



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Roberto Castro Nascimento

**DINÂMICA DA OBSTRUÇÃO DE EMISSORES TIPO  
GOTEJADOR ORIUNDOS DO VALE DO SÃO FRANCISCO**

JUAZEIRO-BA  
2015

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Roberto Castro Nascimento

**DINÂMICA DA OBSTRUÇÃO DE EMISSORES TIPO  
GOTEJADOR ORIUNDOS DO VALE DO SÃO FRANCISCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola da UNIVASF, Campus Juazeiro, em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Robinson Fernandes de Medeiros

JUAZEIRO-BA  
2015

Nascimento, Roberto Castro  
N244d Dinâmica da obstrução de emissores tipo gotejador oriundos do vale do São Francisco / Roberto Castro Nascimento. -- Juazeiro, 2015.  
59 f. : il. ; 29 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro, Juazeiro-BA, 2015.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Róbinson Fernandes de Medeiros.

1. Irrigação agrícola. 2. Método de Gotejamento. 3. Precipitados químicos.  
I. Título. II. Medeiros, Pedro Róbinson Fernandes. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 631.587

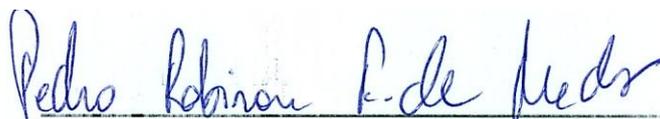
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

Roberto Castro Nascimento

**DINÂMICA DA OBSTRUÇÃO DE EMISSORES TIPO  
GOTEJADOR ORIUNDOS DO VALE DO SÃO FRANCISCO**

Dissertação apresentada ao curso de Pós Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre



Pedro Robinson Fernandes de Medeiros, Prof. D.Sc.  
Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF



Ligia Borges Marinho, Prof<sup>a</sup>. D.Sc.  
UNEB –DTCS



Clóvis Manoel Carvalho Ramos, Prof. D.Sc.  
Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF

Juazeiro, 10 de Junho de 2015

A meu irmão “in memoriam” Renalito Castro Nascimento que contribuiu de forma bastante significativa na minha formação como cidadão e as minhas filhas Renata Cristina e Roberta Cristina que me serviram de inspiração nesta conquista.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, que possibilitou mais uma conquista em minha vida, me dando força e sabedoria para a realização deste sonho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Pedro Róbinson Fernandes de Medeiros pela orientação, companheirismo, amizade e, sobretudo, confiança concedida durante o período de desenvolvimento da pesquisa, colocando-se sempre à disposição para auxiliar-me no que fosse necessário, graças a você foi possível a realização desta conquista.

A minha família, em particular aos meus pais, irmãos e irmãs pela torcida e incentivo ao longo desta caminhada.

A minha esposa Cátia Cristina pela paciência e confiança, quando por vezes deixei a só para conduzir a educação de nossas filhas Roberta Cristina e Renata Cristina.

Agradeço aos amigos do curso de Pós-Graduação pela oportunidade de compartilhar momentos de alegria e dificuldades. Em especial, Henrique, Cintia, Saulo, Willis, Victor e Sheila.

Aos amigos que contribuíram veementemente com o desenvolvimento da pesquisa: Elton, Gabiane, Dayane e Priscila.

À Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) e ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade oferecida para a realização do curso de Mestrado.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

NASCIMENTO, R.C. **Dinâmica da obstrução de emissores tipo gotejador oriundos do vale do São Francisco**. 2015. 59f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Vale do São Francisco. UNIVASF. Juazeiro– BA.

