seis repetições;

T4 → Irrigação com seis repetições pós-quimigação;

Na Tabela 7, é apresentada a distribuição dos tratamentos para cada subunidade analisada.

A unidade experimental possui duas subunidades, sendo uma com aplicação de quimigação à base de ácido fosfórico e outra com aplicação de quimigação à base de hipoclorito de cálcio. Em cada tratamento serão feitas seis avaliações (repetições), resultando em 48 avaliações, ou seja, 24 avaliações por subunidade.

Tabela 7 Distribuição dos tratamentos nas respectivas subunidades

Subunidade	Sistema	Tratamento	Repetições
1	Existente	T1	6
		T2	6
		T3a	6
		T4	6
2	Novo	T1	6
		T2	6
		T3b	6
		T4	6

#### 4.9 Coeficientes de uniformidade e grau de entupimento

Com os dados obtidos nas amostras foi calculado o CUC (Coeficiente de Uniformidade de Christiansen), o CUD (Coeficiente de Uniformidade de Distribuição) e o CV

(Coeficiente de Variação de Vazão no Campo), a partir das Equações 1, 2 e 3, respectivamente, mostradas a seguir.

Tendo as uniformidades determinadas, é possível analisar o entupimento ao longo do tempo pela variação dessa uniformidade com uso da irrigação e fertirrigação, devido às variações de vazão nos sistema.

$$CUC = \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - \bar{q}|}{n \cdot \bar{q}} \right] * 100 \quad \text{Eq. (1)}$$

Sendo

*CUC* - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, %;

$q_i$  - vazão de cada gotejador,  $Lh^{-1}$ ;

$\bar{q}$  - vazão média dos gotejadores,  $Lh^{-1}$ ; e

*n* - número de gotejadores analisados.

$$CUD = \frac{q_{25\%min}}{\bar{q}} * 100 \quad \text{Eq. (2)}$$

Sendo

*CUD* - Coeficiente de Uniformidade de Distribuição, %;

$q_{25\%min}$  - média do menor quartil das vazões observadas,  $Lh^{-1}$ ;

$\bar{q}$  - vazão média dos gotejadores,  $Lh^{-1}$ .

$$CV = \frac{sd}{\bar{q}} \quad \text{Eq. (3)}$$

Sendo

*CV* - Coeficiente de Variação da Vazão no Campo, %;

*Sd*- desvio padrão das vazões observadas,  $Lh^{-1}$ ;

$\bar{q}$  - vazão média dos gotejadores,  $Lh^{-1}$ .

Com as vazões dos tratamentos inicial e final, pode-se calcular o grau de entupimento (GE), onde pode ser verificada a influência do entupimento da descarga dos emissores. O cálculo do GE segue da Equação 4.

$$GE = \left( 1 - \frac{q_{atual}}{q_{novo}} \right) 100 \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde

*GE* - Grau de Entupimento, %;

$q_{\text{atual}}$  - vazão depois da fertirrigação,  $Lh^{-1}$ ; e

$q_{\text{novo}}$  - vazão antes da fertirrigação,  $Lh^{-1}$ .

#### 4.10 Gráficos de Controle

Para monitoramento dos dados, foram utilizados gráficos de controle estatístico de medidas individuais, que mostram pontos onde o processo sai do controle, correspondendo a problemas de causas específicas ou especiais, a partir de uma média, e limites de controle dados por 3 desvios padrões, por convenção do software Minitab 16. De acordo com Montgomery (2009), a média e o desvio padrão devem ser estimados a partir de amostras preliminares ou subgrupos, quando se espera controle no processo. Estas estimativas devem ser baseadas em pelo menos 20 a 25 amostras.

Os limites de especificação utilizados serão baseados nos coeficientes de uniformidade (CUC, CUD, CV), sendo os valores apresentados anteriormente nas Tabelas 1, 2 e 3 de classificação dos coeficientes.

Mantendo a uniformidade dentro da faixa de controle estatístico de qualidade com vazão próxima da nominal, mantém-se o sistema de gotejamento em bom funcionamento por um período mais elevado, com alta uniformidade e tornando-se economicamente viável para pequenos produtores.

#### 4.11 Índice de capacidade potencial de processo

O índice de capacidade potencial de processo ( $C_p$ ) relaciona a variabilidade permitida com a variabilidade natural do processo e, com isso, tem-se que, quanto maior for o valor de  $C_p$ , maior será a capacidade do processo em satisfazer às especificações, desde que a média esteja centrada no valor nominal (GONÇALVES; WERNER, 2009). O índice  $C_p$  é calculado pela Equação 5.

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad \text{Eq. (4)}$$

Sendo

$LSE$  - limite superior de especificação;

$LIE$  - limite inferior de especificação;

$\sigma$  - desvio padrão do processo considerando ausência de causas especiais.

#### 4.12 Desempenho de capacidade de processo

Para limites de especificação unilaterais foram calculados as capacidades superior e inferior de processo ( $C_{PL}$  e  $C_{PU}$ ), conforme Equações 6 e 7. O mínimo valor entre  $C_{PL}$  e  $C_{PU}$  torna-se o  $C_{PK}$ , índice de desempenho da capacidade de processo, respectivamente.

$$C_{PL} = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \quad \text{Eq. (5)}$$

$$C_{PU} = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \quad \text{Eq. (6)}$$

Sendo

LSE - limite superior de especificação;

LIE - limite inferior de especificação;

$\sigma$  - desvio padrão do processo;

$\mu$  - média do processo.

#### 4.13 Análise de comparação dos filtros

A análise dos filtros foi feita por coleta dos sólidos retidos, fazendo a limpeza dos filtros a cada seis avaliações. Os filtros foram limpos dentro de recipientes e a coleta dos resíduos em filtro de papel, que posteriormente foram secados e pesados em estufa a 105 °C por duas horas.

A variação de pressão inicial também pode indicar excesso de resíduos no filtro, tendo em vista que Keller e Bliesner (1990) efetuavam a retrolavagem dos filtros quando a pressão apresentava certa variação, pelo entupimento parcial do filtro; logo, foi possível fazer a análise dos valores de pressão coletados.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Vazão na subunidade um

Para os dados de vazão coletados na subunidade um, a média encontrada foi de  $0,459 \text{ Lh}^{-1}$ , com pressão média de  $7,23 \text{ kPa}$ . Os dados apresentam normalidade de acordo com o teste de Shapiro Wilk a 10% de significância e o histograma dos dados é apresentado na Figura 7.

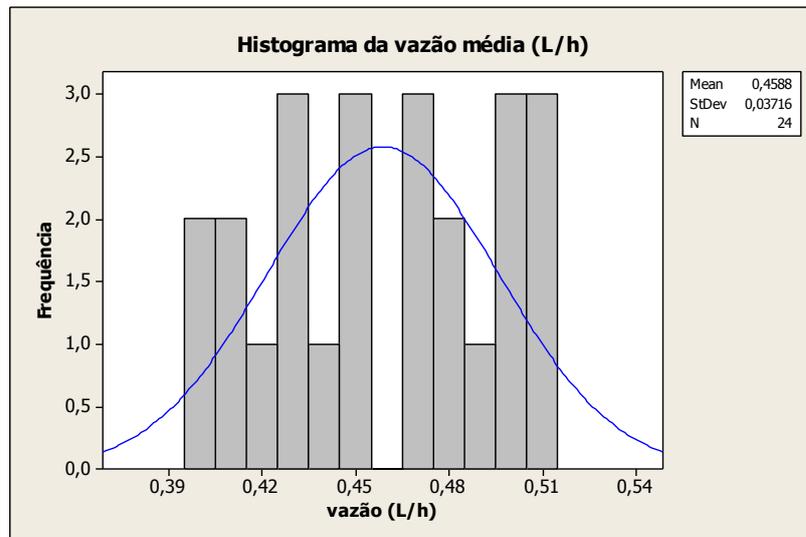


Figura 7 Histograma dos dados de vazão da subunidade um.

O histograma apresentado mostra bastante dispersão dos dados. Na Figura 8 são apresentados os intervalos de confiança a 95% dos dados de vazão para cada tratamento.

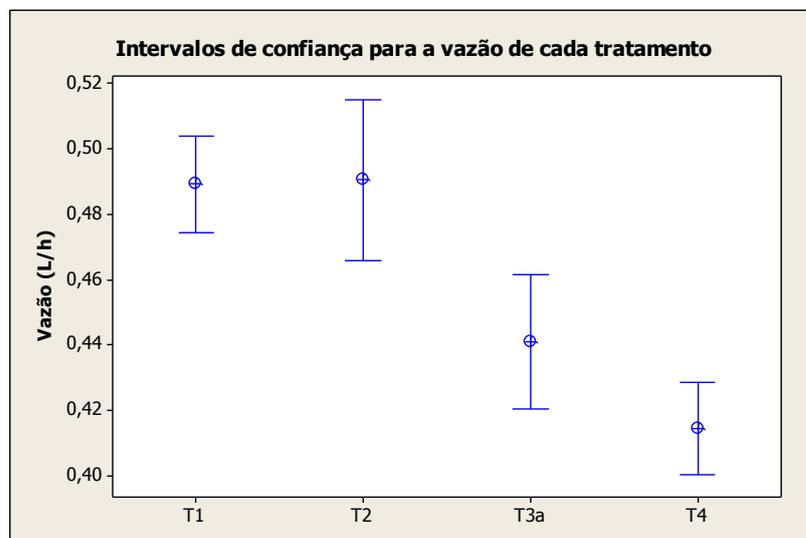


Figura 8 Intervalos de confiança para os dados de vazão da subunidade um.

Percebeu-se a redução da vazão ao longo dos tratamentos, sendo mais reduzida a partir do tratamento 3a, no qual foi feita a aplicação de ácido fosfórico no sistema. Tal redução pode ser causada pelo fato do ácido agir de forma limpadora nas tubulações, desprendendo o material aderido à tubulação e forçado sua passagem pelos emissores, os quais ficaram entupidos por essa impureza.

O boxplot geral da vazão na subunidade um pode ser visto na Figura 9.

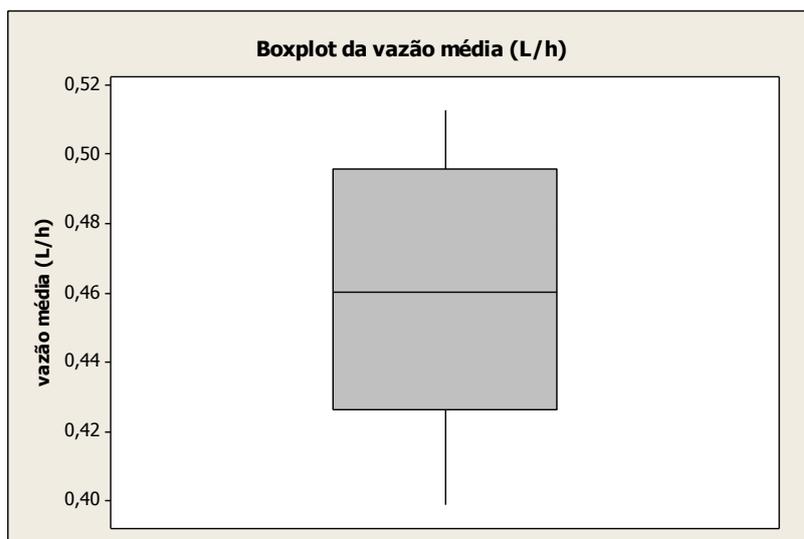


Figura 9 Boxplot dos dados de vazão média na subunidade um.

O boxplot da vazão na subunidade um apresenta simetria dos dados e não há pontos discrepantes. Uma análise mais minuciosa desses dados pode ser vista na Figura 10, com o boxplot para cada tratamento.

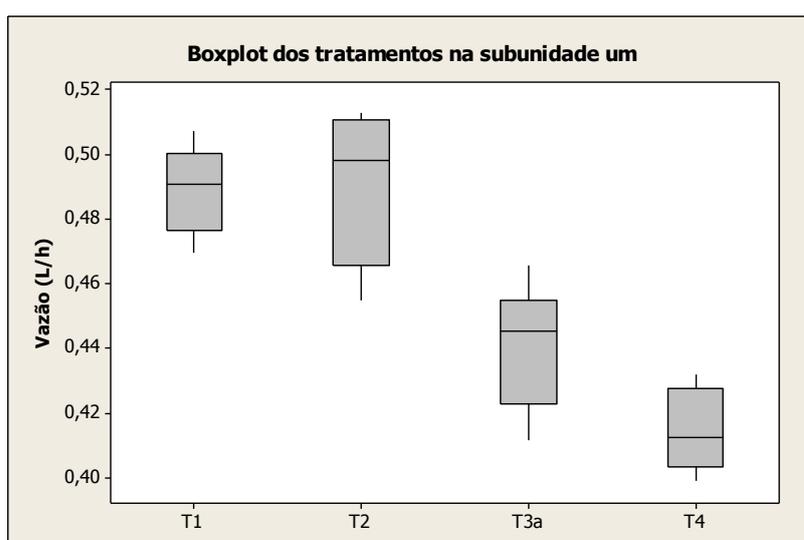


Figura 10 Boxplot para cada tratamento da subunidade um.

Verificou-se que as distribuições variam de acordo com cada tratamento. Não são

verificados pontos discrepantes e dados mais concentrados nos tratamentos 1 e 4. O tratamento 2 apresentou distribuição assimétrica à direita com dados próximos do limite superior. As variações causadas no T2 podem ter sido causadas pelo fato da densidade da água ser alterada pelo fertilizante cloreto de potássio, que, ao mesmo tempo em que facilita a passagem da água, também causa incrustações na tubulação, reduzindo a vazão ao longo do tratamento.

A análise de variância pode ser vista na Tabela 8.

Tabela 8 Análise de variância da vazão nos tratamentos da subunidade um

Fonte de variação	Graus de liberdade	SQ	QM	Fcal	Ftab 5%
Tratamento	3	0,0252	0,0084	25,62	3,10
Resíduo	20	0,0065	0,0003		
Total	23	0,0317			

Na análise de Tukey a 5% pode ser verificada a diferença entre tratamentos, mostrada na Tabela 9.

Tabela 9 Teste de Tukey a 5% de significância para a vazão na subunidade um

Tratamento	Média	5% significância
T1	0,489	a
T2	0,490	a
T3a	0,441	b
T4	0,414	b

Ao teste de Tukey a 5% de significância verificou-se que os tratamentos 1 e 2 foram estatisticamente iguais entre si e diferentes de 3a e 4, os quais foram iguais entre eles, concluindo que a aplicação de ácido fosfórico teve influência no sistema, que perdurou até o fim das avaliações.

Na Figura 11, pode ser visualizado o gráfico de controle da vazão ao longo dos tratamentos na subunidade um.