## RESUMO

A qualidade da água é de suma importância para o sucesso dos sistemas irrigados, porém, tal característica, geralmente não é levada em consideração no momento da elaboração de projetos, devendo existir um planejamento efetivo que assegure o uso racional das águas de acordo com a sua qualidade, sendo que o uso de fontes alternativas de água de menor qualidade torna-se cada vez mais importante. Assim, o presente trabalho tem como objetivo quantificar o problema de obstrução em gotejadores convencionais utilizados na cultura da uva, por cinco anos de uso e submetidos a irrigação com água salina proveniente de poço profundo da região semiárida. O experimento foi realizado no Laboratório de Irrigação da Universidade Federal do Vale do São Francisco/UNIVASF, em Juazeiro/BA. A bancada utilizada para os testes de vazões tinham 4 calhas de 12 m de comprimento cada, onde utilizava um sistema de reutilização de água. Os gotejadores testados foram intercalados linearmente e submetidos a 380 horas de irrigação utilizando água salina. Os parâmetros avaliados foram: Vazão Total, Média e Relativa; Coeficiente de Variação de Vazão; Grau de Entupimento; Coeficientes de Uniformidade de Christiansen; de Hart; Estatístico e de Distribuição. A análise estatística utilizada foi a descritiva completa por medidas de tendência central e por medidas de dispersão de dados. E como principais resultados, emissores com 5 anos de uso com fertirrigação na cultura da uva encontravam-se com 9% em grau de obstrução, e após o uso da água salina este índice aumentou para 18%, caracterizando um elevado entupimento em relação ao uso da mesma.

**Palavras-chave:** irrigação localizada. entupimento. precipitados químicos.

NASCIMENTO, R.C. **Dynamic obstruction emitting type drip coming from the São Francisco Valley**. 2015. 59f. Dissertation (Master in Agricultural Engineering), Federal University of São Francisco Valley. UNIVASF. Juazeiro – BA.

### **ABSTRACT**

Water quality is of paramount importance to the success of irrigated systems, however, this feature is generally not taken into account in the project design and there should be an effective planning to ensure the rational use of water according to your quality, and the use of alternative sources of low quality water becomes increasingly important. Thus, this study aims to quantify the problem of obstruction in conventional emitters used in growing grapes for five years of use and submitted to irrigation with saline water from deep well of semiarid region. The experiment was conducted in the Irrigation Laboratory at the Federal University of São Francisco Valley / UNIVASF in Juazeiro / BA. The flow bench used for testing had four rails 12 m in length each, which used a drip água.Os reuse system were tested linearly interleaved and subjected to 380 hours of using saline irrigation water. The parameters evaluated were: Total Flow, Medium and Relative; Flow coefficient of variation; Degree of blockage; Uniformity coefficients Christiansen; Hart; Statistical and Distribution. The statistical analysis used was the descriptive complete by measures of central tendency and data dispersion measures. And as main results, issuers with 5 years of working with fertigation in grape culture met up with 9% degree of obstruction, and after the use of saline water this ratio increased to 18%, featuring a high clogging regarding the use of the same.

**Keywords:** drip irrigation.clogging. chemical precipitates.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	11
2.1. Irrigação localizada por gotejamento.....	11
2.2. Qualidade da água para irrigação .....	13
2.3. Obstruções em emissores do tipo gotejador .....	14
3. CAPÍTULO I: OBSTRUÇÃO DE GOTEJADORES USADOS NO CULTIVO DE VIDEIRAS.....	16
4. CAPÍTULO II: DINÂMICA DA OBSTRUÇÃO DE EMISSORES USADOS NA CULTURA DA UVA UTILIZANDO ÁGUA SALINA DE POÇO SUBTERRANEO .....	31
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	50

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por água, devido, principalmente, ao crescimento populacional e às atividades produtivas decorrentes, somado à degradação ambiental dos corpos hídricos, tem criado um cenário de escassez hídrica em várias regiões do mundo. Esta realidade de escassez vem provocando mudanças de hábitos da população, em especial na atividade de agricultura irrigada, que vem buscando a redução no consumo de água e a otimização dos sistemas de irrigação (SILVA et al., 2012).

A área irrigada no planeta, embora correspondente a apenas 17% da área total cultivada, responde por aproximadamente 40% da produção agrícola mundial, indicando a importância da irrigação na produção de alimentos e fibras (PAULINO et al., 2011).

No Brasil, a área irrigada corresponde a 4,5 milhões de hectares, onde a irrigação localizada, com destaque para a irrigação por gotejamento, representa 8% deste total. Nos últimos anos, tem se verificado um aumento anual na área irrigada brasileira de 150.000 hectares (PAULINO et al., 2011).

A aplicação da irrigação, principalmente onde a precipitação pluviométrica não é suficiente para suprir as necessidades hídricas das plantas, torna-se fator extremamente importante para o desenvolvimento da atividade agrícola em tais regiões.

Contudo, devido o quadro de escassez hídrica em muitas regiões do planeta, observa-se preferência por sistema de irrigação localizada, devido a economia de água e energia, além de possibilitar a automação e a fertirrigação (Silva et al., 2012).

Sistemas de irrigação bem elaborados permitem que se alcancem uniformidades de aplicações de água acima de 90%, o que evidencia um bom índice. Contudo, com o uso do sistema de irrigação localizada, o entupimento de emissores devido a presença de partículas físicas, químicas e/ou biológicas acarreta uma redução na uniformidade de emissão (UE) e um aumento no coeficiente de variação de fabricação (CVf). De acordo com Resende; Coelho e Piedade (2000), um acréscimo no CVf está associado ao processo de obstrução, sendo que a qualidade da água usada na irrigação a principal responsável, uma vez que o problema não afeta igualmente todos os emissores de uma instalação, inserindo um

novo fator de variação não previsto, que se somam às originadas pela variação de fabricação e dimensionamento hidráulico.

A obstrução de emissores está diretamente relacionada à qualidade da água de irrigação que inclui fatores como: quantidade de partícula suspensa, composição química e população microbiana (COELHO, 2007). Vale destacar que, por mais que a qualidade da água de irrigação seja excelente, as obstruções sempre aparecem, necessitando fazer o tratamento preventivo, para que o sistema possa distribuí-la com a maior uniformidade possível, durante um longo espaço de tempo.

Sendo que para superar a escassez de água no mundo, o uso de água de qualidade inferior, tais como água subterrânea salina, é amplamente divulgado a partir da realização de pesquisas científicas (FEIKEMA et al., 2010; VERMA et al., 2012).

De acordo Malash et al.,(2008); Meiri et al.(1992), a irrigação por gotejamento é amplamente considerada como a mais promissora para uso com água salina. Assim, este trabalho tem como objetivo quantificar a problemática da obstrução em gotejadores convencionais utilizados na cultura da uva, por cinco anos de uso e submetidos a irrigação com água salina proveniente de poço profundo da região semiárida.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Irrigação localizada por gotejamento**

A irrigação localizada é um método de irrigação no qual a água é aplicada diretamente na região radicular da planta, com pequena intensidade e alta frequência, para conservar a umidade próxima da ideal, ou seja, da capacidade de campo (BERNARDO et al., 2006). Sendo que este método de irrigação o que mais se desenvolveu nas últimas décadas devido, sobretudo, à maneira racional e econômica do uso da água, bem como do aumento da produção.

Segundo Lopes (2006) tem-se demonstrado, com o passar dos anos, uma predisposição crescente na adoção de sistemas localizados no mundo. Podendo ser creditado, além da facilidade de utilização do equipamento e da resposta das culturas a estes sistemas, à maior economia de água, energia e mão-de-obra.

De acordo com Christofidis (2002), no Brasil, a irrigação localizada começou a ser utilizada no final da década de 70, ocupando, em 1999, uma área estimada de 212 mil hectares, correspondendo a 8 % do total da área irrigada, sendo que a incorporação de áreas irrigadas pelo método de irrigação localizada elevou de 112.730 ha em 1996 a 248.414 ha em 2001, resultando num crescimento relativo de 4,24% para 7,88% de toda a superfície irrigada no país para o período mencionado.

Conforme Saraiva e Souza (2012), o método de irrigação localizado vem sendo empregado de forma mais expressiva nas regiões Sudeste e Nordeste do país.

O menor consumo de água e energia, obtidos com os sistemas de irrigação localizada, está associado a aplicação pontual de água através de emissores (gotejadores ou microaspersores) que operam com baixas pressões de serviço. Desta maneira, os gotejadores apresentam-se como peças fundamentais dentro do sistema de irrigação por gotejamento (BORSSOI et al., 2012).