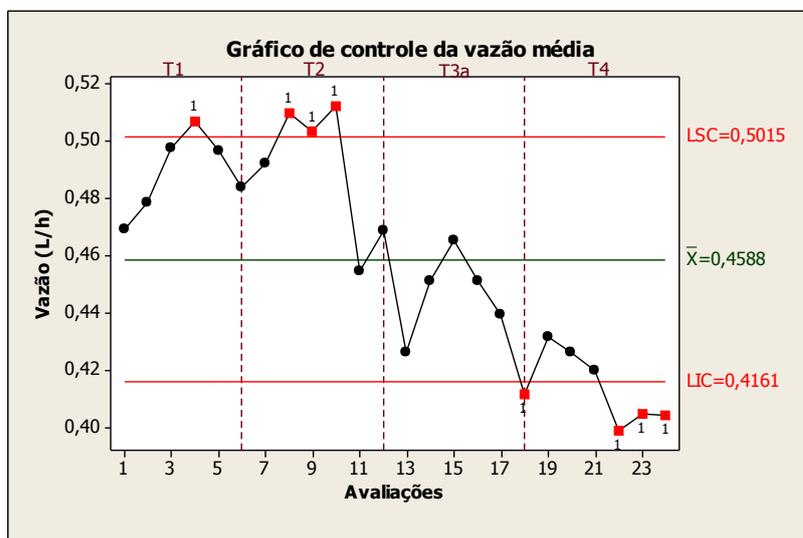


Figura 11 Gráfico de controle da vazão nas avaliações da subunidade um.

Verifica-se que alguns pontos saíram de controle estatístico, sendo utilizados três desvios padrões da média, por convenção do software Minitab 16. Os pontos acima do limite superior de controle (LSC) não são de grande importância, pois há pequena variação de pressão no sistema. Porém, os pontos abaixo da linha inferior de controle (LIC) são mais problemáticos, pois indicam deficiência do sistema, sendo reduzida a partir da avaliação 11 e seguindo tendência negativa até o final. O entupimento começa a ser causado pelo fertilizante na avaliação 11 e se torna mais grave durante a aplicação do ácido fosfórico, que desprende o material preso à tubulação e concentra este nos gotejadores, fazendo com que o tratamento 4, somente com água, apresente vazão reduzida no sistema.

Na Figura 12 é mostrada variação da pressão inicial ao longo das avaliações.

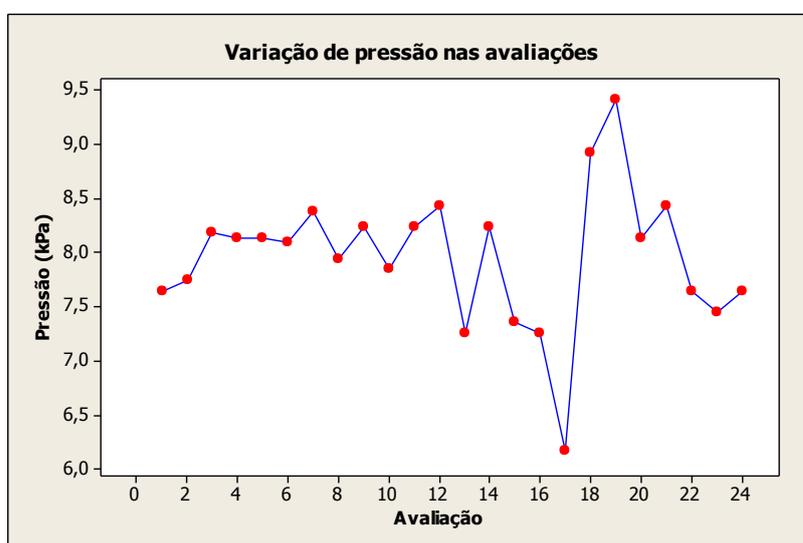


Figura 12 Variação da pressão inicial ao longo das avaliações da subunidade um.

Analisando a pressão inicial do sistema ao longo dos tratamentos, esta foi a mesma nas primeiras e últimas avaliações, com média de 7,95 kPa, mostrando que a redução de vazão foi causada pelo entupimento dos emissores.

Liu e Li (2009) concluíram que a pressão no sistema de 10 a 150 kPa mantém o líquido em regime turbulento, o que propiciaria a não-sedimentação do material na tubulação, enquanto que o regime laminar contribui com a sedimentação de resíduos. Na subunidade um, a pressão manteve-se sempre abaixo de 10 kPa; logo, o fluxo está em regime laminar e o entupimento tem mais probabilidade de que aconteça.

Os pontos 18 e 19 apresentaram maiores picos de pressão porque os emissores apresentavam entupimento devido à sedimentação do fertilizante ocasionado pela ação do ácido fosfórico; sem ter ponto de fuga, essa pressão tende a aumentar no sistema.

A equação potencial de vazão X pressão no campo da unidade um é mostrada na Figura 13.

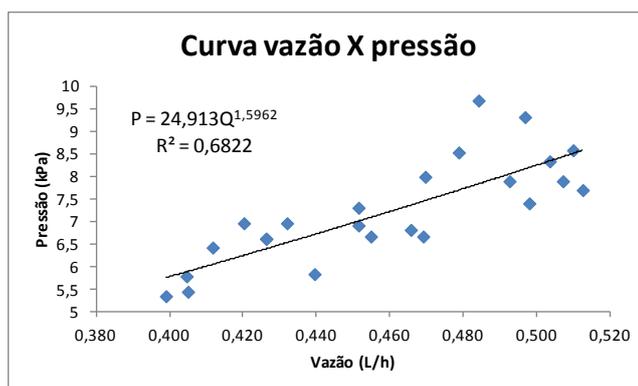


Figura 13 Curva vazão X pressão medida em campo da subunidade um.

A curva apresentou coeficiente de determinação ( $R^2$ ) baixo, pois havia outros fatores interferindo nas coletas, como vazamentos em alguns pontos, e pelo sistema estar em uso há um tempo considerável, sofrendo ações climatológicas, e, junto a isso, o entupimento causado ao longo das avaliações com os produtos químicos.

Na Figura 14 é apresentada a distribuição da vazão média por gotejador avaliado, em forma de mapa de contorno.

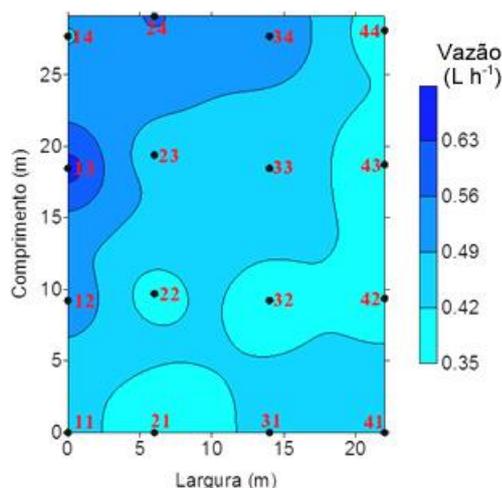


Figura 14 Mapa de contorno da vazão por gotejador avaliado da subunidade um.

A enumeração dos gotejadores seguiu uma matriz 4x4 onde o primeiro número representa a linha avaliada do sistema e, o segundo número, o gotejador avaliado.

As menores vazões são encontradas na linha final (emissores 42, 43 e 44), devido à baixa pressão ocasionada pela perda de carga na tubulação e nos emissores. Também há baixa vazão nos emissores 21 e 22, onde um vazamento foi encontrado durante o experimento, influenciando significativamente os resultados dos coeficientes de uniformidade. O gotejador 14 apresentou baixa vazão também porque apresentou entupimento completo ao longo das avaliações, reduzindo o valor médio da vazão.

## 5.2 Coeficientes de uniformidade da subunidade um

Com os dados de vazão, os coeficientes de uniformidade foram calculados e são apresentados nas Figuras 15, 16 e 17 em formato de gráficos de controle estatístico, sendo o coeficiente de Christiansen (CUC), o de Distribuição (CUD) e o coeficiente de variação (CV), respectivamente.

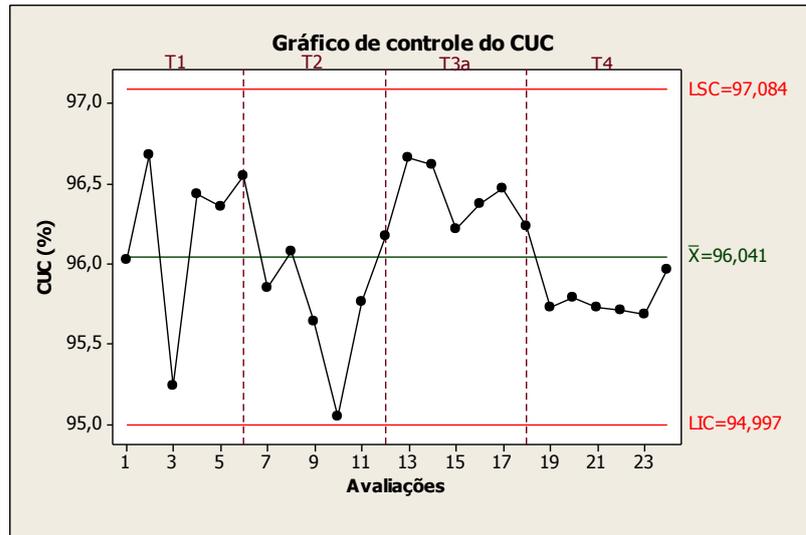


Figura 15 Gráfico de controle do CUC na subunidade um.

Verifica-se que não há pontos fora de controle e, pela classificação de Bernardo e colaboradores (2006), são consideradas uniformidades excelentes. Pelo gráfico, verifica-se grande variação nos tratamentos 1 e 2, e maior estabilização de valores nos demais tratamentos.

O cloreto de potássio vermelho pode ser utilizado em fertirrigação via gotejadores, pois não apresenta risco de entupimento por presença de fito plâncton na água de irrigação; porém, deve ser utilizado na ausência de ferro no adubo para evitar problemas de entupimento em tubos (RIBEIRO et al., 2010).

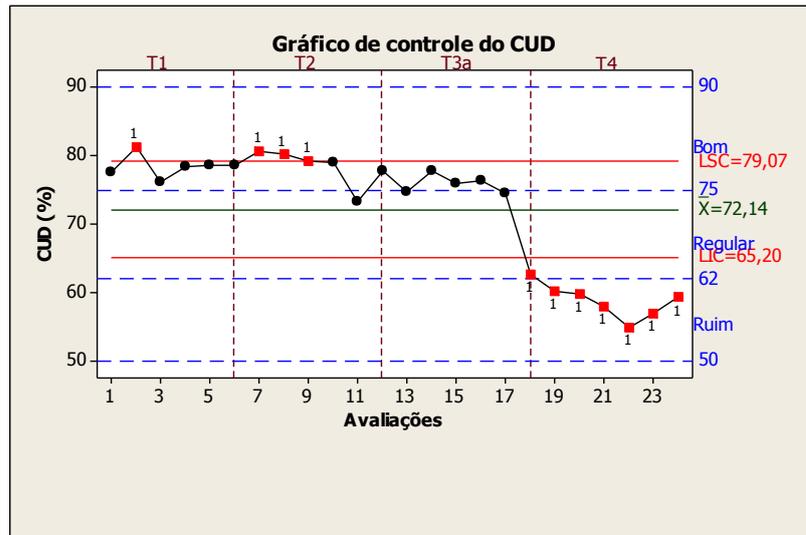


Figura 16 Gráfico de controle do CUD na subunidade um.

O CUD é mais sensível a alterações de vazão no sistema e por ser mais rígido em trabalhar com as mínimas vazões que foram coletadas, apresentou variação alta. A classificação do CUD foi boa durante os 3 tratamentos iniciais e ruim em T4. O entupimento causado pelo desprendimento do fertilizante das tubulações causou a redução da vazão abruptamente, influenciando na uniformidade de distribuição.

A Figura 17 mostra o gráfico de controle do CV na subunidade um.

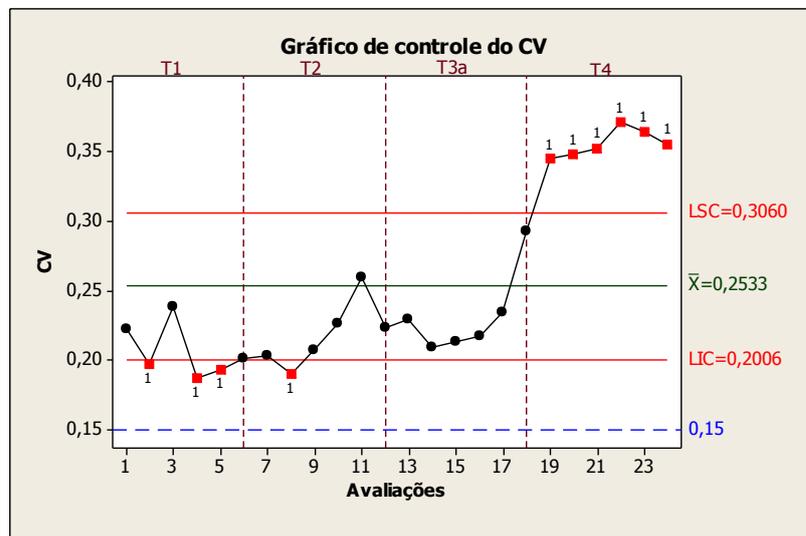


Figura 17 Gráfico de controle do CV na subunidade um.

O coeficiente de variação é mais rigoroso quanto a sua classificação; assim, todas as avaliações foram classificadas como inaceitáveis, apresentando comportamento semelhante ao CUD, com maior variação no T4, pois alguns gotejadores avaliados estavam parcialmente entupidos, com um completamente entupido e isso influenciou muito na variação de vazão do sistema.

Oliveira e Villas Bôas (2008) concluíram que maiores tempos de funcionamento do

sistema, quando em uso a fertirrigação, possibilitam melhores uniformidades de distribuição do fertilizante.

Foram feitas análises de variância dos coeficientes de uniformidade em relação aos tratamentos da subunidade um e, apresentando diferenças estatísticas, foi feito o teste Tukey a 5% de significância para cada coeficiente.

Na Tabela 10 é apresentada a análise de variância do CUC, e, na Tabela 11, o teste Tukey do CUC.

Tabela 10 Análise de variância do CUC nos tratamentos da subunidade um

Fonte de variação	Graus de liberdade	SQ	QM	Fcal	Ftab 5%
Tratamento	3	1,998	0,666	5,48	3,10
Resíduo	20	2,431	0,122		
Total	23	4,429			

Tabela 11 Teste de Tukey a 5% de significância para o CUC na subunidade um

Tratamento	Média	5% significância
T3a	96,426	a
T1	96,213	ab
T2	95,759	b
T4	95,766	b

Verificou-se pelo teste de Tukey a 5% de significância que os tratamentos 1, 2 e 4 foram estatisticamente iguais entre si, e que 1 e 3a foram iguais também. Comparando com o teste de vazão, houve diferença quanto aos tratamentos 3a e 4, que apresentaram vazões estatisticamente iguais, porém com coeficientes de uniformidade de Christiansen diferentes. Isso ocorreu devido à maneira de como é calculado o CUC, sendo que se em algum gotejador a vazão for maior que o padrão e em outro for menor, há um equilíbrio que faz com que o coeficiente ainda apresente resultados bons. Por este motivo são analisados vários coeficientes de uniformidade.

Na Tabela 12 é apresentada a análise de variância do CUD, e, na Tabela 13, o teste Tukey do CUD.

Tabela 12 Análise de variância do CUC nos tratamentos da subunidade um

Fonte de variação	Graus de liberdade	SQ	QM	Fcal	Ftab 5%
Tratamento	3	1638,8	546,3	48,84	3,10
Resíduo	20	223,7	11,2		
Total	23	1862,5			

Tabela 13 Teste de Tukey a 5% de significância para o CUD na subunidade um

Tratamento	Média	5% significância
T1	78,369	a
T2	78,328	a
T3a	73,634	a
T4	58,218	b

Verificou-se pelo teste que os tratamentos 1, 2 e 3 foram estatisticamente iguais entre si, e diferentes de 4. O CUD é mais sensível a variações de vazão e por isso mostra resultados mais confiáveis quando comparado ao CUC. Embora tenha apresentado que T3a foi igual a T1 e T2, seus resultados foram semelhantes aos de comparação de médias das vazões. O tratamento 4 foi diferenciado, pois, nestas avaliações, um dos 16 gotejadores apresentou entupimento total, sendo sua vazão nula, e isso interferiu muito na uniformidade.

Na Tabela 14 é apresentada a análise de variância do CV, e, na Tabela 15, o teste Tukey do CV.

Tabela 14 Análise de variância do CUC nos tratamentos da subunidade um

Fonte de variação	Graus de liberdade	SQ	QM	Fcal	Ftab 5%
Tratamento	3	0,0864	0,0288	56,34	3,10
Resíduo	20	0,0102	0,0005		
Total	23	0,0966			

Tabela 15 Teste de Tukey a 5% de significância para o CV na subunidade um

Tratamento	Média	5% significância
T1	0,206	a
T2	0,218	a
T3a	0,233	a
T4	0,356	b

Verificou-se pelo teste que os tratamentos 1, 2 e 3 foram estatisticamente iguais entre si e diferentes de 4. O CV apresenta comportamento semelhante ao CUD, com rigoroso procedimento de análise, também sendo influenciado pelo gotejador entupido, que aumentou a variação de vazão significativamente.

A Tabela 16 mostra regressões lineares analisadas entre os coeficiente, a pressão e a vazão na subunidade um, de modo a encontrar alguma relação de influência significativa.

Tabela 16 Regressão linear dos fatores analisados na subunidade um.

Variável dependente	Variável independente	Coeficiente de determinação ( $R^2$ )
Vazão	Pressão	64,7
	CUC	0,3
	CUD	74,1
	CV	68,9
Pressão	CUC	4,2
	CUD	49,6
	CV	50,5
CUC	CUD	10,3
	CV	18,1
CUD	CV	96,7

Analisando as regressões lineares, vemos que algumas influências foram mais consideráveis que outras, como, por exemplo, o CUD dependendo da vazão e o CV dependendo do CUD. Isso significa que a vazão é melhor explicada pelo primeiro quartil dos dados de vazão coletados, e que o CUD é mais explicado pela variação de vazão no sistema. O CUC não apresentou influência significativa com nenhuma outra variável e o mesmo ocorreu com a pressão média no sistema.

Foram feitas análises multivariadas dos fatores que apresentaram maiores coeficientes de determinação, ou seja, entre CUD com CV e vazão com CUD, adicionando o fator temperatura da água de irrigação média durante as coletas. Para o CUD em função de CV e temperatura, o coeficiente de determinação apresentou pouca diferença (96,9%), mas para CUD em função de vazão e temperatura, o coeficiente de determinação foi de 77,6%, mostrando que a vazão teve correlação significativa com a temperatura no momento das coletas. As equações das regressões podem ser vistas a seguir:

$$\text{CUD} = 111 - 131 \cdot \text{CV} - 0,253 \cdot \text{temperatura}$$

$$\text{CUD} = 17,4 + 171 \cdot \text{vazão} - 1,03 \cdot \text{temperatura}$$

Capra e Scicolone (1998) afirmam que o entupimento de gotejadores causa uniformidade abaixo da ideal e que uma amostra de 16 gotejadores é suficiente para avaliar o grau de entupimento no sistema.

O grau de entupimento calculado para as vazões referentes aos tratamentos 1 e 3 da subunidade um, sendo a vazão inicial e a vazão depois da fertirrigação, foi de 9,81%, e para os tratamentos 1 e 4, referentes à vazão inicial e à vazão depois da aplicação do ácido fosfórico, apresentou resultado de 15,13%. Levando em consideração que um gotejador dos 16 avaliados estava completamente entupido, e este corresponde a 6,25% dos emissores, pode-se dizer que outros emissores também ficaram obstruídos.

O aumento do grau de entupimento depois do agente limpador mostra que o ácido fosfórico teve ação sobre o fertilizante incrustado nas tubulações, e este, por sua vez, obstruiu os emissores, já que os finais de linha não foram abertos para limpeza correta do sistema.

### **5.3 Distribuição da quimigação na subunidade um**

A distribuição dos produtos químicos no sistema também foi avaliada e é mostrada na Figura 18.

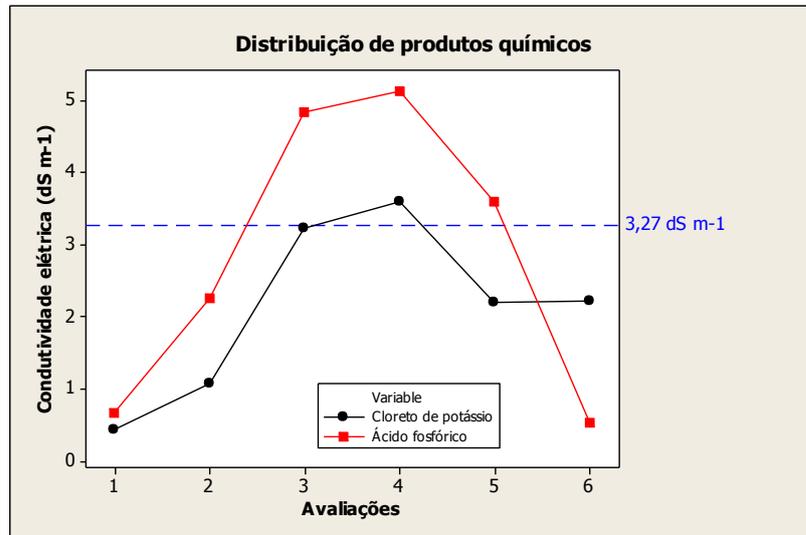


Figura 18 Distribuição dos produtos químicos na subunidade um em seis avaliações.

As distribuições apresentaram comportamento semelhante, sendo as maiores concentrações nas avaliações 3 e 4 dos tratamentos T2 e T3a. A distribuição apresentou tal variação ao longo do tempo de estabilização do produto químico no sistema, no qual era demorado. A concentração no T3a, ou seja, do ácido fosfórico com média de pH 2,57, foi maior, pois além do ácido fosfórico o sistema ainda apresentava cloreto de potássio preso à tubulação do sistema, com média de pH 8,23, que ia se desprendendo e sedimentando nos emissores.

Bello e colaboradores (2011) afirmam que fertilizantes precisam de um tempo de viagem para chegarem ao ponto de injeção, e essa viagem depende da vazão no sistema e da distância do ponto de injeção. Ainda afirmam que para redução de entupimento é melhor aumentar o número de aplicações de fertilizante e reduzir a concentração.

Para Vieira e colaboradores (2004), o uso de ácido fosfórico de pH 2,0 na irrigação por gotejamento forneceu os melhores resultados de uniformidade, mas com alto custo de implantação.

A distribuição do fertilizante e do ácido por gotejador pode ser visto nas Figuras 19 e 20, respectivamente.

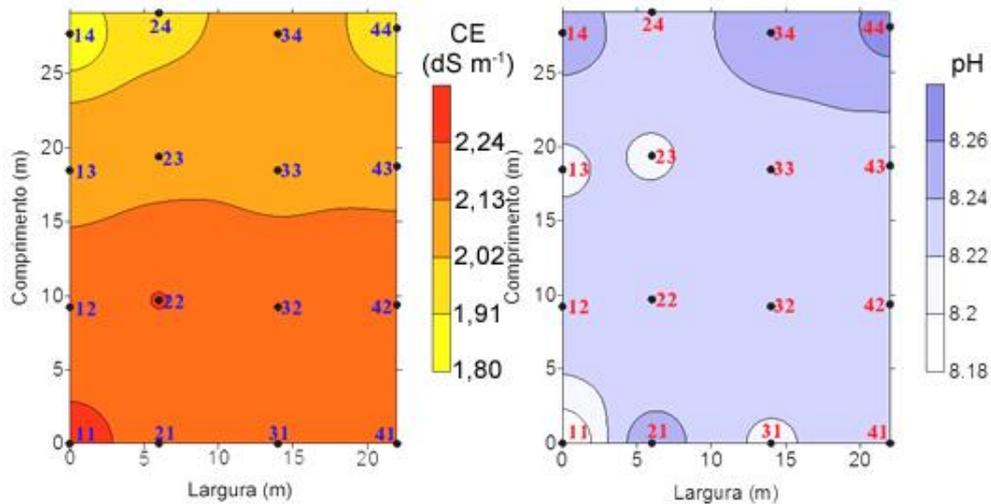


Figura 19 Distribuição da condutividade elétrica ( $\text{dS m}^{-1}$ ) e pH na aplicação de cloreto de potássio nos gotejadores avaliados na subunidade um.

A distribuição da condutividade elétrica apresentou boa uniformidade, com alguns pontos específicos de excesso de fertilizante nos gotejadores 11 e 22 e com déficit nos finais das linhas. O pH apresentou maior alcalinidade nos finais de linha, sendo menor no gotejador 11.

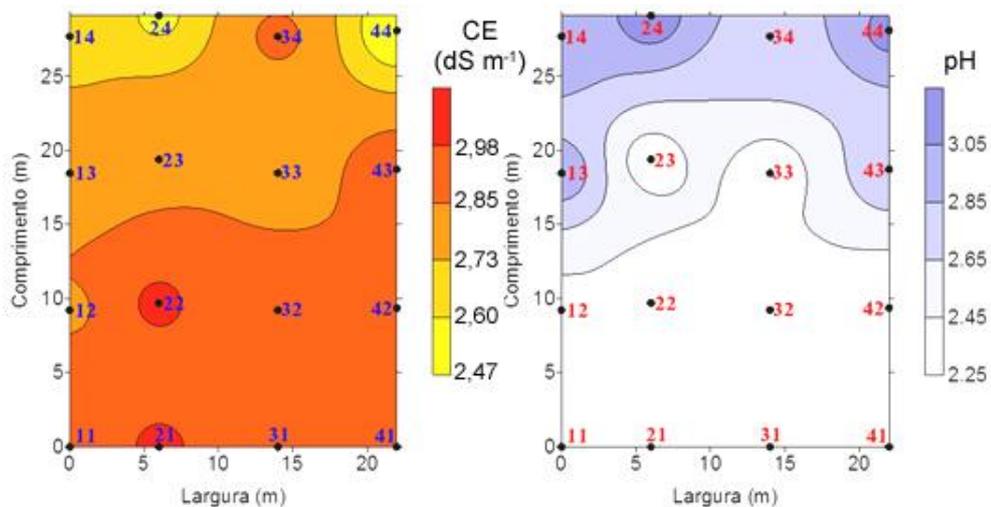


Figura 20 Distribuição da condutividade elétrica ( $\text{dS m}^{-1}$ ) e pH na aplicação de ácido fosfórico nos gotejadores avaliados na subunidade um.

A condutividade foi maior nos gotejadores 21 e 22, e menor nos finais de linha, assemelhando-se com a distribuição de fertilizante. O pH se manteve mais ácido no começo das linhas, onde a concentração era maior e menos ácido ao longo da metade das linhas até o final. O tempo de avaliação pode não ter sido suficiente para melhor uniformização dos produtos químicos aplicados.

#### 5.4 Vazão na subunidade dois

Para os dados de vazão coletados na subunidade dois, a média encontrada foi de  $0,735 \text{ Lh}^{-1}$ , com pressão média de  $16,59 \text{ kPa}$ . O histograma dos dados é apresentado na Figura 21.

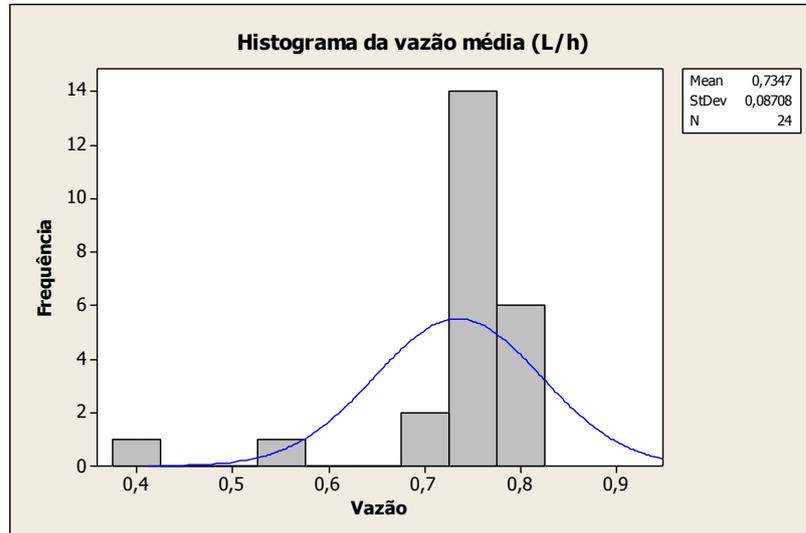


Figura 21 Histograma dos dados de vazão da subunidade dois.

O histograma apresentado mostra bastante dispersão dos dados, com distribuição assimétrica negativa. Na Figura 22 são apresentados os intervalos de confiança a 95% dos dados de vazão para cada tratamento.