Entre as principais vantagens deste tipo de irrigação estão: a maior eficiência do uso da água, maior produtividade, maior eficiência na adubação, maior eficiência no controle fitossanitário, não interfere nas práticas culturais, adapta-se aos diferentes tipos de solos e topografia, pode ser praticado com água salina e, uma vez instalado, necessita pouca mão de obra (BERNARDO, 2008).

A irrigação pode economizar significativo volume de água, pela elevação da eficiência de irrigação e pela prática do reúso, reduzindo a captação de águas

naturais. A avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento superficial e subsuperficial foi estudada por pesquisadores, como VALE et al. (2013), tendo-se observado que um dos principais problemas é a obstrução dos emissores e a influência na uniformidade de distribuição de água, que está relacionada a vários fatores, especialmente a qualidade da água, geometria dos orifícios, sistema de filtragem e sensibilidade do emissor à temperatura e variações de pressão.

A uniformidade do sistema de gotejamento é um parâmetro importante na concepção, manutenção e gestão de sistemas de irrigação por gotejamento (BARRAGAN et al., 2010). Uma instalação comercial de sistema de irrigação por gotejamento com baixa uniformidade é obrigado a produzir uma distribuição não uniforme de fertilizante dentro da unidade de irrigação (LI et al., 2007) porque a fertirrigação na estação é completada através do sistema de irrigação por gotejamento via irrigação. No entanto, os custos iniciais de instalação e custos de manutenção dos sistemas geralmente aumentam com valores de uniformidade (WILDE et al., 2009).

O crescimento do Brasil no cenário mundial tem demandado mudanças no sentido de que seus produtos sejam competitivos. Este fato se deve, ao despertar dos agricultores rurais para a tecnologia da irrigação, e ela toma impulso principalmente no semiárido brasileiro, onde a necessidade hídrica é acentuada e se tem investido, sobretudo na irrigação localizada (VICENTE, 2005).

A adoção da irrigação localizada vem possibilitando que o semiárido brasileiro se estabeleça como uma região altamente tecnificada e especializada em produção de frutas e hortaliças de boa qualidade, com destaque para o Vale do São Francisco, cuja produção é destinada à exportação (LOIOLA; SOUZA, 2001).

Com o avanço da utilização da irrigação localizada no Brasil, começam a vir a público, problemas de perda de desempenho de equipamentos em regiões do País onde existem águas com elevados teores de carbonatos (LEITE, 1995; MAIA; MORAIS; OLIVEIRA, 2001; SILVA JÚNIOR et al., 2003).

Embora os sistemas de irrigação por gotejamento avançado ofereçam os maiores ganhos de eficiência, os sistemas também foram redesenhados para irrigação mais simples e de menor escala com pouca redução dos benefícios observados (POLAK e YODER, 2006; POSTEL et al., 2001; WOLTERING et al., 2011).

## 2.2. Qualidade da água para irrigação

A qualidade da água é reflexo do efeito combinado de muitos processos que ocorrem ao longo do curso de água (PETERS; MEYBECK, 2000). De acordo com Lima (2001), a qualidade da água não se apresenta apenas pelas suas características físicas e químicas, mas pela qualidade de todo o funcionamento do ecossistema.

A qualidade da água para a irrigação está relacionada com a operação do equipamento utilizado no sistema adotado. Pela análise da água é possível saber se a água utilizada pode danificar o sistema de irrigação ou não. Um exemplo é a corrosão e a incrustação que são prejudiciais aos equipamentos de irrigação e por esse motivo a análise da água pode definir o material de fabricação dos equipamentos e o sistema de irrigação utilizado (TELLES, DOMINGUES; 2006).

Em virtude da limitação qualitativa e quantitativa de água, diversos pesquisadores apontam para importantes disputas locais e mesmo conflitos entre nações, considerando que o consumo mundial duplica a cada 20 anos (PAZ; TEODORO; MENDONÇA, 2000). Segundo Rebouças (1999), a guerra da água é um conflito de milhares de anos que tende a se expandir para além das suas áreas tradicionais, Oriente Médio e Norte da África, sobretudo porque muito pouco vem sendo feito para evitá-la. É de conhecimento notório que a pouca quantidade de água no semiárido nordestino é um problema que exige uma resposta prioritária, pois a sua origem está relacionada à baixa pluviosidade e irregularidade das chuvas da região e uma estrutura geológica que não permite armazenar satisfatoriamente água no subsolo, o que interfere, até mesmo, no regime dos corpos hídricos. Em virtude do solo, a água apresenta, na maioria das vezes, salinidade elevada com teores de cloreto acima de 1.000 mg/L, o que a torna imprópria ao consumo humano (SUASSUNA, 1999).

A demanda por recursos hídricos especialmente para a indústria, agricultura e abastecimento urbano, aumentou significativamente nos últimos anos. Assim, o uso de fontes alternativas de água de menor qualidade, torna-se cada vez mais importante, tanto do ponto de vista científico, como para seus gestores, para adequar à irrigação de culturas agrícolas e de áreas paisagísticas, como para outros usos (SANDRI et al., 2014). Sendo que de acordo o WWAP (2009) prevê que 47% da população mundial viverão em regiões com alta escassez de água até 2030.

Uma alternativa para esta situação seria misturar águas de boa e de qualidade inferior, e assim, possibilitar sua disponibilização para as culturas. Tal mistura pode permitir a irrigação de áreas maiores, contudo, não diminui o total dos sais; por esta razão, tornam-se imprescindíveis investigações sobre o uso racional das águas salobras (DIAS et al., 2007).

No sistema de irrigação localizada a qualidade da água é de fundamental importância para uma perfeita operação e manutenção do mesmo. A água a ser utilizada neste sistema, deve ser cuidadosamente analisada com a intenção de avaliar qualquer problema potencial de entupimento (HASSAN,1999).

### **2.3. Obstruções em emissores do tipo gotejador**

Considerando a possibilidade de obstrução dos emissores, Hernandez e Petinari (1998) afirmam que a qualidade da água é fundamental para o desempenho dos emissores, devido principalmente, a pequena dimensão do orifício que pode ser obstruído pela presença de agentes físicos, químicos e/ou biológicos na água de irrigação.

De acordo com Ribeiro et al. (2005), para que o sistema apresente um bom desempenho, é necessário levar em consideração alguns fatores tais como: a qualidade da água, a presença de partículas inorgânicas (areia, limo e argila) e orgânicas (algas, sementes de ervas, insetos, bactérias, fungos, protozoários, etc.).

Segundo Dosoretz et al. (2011), o processo de entupimento dos dispositivos de irrigação estão relacionados a quatro mecanismos: (1) obstrução dos estreitos espaços de passagens do fluxo devido à presença de sólidos suspensos - físico, (2) concentração elevada de alguns sais causam precipitação - química, (3) a adsorção hidrofóbica devido à interação de macromoléculas orgânicas solúveis ou coloidal, e (4) formação de biofilme e crescimento das algas - biológica. Portanto a formação do entupimento se deve à ação conjunta de mais de um desses mecanismos.

O entupimento pode ser parcial (reduzindo a uniformidade de aplicação) ou total (interrompendo por completo o funcionamento do sistema), ambos causando sérios problemas às culturas, devido à deficiência hídrica (CARARO et al., 2004). As obstruções provocam variação na vazão nos gotejadores e como consequência reduz a uniformidade de distribuição de água e também de fertilizantes (LÓPEZ et al., 1997).

Como decorrência da obstrução, temos a redução na uniformidade de emissão, a qual reduz a eficiência de aplicação de água e ainda leva a uma perda de controle sobre o manejo da água, e em casos extremos inutilização do sistema (HERNANDEZ; PETINARI, 1998).

Entupimentos por fatores físicos podem ser causados por partículas inorgânicas em suspensão (areia, silte, argila) e por partículas orgânicas (fragmentos vegetais e animais, bactérias, algas, larvas, etc.). Areia, silte e outros resíduos introduzidos nas linhas laterais, durante a instalação, podem causar problemas e devem ser retirados do sistema, antes da colocação dos emissores nas mangueiras.