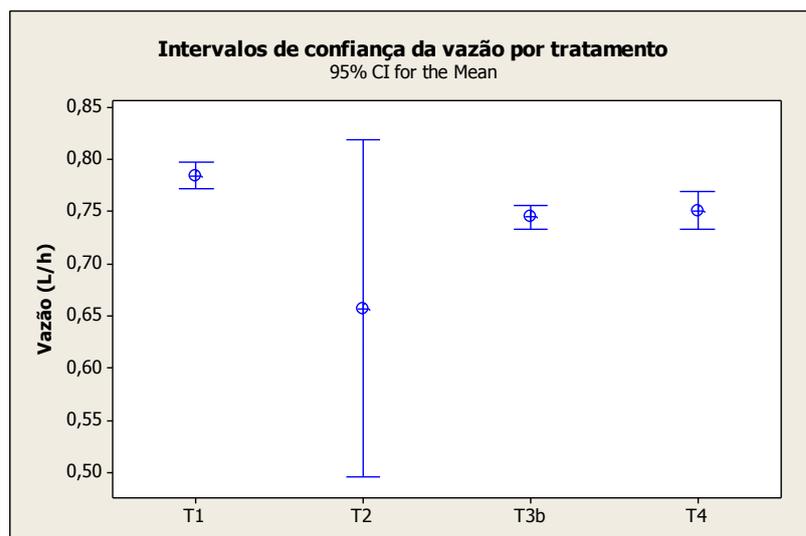


Figura 22 Intervalos de confiança para os dados de vazão da subunidade dois.

Nota-se que a maior variação da vazão é verificada no tratamento 2, com cloreto de potássio, no qual altera a densidade da água, resultando em influência na distribuição ao

longo do sistema. Como a vazão no T4 foi semelhante a T1, pode-se concluir que o entupimento não foi significativo ou que o hipoclorito de cálcio foi eficiente quanto à limpeza das linhas gotejadoras.

O boxplot geral da vazão na subunidade dois pode ser visto na Figura 23.

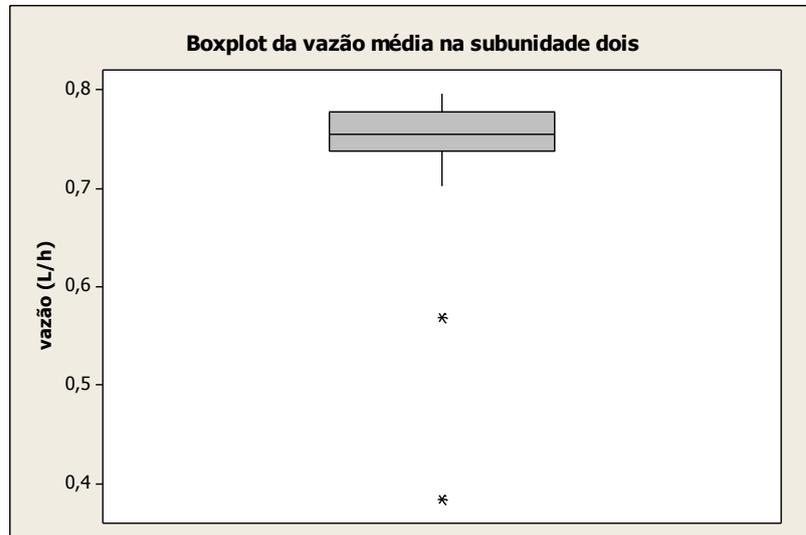


Figura 23 Boxplot dos dados de vazão média na subunidade dois.

O boxplot da vazão na subunidade dois apresenta assimetria à esquerda e há pontos discrepantes. Uma análise mais minuciosa desses dados pode ser vista na Figura 24, com o boxplot para cada tratamento.

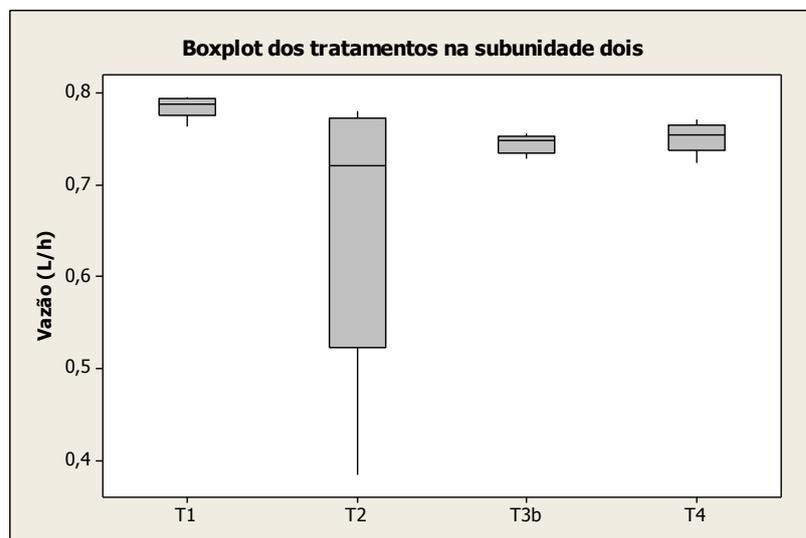


Figura 24 Boxplot para cada tratamento da subunidade dois.

O boxplot apresentou semelhança entre os tratamentos 1, 3b e 4; nenhum ponto discrepante é visualizado e todos apresentam distribuição assimétrica à direita. O T2 apresentou grande variação dos dados, comparado aos outros tratamentos.

A análise de variância pode ser vista na Tabela 17.

Tabela 17 Análise de variância da vazão nos tratamentos da subunidade dois

Fonte de variação	Graus de liberdade	SQ	QM	Fcal	Ftab 5%
Tratamento	3	0,0529	0,0176	2,90	3,10
Resíduo	20	0,1215	0,0060		
Total	23	0,1744			

Na Figura 25, pode ser visualizado o gráfico de controle da vazão ao longo dos tratamentos na subunidade dois.

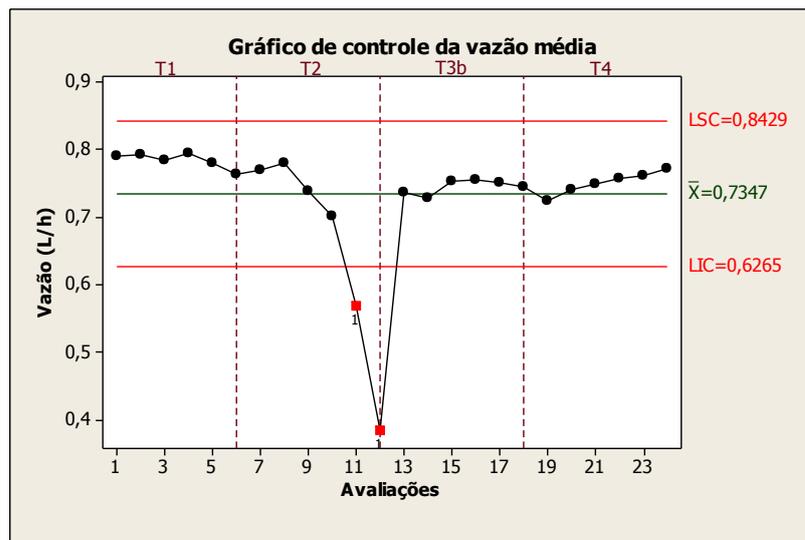


Figura 25 Gráfico de controle da vazão original nas avaliações da subunidade dois.

Verifica-se que as alterações no padrão de vazão ocorreram nas avaliações 11 e 12, ou seja, no final do tratamento 2, com o fertilizante cloreto de potássio. As demais avaliações apresentaram pouca variação de vazão, mostrando que o hipoclorito de cálcio pode ter limpado o sistema, melhorando a vazão do sistema, pois as últimas avaliações foram parecidas com as primeiras, em termos de vazão. Outra hipótese que deve ser levada em conta é que o sistema da subunidade dois tinha mais capacidade de vazão que a subunidade um, e isso pode ter facilitado a passagem dos resíduos de fertilizante pelos gotejadores.

Souza e colaboradores (2006) aplicaram  $150 \text{ mg L}^{-1}$  de hipoclorito de sódio em irrigação localizada com intuito de obter desentupimento, e conseguiram resultados significativos na desobstrução de emissores. Na subunidade dois foram aplicados  $10 \text{ g L}^{-1}$  de hipoclorito de cálcio ( $6,5 \text{ g L}^{-1}$  de cloro ativo), que é menos tóxico às plantas e os resultados foram significativamente bons também.

Teixeira e colaboradores (2008) utilizaram  $50 \text{ mg L}^{-1}$  de cloro livre e obtiveram grande eficiência na recuperação da vazão de emissores entupidos parcialmente.

Na Figura 26 é mostrada variação da pressão inicial ao longo das avaliações.

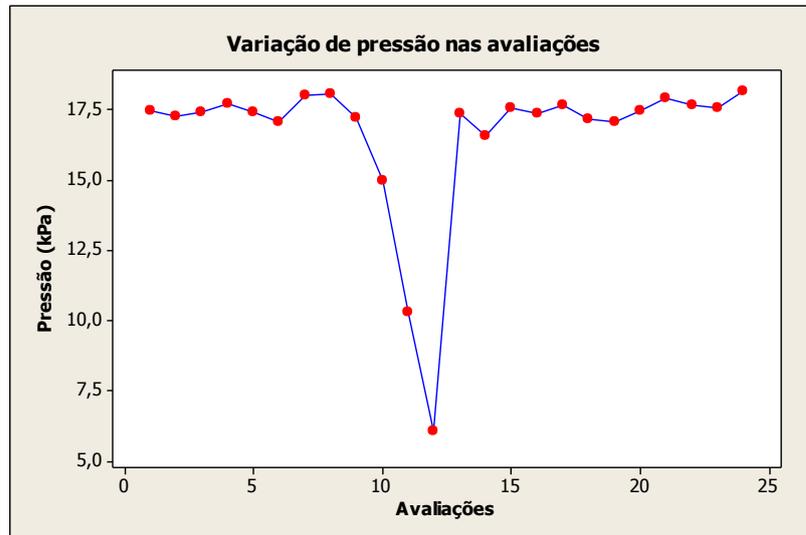


Figura 26 Variação da pressão inicial ao longo das avaliações da subunidade dois.

Nota-se que a vazão e a pressão apresentam o mesmo comportamento, ou seja, o entupimento foi causado na entrada do sistema, no filtro, e este fator repercutiu no sistema inteiro, afetando a vazão e a pressão.

A curva potencial de vazão X pressão no campo da unidade dois é mostrada na Figura 27.

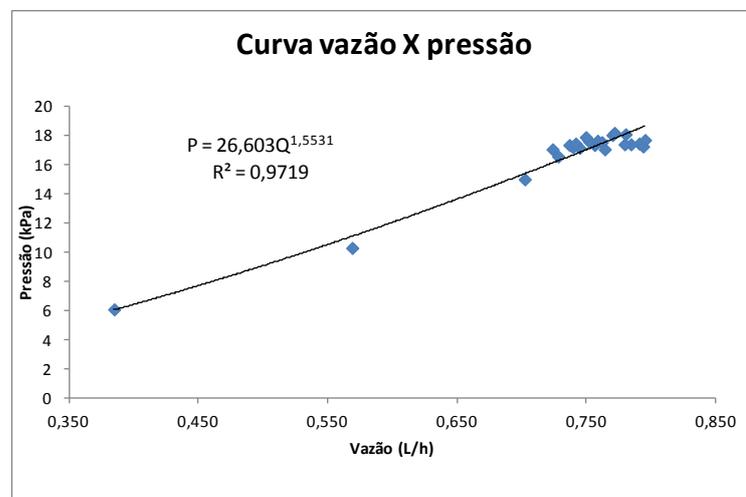


Figura 27 Curva vazão X pressão medida em campo da subunidade dois.

A curva apresentou coeficiente de determinação ( $R^2$ ) excelente, mostrando que a vazão apresentou boa correlação com a pressão e que os fatores que causaram variação no sistema são externos, provavelmente o entupimento causado no filtro.

Na Figura 28 é apresentada a distribuição da vazão média por gotejador avaliado. A vazão mostrou-se mais alta nos inícios de linha com redução nos gotejadores 13 e 23, por um pequeno acríve do terreno.

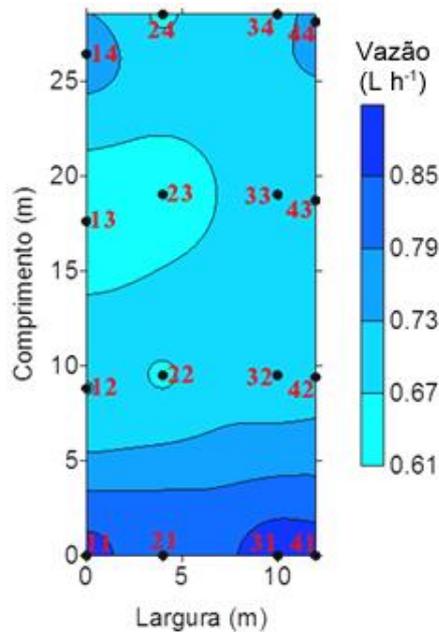


Figura 28 Mapa de contorno da vazão por gotejador avaliado da subunidade dois.

### 5.5 Coeficientes de uniformidade da subunidade dois

Com os dados de vazão, os coeficientes de uniformidade foram calculados e são apresentados nas Figuras 29, 30 e 31 em formato de gráficos de controle estatístico, sendo o coeficiente de Christiansen (CUC), de Distribuição (CUD) e coeficiente de variação (CV), respectivamente.

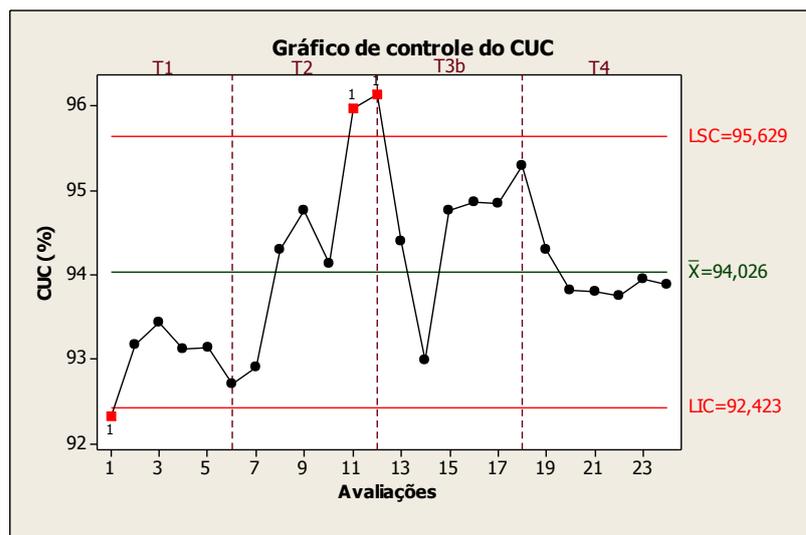


Figura 29 Gráfico de controle do CUC na subunidade dois.

O gráfico da Figura 29 mostra pontos que passam do limite superior de controle. Neste caso, estes pontos não apresentam problema, pois quanto mais próxima de 100% a uniformidade, melhor; neste caso a melhor uniformidade foi na avaliação 12. A avaliação um

está fora de controle estatístico por estar abaixo do limite inferior de controle, porém ainda classificada como excelente. O ideal de se trabalhar com gráficos de controle é manter o processo sem grandes variações, pois estas causam perdas no processo.

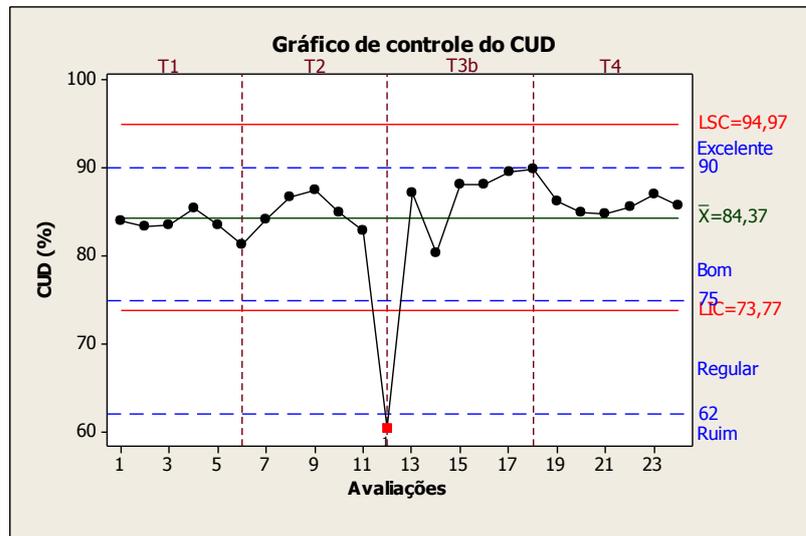


Figura 30 Gráfico de controle do CUD na subunidade dois.

O gráfico do CUD mostra comportamento semelhante à vazão e à pressão, com menor valor na avaliação 12, contradizendo o valor de CUC na mesma avaliação. Este fator é explicado pela forma em que o CUC é calculado, pois se houver aumento de vazão em algum ponto do sistema por conta de entupimento e aumento de pressão, haverá um equilíbrio de forma que falte água em algum ponto, e em outro excede, mantendo a uniformidade geral com valores bons. Logo, o CUD é mais eficiente pra análises de sistemas de irrigação por gotejamento quando comparado ao CUC.

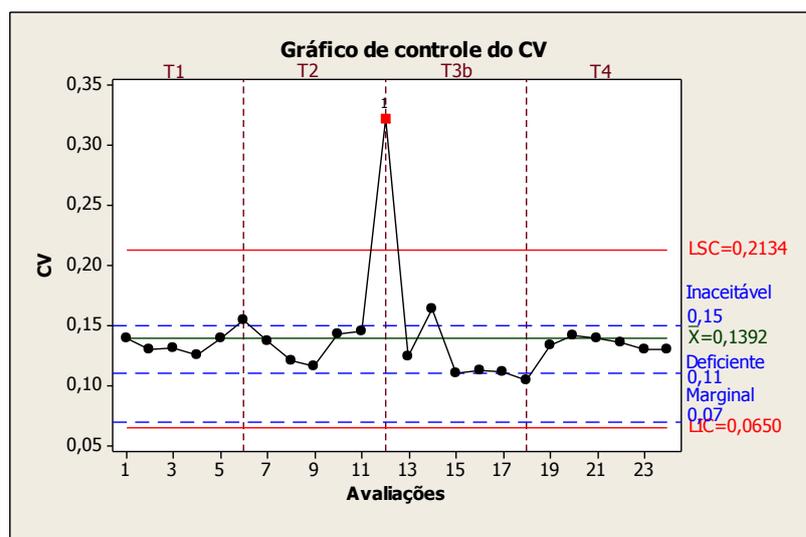


Figura 31 Gráfico de controle do CV na subunidade dois.

O CV mostra que a avaliação 12 foi a mais crítica, enquanto que as outras se

mantiveram na faixa de deficiente, em relação a classificação. Esta avaliação necessita de análise mais específica para saber a causa da grande variação. Como é um ponto onde há termino de aplicação do tratamento, o filtro apresenta acúmulo de resíduo e a pressão inicial é reduzida significativamente, assim o sistema apresenta deficiência no funcionamento.

Foram feitas análises de variância dos coeficientes de uniformidade em relação aos tratamentos da subunidade dois e, apresentando diferenças estatísticas, foi aplicado o teste Tukey a 5% de significância para cada coeficiente.

Na Tabela 18 é apresentada a análise de variância do CUC, e, na Tabela 19, o teste Tukey do CUC.

Tabela 18 Análise de variância do CUC nos tratamentos da subunidade dois

Fonte de variação	Graus de liberdade	SQ	QM	Fcal	Ftab 5%
Tratamento	3	10,832	3,611	6,20	3,10
Resíduo	20	11,649	0,582		
Total	23	22,481			

Tabela 19 Teste de Tukey a 5% de significância para o CUC na subunidade dois

Tratamento	Média	5% significância
T2	94,649	a
T3b	94,521	a
T4	93,911	ab
T1	92,977	b

O teste de comparação de médias mostrou que T1 foi igual estatisticamente ao T4 e diferente dos demais, como era esperado, que a limpeza fosse feita pela quimigação e que a distribuição final fosse semelhante à inicial.

Cararo e Botrel (2007) testaram uso de cloração para desentupimento de gotejadores não-autocompensantes, onde obtiveram efeito positivo ao longo do tempo.

Na Tabela 20 é apresentada a análise de variância do CUD. Neste caso, como os dados apresentaram somente um valor diferente dos demais, não foi suficiente para gerar diferença estatística entre os tratamentos.

Tabela 20 Análise de variância do CUC nos tratamentos da subunidade dois

Fonte de variação	Graus de liberdade	SQ	QM	Fcal	Ftab 5%
Tratamento	3	127,5	42,5	1,42	3,10
Resíduo	20	599,5	30,0		
Total	23	727,0			

Na Tabela 21 é apresentada a análise de variância do CV.

Tabela 21 Análise de variância do CUC nos tratamentos da subunidade dois

Fonte de variação	Graus de liberdade	SQ	QM	Fcal	Ftab 5%
Tratamento	3	0,0058	0,0019	1,15	3,10
Resíduo	20	0,0339	0,0017		
Total	23	0,0397			

A Tabela 22 mostra regressões lineares analisadas entre os coeficientes, a pressão e a vazão na subunidade dois, de modo a encontrar alguma relação de influência significativa.

Tabela 22 Regressão linear dos fatores analisados na subunidade dois

Variável dependente	Variável independente	Coeficiente de determinação (R <sup>2</sup> )
Vazão	Pressão	94,8
	CUC	47,0
	CUD	64,0
	CV	71,5
Pressão	CUC	37,3
	CUD	66,3
	CV	69,2
CUC	CUD	3,2
	CV	6,8
CUD	CV	96,9

As influências observadas mostram que realmente os comportamentos de vazão, pressão, CUD e CV foram semelhantes. As maiores influências observadas foram da vazão com pressão e CUD com CV, mostrando que o CUC não mostrou uma correlação significativa com os outros fatores do experimento. O fator mais decisivo para a influência externa nos sistema é o entupimento do filtro, que altera a pressão no sistema em geral.

Analisando ainda a temperatura como terceiro fator das regressões que apresentaram melhores resultados, temos que CUD em função de CV e temperatura apresentaram coeficiente de determinação de 97,1% e vazão em função de pressão e temperatura apresentaram R<sup>2</sup> de 95,3%, mostrando que a variação de temperatura influenciou nos resultados. As equações de regressão podem ser vistas a seguir:

$$\text{CUD} = 105 - 135 \cdot \text{CV} - 0,0813 \cdot \text{Temperatura}$$

$$\text{Vazão} = 0,188 + 0,0301 \cdot \text{Pressão} + 0,00198 \cdot \text{Temperatura}$$

Almeida e colaboradores (2013) também encontraram melhor correlação entre o CUD e CV em experimento com microtubos gotejadores, sob diferentes manejos de fertirrigação.

O grau de entupimento calculado entre os tratamentos 1 e 3, ou seja, da vazão inicial

para a vazão depois da fertirrigação, foi de 5,09%. Com a aplicação do hipoclorito de cálcio, foi calculado o grau de entupimento da vazão inicial com a vazão depois da aplicação do agente limpador, e o resultado foi de 4,33%, apresentando redução do entupimento.

## 5.6 Distribuição da quimigação na subunidade dois

A distribuição dos produtos químicos no sistema também foi avaliada e é mostrada na Figura 32.

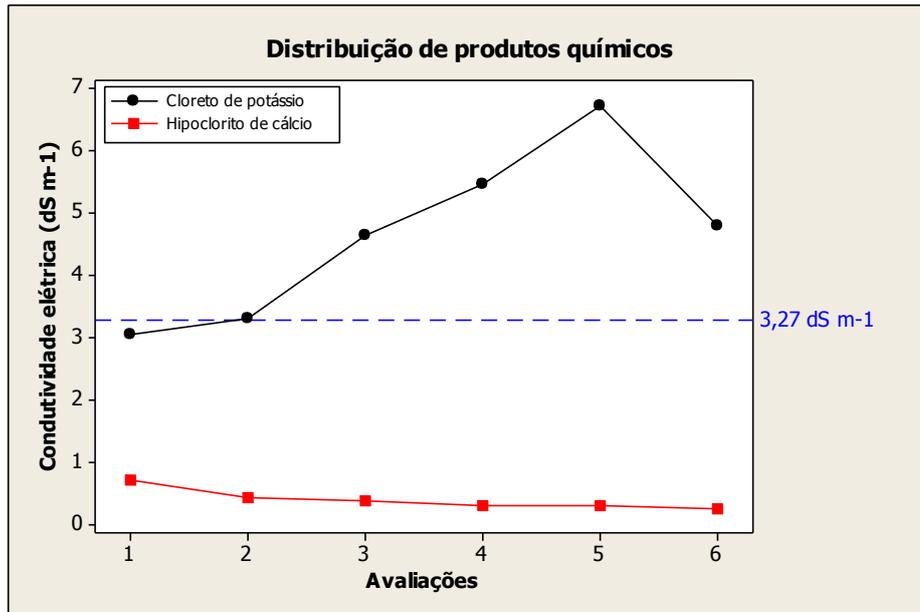


Figura 32 Distribuição dos produtos químicos na subunidade dois em seis avaliações.

As concentrações apresentaram variações com o uso do cloreto de potássio, o que não ocorreu com o hipoclorito de cálcio, cujas concentrações se mantiveram mais constantes. A avaliação 5 do uso de fertilizante equivale à avaliação 11 das 24 feitas, e foi a avaliação 12 que apresentou maiores problemas. Possivelmente, o efeito da alta concentração de fertilizante foi sentido na avaliação posterior, com o acúmulo no filtro do resíduo.

Nakayama e Bucks (1991) divulgaram uma tabela de risco de entupimento onde a condutividade elétrica acima de 3,27 dS m<sup>-1</sup> e pH maior que 8,0 apresentam risco severo de entupimento de emissores.

A distribuição do fertilizante e do hipoclorito de cálcio por gotejador pode ser visto nas Figuras 33 e 34, respectivamente.

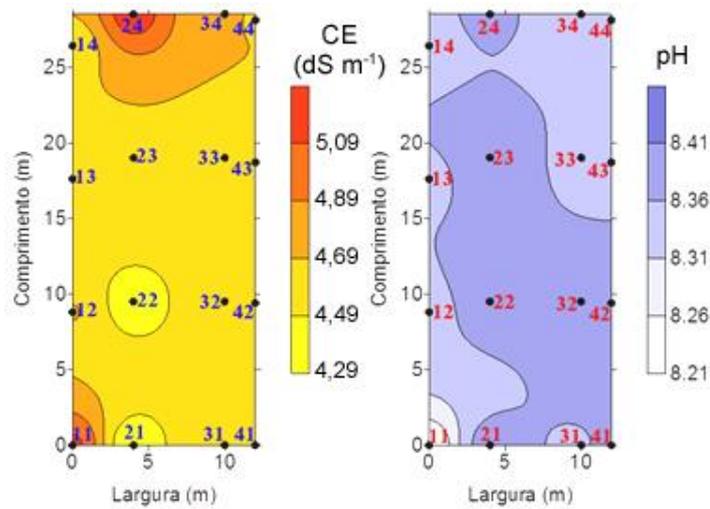


Figura 33 Distribuição da condutividade elétrica (ppm) e pH na aplicação de cloreto de potássio nos gotejadores avaliados na subunidade dois.

A condutividade elétrica mostrou boa distribuição com excessos de fertilizante nos gotejadores 11 e 24 e déficit nos gotejadores 21 e 22.

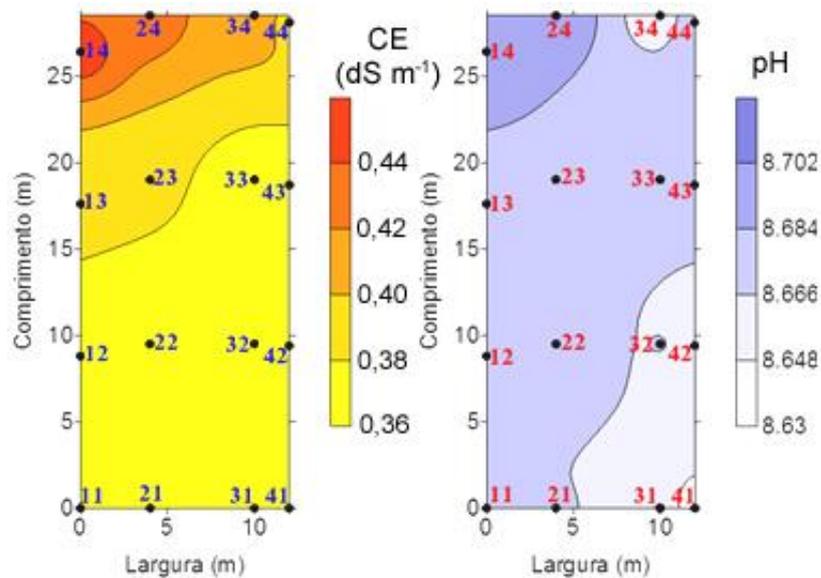


Figura 34 Distribuição da condutividade elétrica (ppm) e pH na aplicação de hipoclorito de cálcio nos gotejadores avaliados na subunidade dois.