O entupimento químico geralmente resulta da precipitação de sais de cálcio, magnésio, ferro ou manganês, desenvolvendo incrustações que podem obstruir, parcial ou completamente, o emissor. A formação de precipitados destes sais está condicionada à sua concentração, ao pH e à temperatura. O aumento da temperatura ou do pH reduz a solubilidade dos sais de cálcio em água, resultando na precipitação dos mesmos (PITTS et al., 1990).

A salinidade da água utilizada na irrigação não colabora para o entupimento de gotejadores, com exceção, quando os íons dissolvidos interajam entre si para formar precipitados ou promover o crescimento de limo. A precipitação de carbonato de cálcio é comum em regiões áridas (GILBERT e FORD, 1986).

Os elementos químicos ferro, manganês e enxofre são solúveis em estado reduzido, mas, quando oxidados, precipitam e podem entupir os gotejadores. A oxidação pode ser produzida por bactérias ou pelo contato com o ar ou com oxidantes contidos na água (PIZARRO, 1990).

Substâncias químicas dissolvidas na água, como carbonato e sulfato de cálcio em altas concentrações, podem precipitar e eventualmente formar incrustações, restringindo o movimento da água. Situação similar pode ocorrer com hidróxidos ou sulfetos de ferro e manganês (BUCKS et al., 1979).

O entupimento biológico dos emissores causados pelo acúmulo de biofilme na via é um dos mais graves problemas associados com os sistemas de irrigação por gotejamento usando efluente de esgoto (YAN et al., 2010; LI et al., 2013.), Porque o entupimento pode degradar seriamente o desempenho do sistema (LI et al., 2009).

### 3. CAPÍTULO I

## OBSTRUÇÃO DE GOTEJADORES USADOS NO CULTIVO DE VIDEIRAS

**Resumo**– Os sistemas de irrigação localizada de alta frequência são os mais afetados pela obstrução decorrente de fatores físicos e químicos, tendo influencia direta no desempenho hidráulico dos mesmos. Este trabalho objetivou avaliar a obstrução de emissores em um sistema de irrigação por gotejamento utilizados na cultura da uva, por 5 anos de uso, e submetidos a irrigação com água do rio São Francisco com tratamento e sem tratamento. O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Irrigação da Universidade Federal do Vale do São Francisco/UNIVASF, em Juazeiro/BA. A bancada utilizada para os testes de vazões continham 4 calhas de 12 m de comprimento cada, onde utilizava um sistema de reutilização de água. Os gotejadores testados foram intercalados linearmente. Para o respectivo estudo, foram contabilizados dois períodos de irrigação de 360 h cada. Os parâmetros avaliados foram as variações da vazão, os coeficientes de uniformidade de aplicação e distribuição. E como principais resultados temos que os emissores com cinco anos de uso na fertirrigação apresentaram inicialmente (logo após a chegada do equipamento ao laboratório) um grau de entupimento de 10%; que com o primeiro período de testes, utilizando a água do rio com tratamento, o grau de entupimento permaneceu inalterado; porém após o segundo período de teste (irrigação de 360 h) o entupimento aumentou para 11,5%, devido a dois fatores: o rearranjo de partículas no interior dos emissores e/ou o incremento de uma carga de partículas solidas oriundas da água do rio São Francisco sem tratamento. Os coeficientes de uniformidade de aplicação de água não apresentaram valores baixos, o que indica uma boa capacidade do equipamento em manter níveis elevados de distribuição de água.

**Palavras-chave:** grau de entupimento; irrigação localizada; uniformidade de aplicação

## USED DRIPPERS OBSTRUCTION IN THE VINES GROWING

**Abstract**– High frequency localized irrigation systems are the most affected by obstruction due to physical and chemical factors having direct influence on the hydraulic performance of the same. This study evaluated the obstruction of issuers in a drip irrigation system used in growing grapes for 5 years of use, and submitted to irrigation with water from the São Francisco River with treatment and untreated. The study was conducted in the Irrigation Laboratory at the Federal University of São Francisco Valley / UNIVASF in Juazeiro / BA. The bench used for flow testing contained four tracks of 12 m in length each, which used a tested drippers each. Os reuse system were interspersed linearly. For their study, they were accounted for two

periods of 360 h each irrigation. We evaluated the changes in flow, the application and distribution uniformity coefficients. And as main results have to issuers with five years of use in fertigation had initially (after the arrival of the equipment to the laboratory) a degree of 10% clogging; that the first testing period, using river water with treatment, the degree of fouling remained unchanged; But after the second test period (h irrigation 360) clogging increased to 11.5% due to two factors: particle rearrangement within the transmitter and / or the increase of solids load of the water originating from the São Francisco River without treatment. The water application uniformity coefficient showed no low values, indicating a good capacity equipment to maintain high levels of water distribution.

**Keywords:** degree of clogging; localized irrigation; application uniformity

## INTRODUÇÃO

Sistemas de irrigação localizada são alternativas tecnológicas promissoras, tanto no uso da água como na aplicação de fertilizantes solúveis, assumindo importância econômica e ambiental na atividade agrícola (BORSSOI et al., 2012).. Este método de irrigação, conforme Brauer (2010), tem sido o que mais se desenvolveu nas últimas décadas devido à maneira racional e econômica do uso da água.

Um dos sistemas de irrigação mais apropriados e em notável expansão é o sistema de irrigação por gotejamento, que apresenta vantagens como economia de água e energia, possibilidade de automação e de fertirrigação (SOUSA et al., 2011).

Nos sistemas localizados por gotejamento a água é aplicada pontualmente em gotas através de orifícios de diâmetro muito reduzido (gotejadores). Esse método de irrigação tem um consumo menor de energia e necessita de menos mão-de-obra para o manejo do sistema, como também precisa de sistemas de filtragem para seu correto funcionamento podendo apresentar valores de eficiência de uniformidade de aplicação de água da ordem de 85 a 95% (MANTOVANI et al., 2009).

Porém, com o avanço da utilização da irrigação localizada, começam a ser observados problemas de perda de desempenho de equipamentos devido à presença de ferro, sólidos físicos e químicos em suspensão (principalmente), reduzindo a área de condução de água, aumentando a perda de carga,

consequentemente reduzindo a vazão dos emissores, podendo, em alguns casos, até mesmo inviabilizar o sistema de irrigação como um todo (SILVA et al., 2011).

De acordo com Almeida (2010), os sistemas de irrigação localizada de alta frequência, como por gotejamento, são os mais afetados por obstrução. Conforme Silva et al. (2012), entre os diversos fatores que podem afetar a uniformidade de distribuição da água nos sistemas de irrigação localizada, estão a pressão de serviço do emissor, a velocidade da água na tubulação, o alinhamento da linha lateral e o entupimento dos emissores. Este último fator implica no comprometimento da eficiência do sistema, visto que há variações na uniformidade de fluxo do emissor e na hidráulica da linha lateral.

Conforme CARVALHO et al. (2015), as obstruções químicas geralmente resultam da precipitação de sais de cálcio, magnésio, ferro ou manganês, formando incrustações que podem bloquear, parcial ou completamente a passagem da água. As obstruções biológicas são causadas por pequenos organismos aquáticos, como larvas, algas, fungos e bactérias que passam através dos filtros e se desenvolvem formando colônias no interior das tubulações, cujo crescimento é favorecido por condições de repouso, iluminação, temperatura e nutrientes, como nitrogênio e fósforo.

Silva e Silva (2005) citam que a desuniformidade de vazão nos gotejadores e microaspersores é atribuída principalmente à falta de manutenção, sistemas mal dimensionados, ou que estão em uso há longos períodos de tempo. Dessa forma, enquanto uma fração de área é irrigada em excesso, em outra ocorre o déficit de água, não atendendo as necessidades hídricas das plantas.