A distribuição do hipoclorito de cálcio possivelmente apresentou uma característica de lavagem do sistema, onde as maiores concentrações foram constatadas nos finais de linha, onde o fertilizante ainda era encontrado na tubulação.

## 5.7 Análise da água utilizada na irrigação

Uma amostra da água de irrigação foi recolhida para análise de alguns fatores que podem causar entupimento nos gotejadores. A Tabela 23 apresenta estes valores com as devidas classificações quanto ao risco de entupimento.

Tabela 23 Classificação dos fatores de risco ao entupimento

Fator de entupimento	Amostra de água	Fator de risco	
		a	b
Sólidos suspensos (mg L <sup>-1</sup> )	12	baixo	baixo
Condutividade elétrica (dS m <sup>-1</sup> )	0,122	baixo	baixo
pH	6,75	n.c.	baixo
Ferro (mg L <sup>-1</sup> )	124	alto	alto
Manganês (mg L <sup>-1</sup> )	12	alto	alto
Cálcio (mg L <sup>-1</sup> )	68	baixo	n.c.
Magnésio (mg L <sup>-1</sup> )	133	alto	n.c.

Nota: (a) Classificação segundo Capra e Scicolone (1998); (b) Classificação segundo Nakayama e Bucks (1991); n.c. não classificado.

A água utilizada para irrigação apresentou alto risco de entupimento para os fatores ferro, manganês e magnésio, os quais podem causar incrustações nas tubulações e gotejadores com o tempo de uso do sistema.

## 5.8 Análise da capacidade de processo

A Tabela 24 apresenta os valores calculados de índice de capacidade de processo nos dois sistemas avaliados.

Tabela 24 Capacidade de processo do CUC nos sistemas avaliados

Subunidade	Índice	CUC (%)			
		60-70	70-80	80-90	90-100
1	C <sub>P</sub>	4,79	4,79	4,79	4,79
	C <sub>PL</sub>	34,53	24,95	15,37	5,79
	C <sub>PU</sub>	-24,95	-15,37	-5,79	3,79
	C <sub>PK</sub>	-24,95	-15,37	-5,79	3,79
2	C <sub>P</sub>	3,12	3,12	3,12	3,12
	C <sub>PL</sub>	21,23	14,99	8,75	2,51
	C <sub>PU</sub>	-14,99	-8,75	-2,51	3,73
	C <sub>PK</sub>	-14,99	-8,75	-2,51	2,51

Como os coeficientes de uniformidade de Christiansen apresentaram normalidade dos dados, foi calculada a capacidade de processo para cada subunidade. Podemos ver que o C<sub>P</sub> das unidades um e dois foi acima de 1,25 e 1,45, respectivamente, mostrando que o processo é adequado, conforme classificação apresentada na Tabela 4. As faixas de variação do CUC utilizadas foram todas com diferença de 10% entre si, por isso os valores

de  $C_P$  resultaram sempre no mesmo valor, variando de 60 a 100%.

O  $C_{PL}$  representa os valores acima da linha superior específica de controle, e valores altos para o CUC implicam em ótimo funcionamento do sistema. Como os valores de CUC forma acima de 90%, a única faixa de uniformidade considerável é de 90 a 100%, na qual o processo ainda foi adequado para os dois sistemas.

O  $C_{PU}$  apresenta valores negativos de 60 a 90% porque considera os dados abaixo da linha inferior específica de controle, sendo que os dados são todos maiores que 90%, a faixa de uniformidade que melhor explica os dados é de 90 a 100%, dos quais o processo foi adequado. O desempenho do processo  $C_{PK}$  foi adequado a 90-100% de CUC.

A Tabela 25 mostra os valores de capacidade de processo do CUD dos sistemas avaliados.

Tabela 25 Capacidade de processo do CUD nos sistemas avaliados

Subunidade	Índice	CUD (%)			
		50-62	62-75	75-90	90-100
1	$C_P$	0,26	0,28	0,33	0,22
	$C_{PL}$	0,77	0,38	-0,05	-0,55
	$C_{PU}$	-0,74	0,1	1,06	1,71
	$C_{PK}$	-0,74	0,1	-0,05	0,55
2	$C_P$	0,51	0,56	0,64	0,43
	$C_{PL}$	2,13	1,40	0,61	-0,30
	$C_{PU}$	-3,36	-1,46	0,72	2,17
	$C_{PK}$	-3,36	-1,46	0,61	-0,30

Para o CUD, os dados não apresentaram normalidade, mas, mesmo assim, foram utilizados para análise sem transformação. O maior valor de  $C_P$  foi encontrado na faixa de 75-90% para as duas subunidades. Isso ocorre porque a maior concentração dos dados encontra-se nessa faixa; porém, o processo não é adequado por estar abaixo dos valores tabelados de classificação. Neste caso, há problemas no processo que devem ser analisados e corrigidos com a finalidade de não causarem aumento de custo e perda de qualidade no processo. As possibilidades, neste caso, são de manter os dados na faixa de 75-90% ou de melhorá-los para acima de 90%, seguindo o ciclo PDCA.

Mesmo que os dados não apresentem um processo capaz, ainda pode-se fazer um estudo dos resultados a fim de analisar as faixas que mostraram melhor rendimento no processo. O  $C_{PL}$  foi melhor nas faixas de 50-62%, sendo inadequado na subunidade um, mas adequado na dois e até aceitável na faixa de 62-75% da subunidade dois.

O  $C_{PU}$  foi aceitável na faixa de 75-90% da subunidade um e adequado na faixa de 90-100% da subunidade dois, pois a maioria dos dados apresentaram valores abaixo destas faixas de uniformidade. Nenhum dos desempenhos de processo calculados foi aceitável.

A Tabela 26 apresenta os dados de capacidade de processo do CV nos sistemas avaliados.

Tabela 26 Capacidade de processo do CV nas subunidades avaliadas

Subunidade	Índice	CV			
		0,15-0,11	0,11-0,07	0,07-0,05	0,05-0,00
1	C <sub>P</sub>	0,1	0,1	0,05	0,13
	C <sub>PL</sub>	0,73	0,93	1,04	1,29
	C <sub>PU</sub>	-0,57	-0,79	-1,01	-1,12
	C <sub>PK</sub>	-0,57	-0,79	-1,01	-1,12
2	C <sub>P</sub>	0,15	0,15	0,07	0,18
	C <sub>PL</sub>	0,22	0,56	0,72	1,14
	C <sub>PU</sub>	0,09	-0,17	-0,43	-0,57
	C <sub>PK</sub>	0,09	-0,17	-0,43	-0,57

Para o CV de dados não normais, a capacidade de processo foi inadequada e os dados de C<sub>P</sub> foram próximos de zero, devido aos dados estarem longe das faixas especificadas de CV. O processo mostrou-se aceitável com P<sub>PL</sub> na subunidade um de 0,07-0,05 e adequado a 0,05-0,00, sendo aceitável na subunidade dois.

Como o CV é melhor se apresentar menores valores, o C<sub>PL</sub> torna-se um índice sem grande importância para o processo. Já o C<sub>PU</sub> teria mais importância, ao contrário de C<sub>UC</sub> e C<sub>UD</sub>, não mostrando ser um processo aceitável. O desempenho de processo foi inadequado para o coeficiente de variação deste sistema, com limites de especificação retirados da classificação segundo ASABE (R2008), conforme Tabela 3.

## 5.9 Análise de comparação dos filtros

Os filtros apresentaram influência na vazão e pressão do sistema. Os resíduos foram secados e pesados e são mostrados na Tabela 27.

Tabela 27 Peso dos resíduos coletados nos filtros

Subunidade	Filtro	Tratamento	Peso dos resíduos (g)
1	Tela	T1	0,292
		T2	0,401
		T3a	0,426
		T4	0,404
2	Discos	T1	0,535
		T2	3,258
		T3b	1,857
		T4	0,544

A subunidade um mostra os resultados do filtro de tela, que, comparado ao filtro de discos (subunidade dois), foi menos eficaz por não reter tanta impureza e por ter um gotejador entupido completamente na subunidade um, fato não ocorrido na subunidade dois.

De acordo com resultados apresentados por Capra e Scicolone (2004), o filtro de cascalhos seria a melhor opção para proteger os emissores, e o filtro de discos apresentou desempenho semelhante ao filtro de cascalhos, sendo uma opção mais barata. Filtros de tela não foram úteis no uso de água residuária para irrigação.

A pressão medida antes do filtro mostra o entupimento do filtro pelo aumento da pressão. A Figura 35 mostra os dados de pressão antes do filtro nas subunidades.

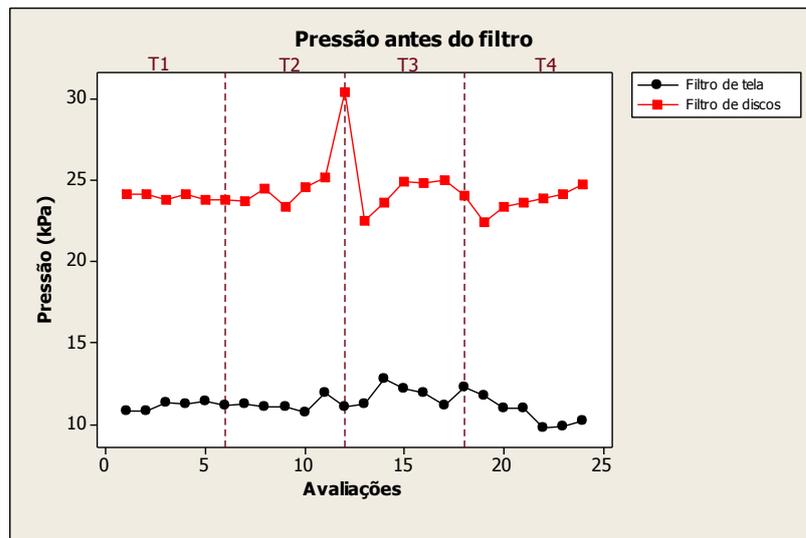


Figura 35 Gráfico de pressão medida antes do filtro nas subunidades.

Verifica-se que na avaliação 12, ao fim de T2, o peso do resíduo na subunidade dois foi o maior, e a pressão também seguiu essa tendência; porém, essa mesma tendência não é observada na subunidade um, na qual foi influenciada mais por fatores não avaliados, como vazamentos do sistema.

## 6 CONCLUSÕES

1. Concluiu-se que a quimigação à base de ácido fosfórico e hipoclorito de cálcio apresentou influência nos resíduos que causam entupimento dos emissores, sendo mais eficiente o hipoclorito de cálcio, por apresentar menor grau de entupimento que o ácido fosfórico.

2. O uso de fertilizantes na irrigação por gotejamento apresenta alto índice de entupimento, e o uso de produtos para limpeza destes resíduos pode agravar a situação dos emissores, pois os resíduos desprendidos tendem a cair nos gotejadores, bloqueando a passagem de água.

3. O filtro de discos apresentou melhores resultados quando comparado ao filtro de tela, pois reteve mais resíduos que não danificaram o sistema de irrigação.

## **7 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O sistema existente apresentou coeficiente de determinação da equação potencial de vazão versus pressão de 0,68, e, o sistema novo, 0,97.

O CUD mostrou ser melhor para avaliação da uniformidade do que o CUC, sendo mais rigoroso quanto à variação de vazão no sistema.

Os gráficos de controle ajudam na observação do sistema ao longo de seu uso, sendo possível analisar o ponto exato do problema e tentar corrigi-lo para melhor eficiência do sistema.

Recomenda-se fazer lavagem do sistema somente com água após o uso da quimigação e abrir os finais de linha para os resíduos saírem, antes que ocorra a sedimentação, deixando os emissores obstruídos.

## 8 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: informe 2012. Ed. Especial. 215 p. Brasília: ANA, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Cuidando das águas**: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília: ANA, 154 p. 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?List=ccb75a86-bd5a-4853-8c76-cc46b7dc89a1&ID=11918>>. Acesso em: 10 dez. 2013.

ALMEIDA, C. D. G. C.; SILVA, S. S.; ALBUQUERQUE FILHO, J. A. C.; SILVA, E. F. F. Susceptibilidade ao entupimento de microtubos gotejadores sob fertirrigação. **Revista Irriga**, Botucatu-SP, v. 18, n. 3, p. 454-470, julho-setembro, 2013.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS – ASABE. **Design and installation of micro irrigation systems**. St. Joseph, 6 p. R2008.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS – ASABE. **Field evaluation of micro irrigation systems**. St. Joseph, p. 792-7. 1996.

ANDRADE, C. L. T.; BRITO, R. A. L. **Métodos de irrigação e quimigação**. Circular Técnica 86. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Sete Lagoas-MG, Dez. 2006.

BASSO, L. H.; BRAGA, M. B.; CALGARO, M.; SIMÕES, W. L.; PINTO, J. M. **Cultivo da videira**. Embrapa Semiárido. Sistemas de produção 1- 2ª edição. Ago, 2010.

BELLO, M. A. J.; MARTÍNEZ, F.; BOU, V.; BARTOLÍN, H. Analysis, assessment, and improvement of fertilizer distribution in pressure irrigation systems. **Irrigation Science**, v.29, p.45-53. 2011.

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

BRITO, R. A. L. **Cultivo do milho – quimigação**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Comunicado Técnico 57. Sete Lagoas-MG. Dez, 2002.

BRITO, R. A. L.; Couto, L.; Santana, D. P. Agricultura irrigada, recursos hídricos e produção de alimentos. **Revista ITEM**, n.55, p.64-69, 2002.

BRITO, R. R.; GOMES, E. R.; LUDWIG, R. Uso da água na irrigação. **VIII Fórum Ambiental da Alta Paulista**, Tupã-SP, v. 8, n.2, p. 373-383, 2012.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v.68, p.135-149, 2004.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 70, p.355-365, 1998.

CARARO, D. C.; BOTREL, T. A. Uso de cloração e ar comprimido no controle do entupimento de gotejadores ocasionado pela aplicação de água residuária. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal-SP, v.27, n.2, p.336-345. 2007.

COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; OLIVEIRA, S. A. **Agricultura irrigada**: eficiência de irrigação e de uso da água. **Revista Bahia Agrícola**, Salvador-BH, v.7, n.1, 2005.

CHRISTOFIDIS, D. **Água**: gênese, gênero e sustentabilidade alimentar no Brasil. 2006. Brasília-DF.

DETOMINI, E. R.; DOURADO NETO, D. **Aplicação de fertilizantes via pivô central**: um exemplo direcionado à produção de pastagens. Série Produtor Rural, n. especial, p. 24, Piracicaba-SP, 2007.

DOMINGOS FILHO, M.; MACHADO, E. J.; SOUZA, E. M.; BRAGA, A. S. Comparação de localizadoras apicais. O método do gráfico de controle. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo-SP, v. 30, n. 1, p. 62-75. 2012.

ELLA, V. B.; REYES, M. R.; YODER, R. Effect of hydraulic head and slope on water distribution uniformity of a low cost drip irrigation system. **American Society of Agricultural and Biological Engineers. Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph-USA, v. 25, p. 349-356. 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Fruticultura irrigada**. Brasília: Embrapa, 2011. 274 p.

FAVETTA, G.M.; BOTREL, T.A. Uniformidade de sistemas de irrigação localizada: validação de equações. **Revista Scientia Agrícola**, Piracicaba-SP, v.58, n.2, p.427-430, abr./jun. 2001.

FREIRE FILHO, J. J. P.; SANTOS, M. S.; BARROS, H. M. M.; LIMA, V. L. A. Uso da fertirrigação na cultura da uva na região do sub-médio vale do São Francisco no nordeste do Brasil. **Ciência e Técnica Vitivinícola**, Dois Portos, v. 23. p. 75-80. 2008.

GONÇALVES, P. U.; WERNER, L. Comparação dos índices de capacidade do processo para distribuições não-normais. **Revista Gestão e Produção**, São Carlos-SP, v. 16, n. 1, p. 121-132, jan-mar. 2009.

HERNANDEZ, F. B. T. **Irrigação na figueira**. Palestra proferida em 1999. Disponível em: <[http://www.agr.feis.unesp.br/figo\\_txt.htm](http://www.agr.feis.unesp.br/figo_txt.htm)>. Acesso em: 12 dez. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário – Agricultura familiar 2006**. Set. 2009.

INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA. **Controle Estatístico do Processo (CEP)**. Manual de Referência. São Paulo. 2005.

JUSTI, A. L.; VILAS BOAS, M. A.; SAMPAIO, S. C. Índice de capacidade do processo na avaliação da irrigação por aspersão. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal-SP, v. 30, n. 2, p. 264-270, mar/abr, 2010.

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and Trickle Irrigation**. AVI Book, New York, USA, 652 p., 1990.

LIU, H. S.; LI, Y. K. Flow characteristics in energy dissipation units of labyrinth path in the drip irrigation emitters with DPIV technology. **Journal of Hydrodynamics**, v.21, n.6, p.137-145, 2009.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação Princípios e Métodos**. 2ª edição. p 226-227, Viçosa-MG, 2007.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to Statistical Quality Control**. 6<sup>th</sup> edition. p. 21; 23-24; 29; 354. Arizona. USA. 2009.

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

OLIVEIRA, M. V. A. M.; VILLAS BÔAS, R. L. Uniformidade de distribuição do potássio e do nitrogênio em sistema de irrigação por gotejamento. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal-SP, v.28, n.1, p.95-103, 2008.

OLIVEIRA, S. H. F. Manejo do mofo branco. **Revista DBO Agrotecnologia**, São Paulo-SP, v. 2, n. 4, mai-jun. 2005.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Disponível em: <<http://www.un.org/apps/news/story.asp?NewsID=45165&Cr=population&Cr1=#.UnzdSXDzwn>>. Acesso em: 10 dez. 2013.

PAZ, V.P.S; TEODORO, R.E.F.; MENDONÇA, F.C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v.4, n.3, p.465-473, 2000.

REIS, E. F.; BARROS, F. M.; CAMPANHARO, M.; PEZZOPANE, J. E. M. Avaliação do desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa-MG, v.13, n.2, 74-81, Abr./Jun.; 2005.

RIBEIRO, P. A. A.; COELHO, R. D.; TEIXEIRA, M. B. **Entupimento de tubos gotejadores convencionais com aplicação de cloreto de potássio (branco e vermelho) via duas qualidades de água**. *Revista de Engenharia Agrícola*, v.30, n.2, p.279-287, Jaboticabal-SP. 2010.

RIBEIRO, T. A. P.; AIROLDI, R. P. S.; PATERNIANI, J. E. S.; SILVA, M. J. M. Variação dos parâmetros físicos, químicos e biológicos da água em um sistema de irrigação localizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 9. n. 3. p. 295-301. 2005.

RIBEIRO, T.A.P.; PATERNIANI, J.E.S.; COLETTI, C. Chemical treatment to 50nclog dripper irrigation systems due to biological Problems. **Scientia Agricola Journal**, Piracicaba, v.64, n.1, p.1-9, January/February 2008.

SANTOS, L. C.; ZOCOLER, J. L.; JUSTI, A. L.; SILVA, A. O.; CORREIA, J. S. Estudo comparativo da taxa de injeção em injetor do tipo venturi com e sem válvula de retenção. **Revista Irriga**. Edição especial, Botucatu-SP, p. 145-154. 2012.

SILVA, C. A.; SILVA, C. J. Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça-SP, v. 4, n. 8, dez. 2005.

SOARES, J. M.; NASCIMENTO, T. Distribuição do sistema radicular da videira em vertissolo sob irrigação localizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v.2, n.2, p.142-147, 1998.

SOUZA, J. A. A.; CORDEIRO, E. A.; COSTA, E. L. Aplicação de hipoclorito de sódio para recuperação de gotejadores entupidos em irrigação com água ferruginosa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v.10, n.1, p.5-9, 2006.

TEIXEIRA, M. B.; MELO, R. F.; COELHO, R. D.; RETTORE NETO, O.; RIBEIRO, P. A. A. Tratamento para desentupimento de gotejadores convencionais. **Revista Irriga**, Botucatu-SP, v. 13, n. 2, p. 235-248. abr-jun. 2008.

TESTEZLAF, R. Filtros de areia aplicados à irrigação localizada: teoria e prática. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.3, p.604-613, jul./set. 2008.

VENEGAS, F.; SAAD, J. C. C. Fungigação no controle do mofo branco e produtividade do feijoeiro em condições de cerrado brasileiro. **Revista Irriga**, Botucatu-SP, v. 15, n. 2, p. 159-172. abr-jun. 2010.

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

**APÊNDICES**

## Apêndice 1 Tabela de dados coletados.

## a) Subunidade um.

Tratamento	CUC (%)	CUD (%)	CV (%)	Vazão média (L/h)	Pressão 1 (cmCA)	Pressão 2 (cmCA)	Pressão 3 (cmCA)	Pressão média (cmCA)	Temperatura (°C)
1	96,03	77,45	0,22	0,470	110,0	78,0	85,0	91,0	20,0
	96,68	81,25	0,20	0,479	110,0	79,0	95,0	94,7	20,5
	95,23	76,05	0,24	0,498	115,5	83,5	67,5	88,8	23,0
	96,43	78,37	0,19	0,507	115,0	83,0	78,0	92,0	22,0
	96,35	78,49	0,19	0,497	116,5	83,0	107,0	102,2	22,0
	96,55	78,61	0,20	0,484	114,0	82,5	115,0	103,8	21,0
2	95,85	80,69	0,20	0,493	115,0	85,5	75,5	92,0	21,0
	96,08	80,15	0,19	0,510	113,0	81,0	94,0	96,0	21,0
	95,64	79,23	0,21	0,504	113,0	84,0	86,0	94,3	22,0
	95,04	79,01	0,23	0,513	109,0	80,0	77,0	88,7	21,0
	95,77	73,21	0,26	0,455	122,0	84,0	52,0	86,0	25,0
	96,18	77,70	0,22	0,469	113,0	86,0	50,0	83,0	25,0
3a	96,66	74,58	0,23	0,426	115,0	74,0	61,0	83,3	19,0
	96,61	77,74	0,21	0,452	130,0	84,0	65,0	93,0	23,0
	96,22	76,01	0,21	0,466	124,0	75,0	64,0	87,7	23,0
	96,37	76,41	0,22	0,452	122,0	74,0	67,0	87,7	25,0
	96,46	74,40	0,23	0,440	114,0	63,0	56,0	77,7	25,0
	96,23	62,66	0,29	0,412	125,0	91,0	40,0	85,3	26,4
4	95,72	60,19	0,34	0,432	120,0	96,0	46,0	87,3	25,0
	95,79	59,82	0,35	0,426	112,0	83,0	52,0	82,3	25,0
	95,72	58,06	0,35	0,420	112,0	86,0	56,0	84,7	25,0
	95,71	54,89	0,37	0,399	100,0	78,0	31,0	69,7	25,0
	95,69	57,04	0,36	0,405	101,0	76,0	35,0	70,7	25,0
	95,97	59,31	0,36	0,405	104,0	78,0	40,0	74,0	25,0

Nota: (Pressão 1) referente à pressão antes do filtro; (Pressão 2) referente à pressão depois do filtro e antes do primeiro gotejador; (Pressão 3) referente à pressão depois do último gotejador.

## b) Subunidade dois.

Tratamento	CUC (%)	CUD (%)	CV (%)	Vazão média (L/h)	Pressão 1 (cmCA)	Pressão 2 (cmCA)	Pressão 3 (cmCA)	Pressão média (cmCA)	Temperatura (°C)
1	92,33	84,02	0,14	0,791	246,0	222,0	134,0	200,7	28,0
	93,16	83,33	0,13	0,794	246,0	218,0	134,0	199,3	27,0
	93,42	83,56	0,13	0,785	243,0	217,0	138,0	199,3	27,0
	93,11	85,43	0,13	0,795	246,0	218,0	143,0	202,3	26,0
	93,13	83,50	0,14	0,780	243,0	217,0	138,0	199,3	25,0
	92,70	81,26	0,15	0,764	243,0	211,0	137,0	197,0	25,0
2	92,89	84,13	0,14	0,770	242,0	218,0	150,0	203,3	21,0
	94,29	86,69	0,12	0,780	250,0	228,0	141,0	206,3	20,0
	94,76	87,42	0,12	0,740	238,0	208,0	143,0	196,3	20,0
	94,12	85,00	0,14	0,702	251,0	178,0	128,0	185,7	20,5
	95,97	82,79	0,15	0,569	257,0	109,0	101,0	155,7	19,0
	96,14	60,43	0,32	0,385	310,0	46,0	78,0	144,7	20,0
3b	94,39	87,12	0,12	0,737	230,0	213,0	141,0	194,7	25,4
	92,99	80,33	0,16	0,728	241,0	202,0	136,0	193,0	26,0
	94,75	88,09	0,11	0,753	254,0	220,0	138,0	204,0	27,0
	94,86	88,05	0,11	0,756	253,0	204,0	150,0	202,3	28,0
	94,84	89,58	0,11	0,752	255,0	210,0	150,0	205,0	29,0
	95,29	89,83	0,10	0,745	245,0	206,0	144,0	198,3	29,5
4	94,29	86,27	0,13	0,724	229,0	211,0	137,0	192,3	20,0
	93,81	84,93	0,14	0,742	238,0	213,0	143,0	198,0	20,0
	93,79	84,84	0,14	0,750	241,0	216,0	149,0	202,0	21,0
	93,75	85,62	0,14	0,759	244,0	214,0	146,0	201,3	21,7
	93,94	87,01	0,13	0,762	246,0	219,0	139,0	201,3	22,0
	93,87	85,71	0,13	0,772	252,0	221,0	150,0	207,7	22,0

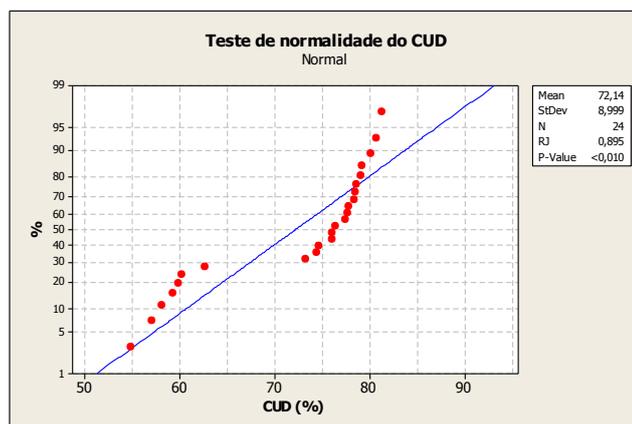
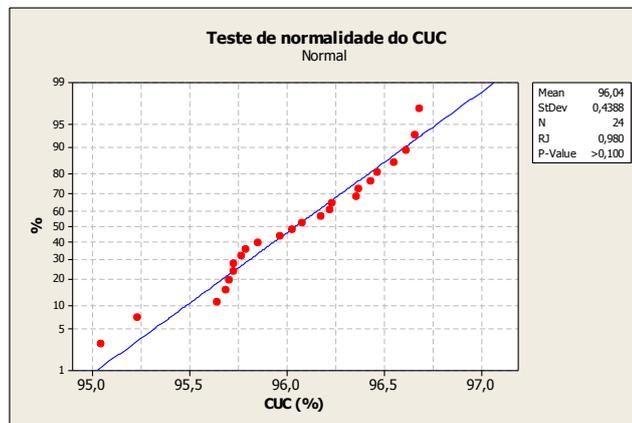
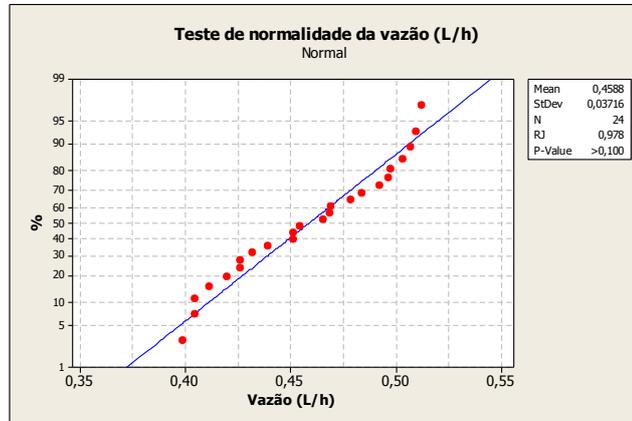
Nota: (Pressão 1) referente à pressão antes do filtro; (Pressão 2) referente à pressão depois do filtro e antes do primeiro gotejador; (Pressão 3) referente à pressão depois do último gotejador.

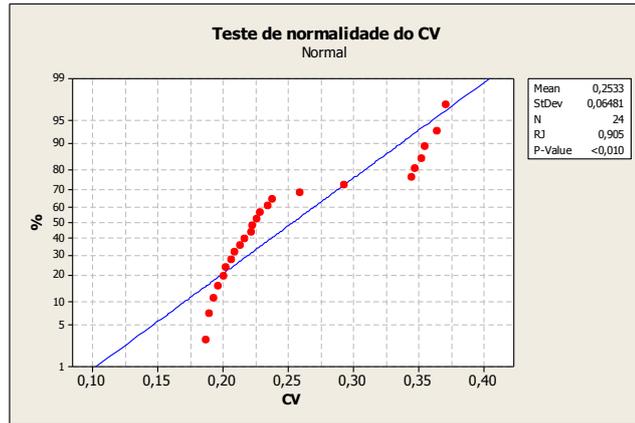
## c) pH e condutividade.

Subunidade um			Subunidade dois		
Tratamento	Condutividade (ppm)	pH	Tratamento	Condutividade (ppm)	pH
2	124,92	8,15	2	1675,13	8,14
	296,10	8,21		1814,00	8,30
	892,67	8,22		2545,76	8,40
	992,68	8,24		3005,41	8,50
	610,18	8,31		3690,47	8,44
	611,95	8,28		2638,69	8,35
3a	187,07	4,32	3b	384,31	8,79
	621,56	2,19		224,75	8,68
	1333,14	1,96		204,19	8,71
	1413,79	1,83		164,88	8,60
	989,10	1,95		161,69	8,64
	146,77	3,17		133,00	8,60

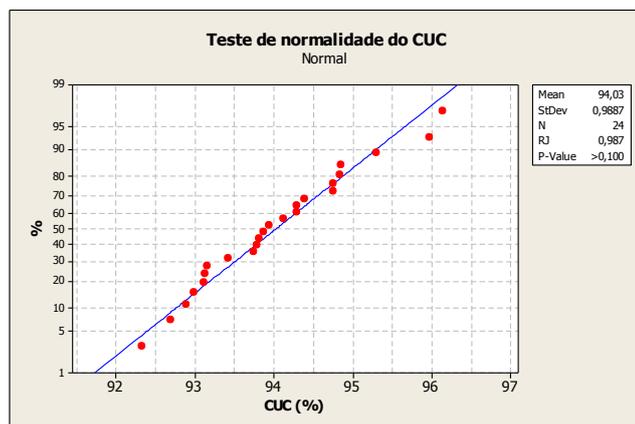
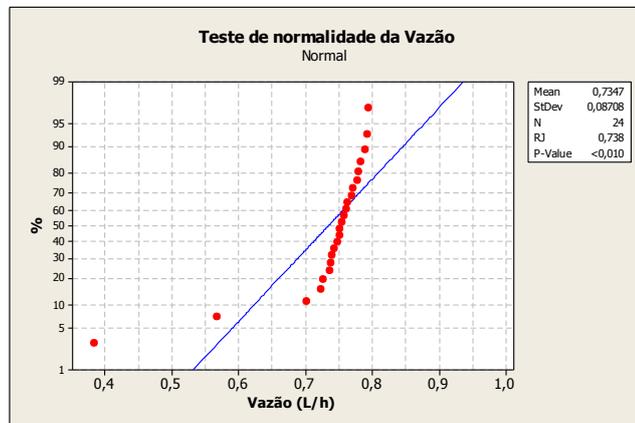
Apêndice 2 Testes de normalidade.

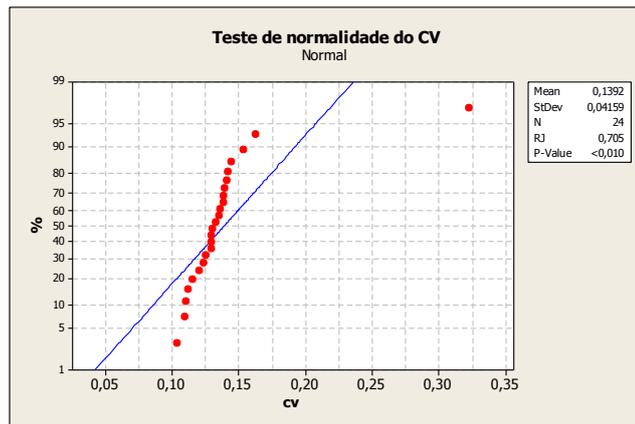
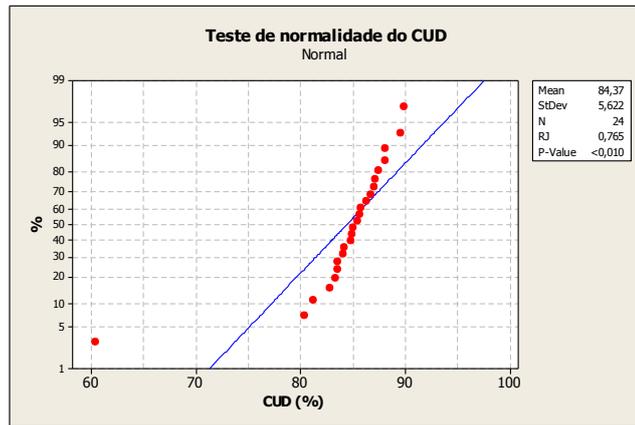
- a) Teste de normalidade Shapiro Wilk a 10% de significância da vazão, CUC, CUD e CV na subunidade um.



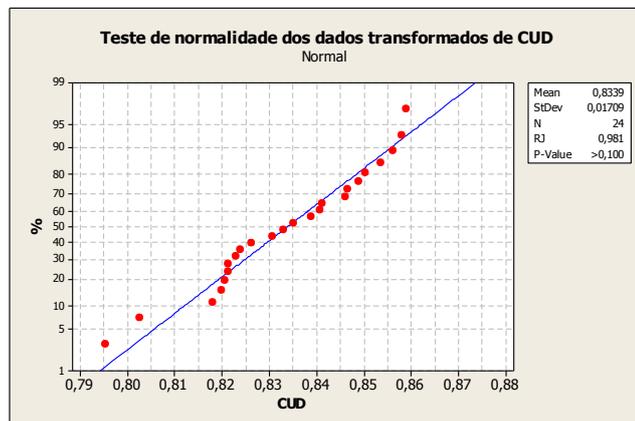


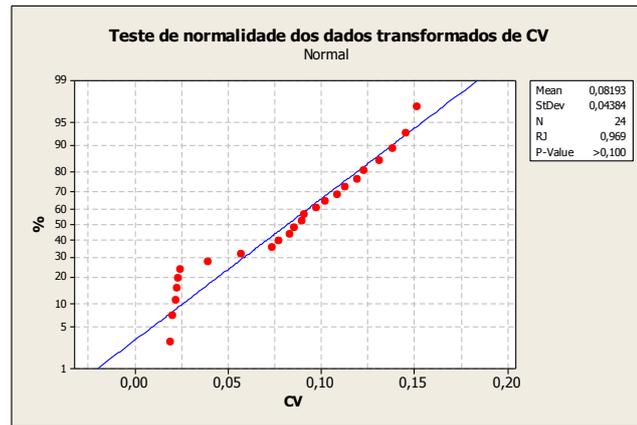
- b) Teste de normalidade Shapiro Wilk a 10% de significância da vazão, CUC, CUD e CV na subunidade dois.



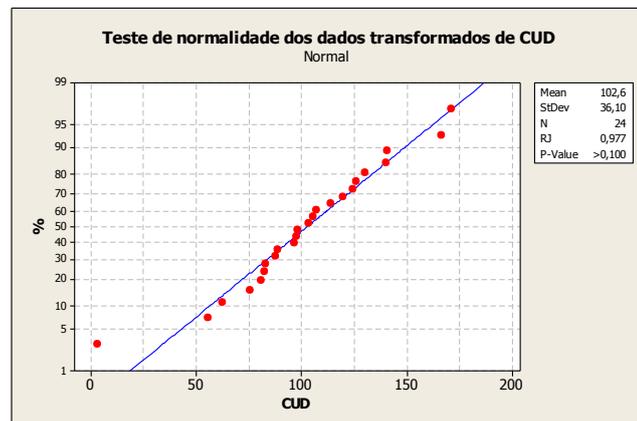
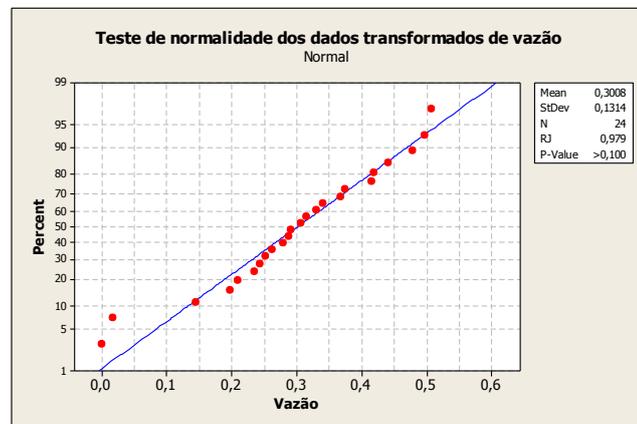


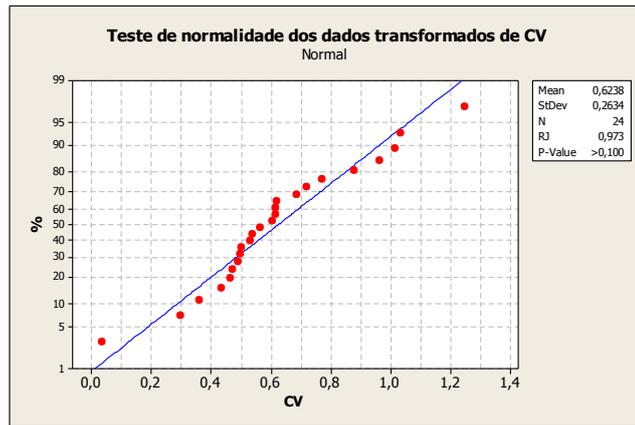
- c) Teste de normalidade Shapiro Wilk a 10% de significância dos dados transformados pelo método Box Cox do CUD ( $\lambda=4,5$ ) e CV ( $\lambda=-3$ ) na subunidade um.





- d) Teste de normalidade Shapiro Wilk a 10% de significância dos dados transformados pelo método Box Cox da vazão ( $\lambda=5$ ;  $\lambda^*=2$ ), CUD ( $\lambda=5$ ;  $\lambda^*=2$ ) e CV ( $\lambda=-5$ ;  $\lambda^*=0,63$ ) na subunidade dois.





\*Nota: ( $\lambda=x$ ;  $\lambda^*=y$ ) significa que os dados transformados necessitaram de mais outra transformação para atingir a normalidade.

Apêndice 3 Fotos do experimento.

a) Montagem do experimento.



b) Registro de gaveta controlador de entrada do produto químico.



c) Divisão das subunidades.



d) Coletores.



e) Filtro de tela com resíduo.



f) Filtro de discos com resíduo.



g) Fertilizante cloreto de potássio e concentração de potássio.



h) Químico utilizado como limpador de tubulação hipoclorito de cálcio.



i) Fertilizante utilizado como limpador de tubulação ácido fosfórico.



Apêndice 4 Análise de solo do campo experimental.



## Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola

Laudo de Análises de Solos Nº 262080

Cliente: Diego Domingos Della Justina - CASCAVEL/PR	Entrada 05/08/2013	Análise 07/08/2013
<b>Identificação do Proprietário</b>		

Nome: NEIVALDO ZUANAZZI

Unidade:

Município/UF: Salto do Lontra/PR

Matricula Coop.

### Identificação da Amostra

Nº Amostra: 01

Nº Cliente:

Propriedade:

Nº Perímetro:

Prof (cm): 00-20

Localidade: COMUNIDADE DE LINHA BOIRA

Nº Lotes:

Local Amostra:

Nº Matricula:

### Resultados das Análises de Solos

Macronutrientes			Micronutrientes		Granulometria						
P mg/dm <sup>3</sup>	K <sup>+</sup> cmol/dm <sup>3</sup>	C g/dm <sup>3</sup>	Cu mg/dm <sup>3</sup>	Zn mg/dm <sup>3</sup>	Argila %	Silte %	Areias %				
1,20	0,17	15,97	17,17	5,45	ANS	ANS	ANS				
Baixo	Médio	Médio	Alto	Alto	Classificação conforme Instrução Normativa nº 10, de 14 de junho de 2005, seção 01, página 12; e alterada pela Instrução Normativa nº 12 através de retificação publicada no DOU de 17 de junho de 2005, seção 01, página 06.						
Ca <sup>2+</sup> cmol/dm <sup>3</sup>	Mg <sup>2+</sup> cmol/dm <sup>3</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup> cmol/dm <sup>3</sup>	Fe mg/dm <sup>3</sup>	Mn mg/dm <sup>3</sup>							
2,67	1,03	6,21	35,00	76,00							
Médio	Alto		Médio	Alto							
pH	Al <sup>3+</sup> cmol/dm <sup>3</sup>	S-(SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup> mg/dm <sup>3</sup>	B mg/dm <sup>3</sup>	Este Laboratório participa da Comissão Estadual de Laboratórios de Análises Agrícolas - C.E.L.A. - Pr							
4,70	0,08	3,28	0,11								
Baixo	Baixo	Baixo	Baixo								
Saturações		Complexo de Trocas			Índices das Relações						
SB cmol/dm <sup>3</sup>	T cmol/dm <sup>3</sup>	V <sub>1</sub> %	Al <sup>3+</sup> %	Ca <sup>2+</sup> %	Mg <sup>2+</sup> %	K <sup>+</sup> %	Ca <sup>2+</sup> /Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup> /K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup> /K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup> K <sup>+</sup>	K <sup>+</sup> √Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>
3,87	10,08	38,39	2,03	26,49	10,22	1,69	2,59	15,71	6,06	21,76	0,09
Médio	Baixo	Baixo	M.Baixo	Baixo	Médio	Baixo	Médio	Médio	Médio	Médio	Baixo

SB - Soma das Bases      V<sub>1</sub> - Saturação das Bases      P, K<sup>+</sup>, Cu, Zn, Fe e Mn - Mehlich I - Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> - KCl - C - Bicromato      pH - Cloreto de Cálcio  
T - Capacidade de Trocas Catiônicas      ANS - Análise Não Solicitada      H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup> - Tampão SMP - S(SO<sub>4</sub>)<sup>2-</sup> - Fosfato Monocálcico      B - Cloreto de Bário

Tatiane Dalla Nora Montecelli  
Eng. Agr. CREA PR - 74537/D

Volmir Sergio Marchioro  
Eng. Agr. CREA PR - 68442/D

Cascavel, 7 de agosto de 2013

Jonas Pedro Dolfini Paranzini  
Eng. Agr. CREA PR - 98828/D

Alfredo Vieira Montecelli  
Eng. Agr. CREA PR - 82164/D

Andréia Póster  
Bacharel em Química  
CRO-4X 09101144

Este laudo representa amostra encaminhada pelo proprietário

BR 467 - Km 98 - Caixa Postal 301 - CEP 85.813-450 - Cascavel - PR - Fone (45) 3321-3532 - Fax (45) 3321-3510 - E-mail: solos@coodetec.com.br