Para maximizar a eficiência do sistema de irrigação é preciso avaliar o desempenho hidráulico, a uniformidade de distribuição de água pelos emissores e realizar ajustes necessários na operação e no manejo (Caitano et al., 2011). Visto que, de acordo com Nascimento et al. (2009), a eficiência e a uniformidade dos sistemas de irrigação localizada são afetadas pela variação de vazão dos emissores, ao longo da linha lateral, principalmente por fatores internos, como: variação de pressão por perda de carga e por desnível geométrico, obstrução de emissores e variações de temperatura da água ao longo da linha de emissão.

Para os agricultores do Pólo Petrolina/Juazeiro, o sistema de irrigação mais utilizado é a microaspersão (74,19%) enquanto gotejamento (8,06%) e aspersor (8,06%) apresentam baixos índices de preferência de uso (SOBER, 2004). Porém,

estas estatísticas podem variar em um pequeno espaço de tempo, principalmente devido a evolução das tecnologias empregadas nos sistemas por gotejamento, que visam reduzir tais problemas de obstrução e aumentar a eficiência do uso da água.

Embora a irrigação do semiárido nordestino, principalmente no Pólo Petrolina-Juazeiro, seja um dos principais responsáveis pelo aumento da produtividade agrícola nacional e melhoria da qualidade dos frutos, vários produtores desta região apresentam problemas em conduzir adequadamente a irrigação, seja por despreparo ou por falta de orientação (SOBER, 2004). Desta forma, as culturas não atingem sua máxima produtividade, além dos custos com a irrigação se tornarem mais elevados (XAVIER et al., 2006).

Diante do exposto é observada a importância de adotar medidas que envolvam o manejo adequado do sistema de irrigação por gotejamento, a fim de que seja obtida a máxima eficiência do mesmo, como a seleção do emissor mais adequado, limpeza dos filtros, monitoramento da solução e tipos de sais fertirrigantes, sempre na busca da prevenção dos problemas de obstrução de emissores. Sendo necessário a transmissão de informações aos produtores e acompanhamento da implantação desse tipo de sistema na região do Vale do São Francisco, tendo em vista o seu grande potencial produtivo com a técnica da irrigação.

. O objetivo desse trabalho foi avaliar e caracterizar a problemática da obstrução de emissores do tipo gotejador utilizados na cultura da uva com fertirrigação, por 5 anos de uso, e submetidos a irrigação com água do rio São Francisco com tratamento e sem tratamento, a partir dos parâmetros de variação da vazão, os coeficientes de uniformidade de aplicação e distribuição, com dois períodos de irrigação de 360 h cada.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Irrigação da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) do Campus de Juazeiro-BA, situado geograficamente nas coordenadas 9°24'40,9"S e 40°30'48,3"W. O clima do município é o semiárido, com temperatura média de 24,2°C e pluviosidade média anual de 427 mm, concentrada nos meses de novembro a março (PMJ, 2014).

As hipóteses testadas foram, tubos gotejadores, após 5 anos na fertirrigação de videira tem um grau elevado de obstrução que se justifique a substituição do material; a água do rio São Francisco com e sem tratamento tem a capacidade de potencializar a obstrução dos gotejadores novos e usados.

Para avaliação do sistema foi montada uma bancada de testes de emissores utilizados na irrigação localizada por gotejamento, com capacidade para quatro linhas laterais simultaneamente. O bombeamento das águas na bancada foi realizado por meio de um conjunto motobomba hidráulico de 1cv, acoplado a uma caixa d'água de 500 L. Após a bomba, foi instalado um filtro de disco, com 120 mesh. A aferição da pressão de serviço foi realizada por meio de um manômetro metálico tipo Bourdon, instalado na saída da bomba. As calhas de suporte e recolhimento das vazões oriundas dos gotejadores foi confeccionada cortando longitudinalmente um tubo de pvc de 100 mm de diâmetro ao meio, com o comprimento de 12 m. O sistema apresentava um ciclo fechado em relação a água utilizada no teste.

As características físico-químicas e microbiológicas das águas utilizadas estão apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Resultado da análise físico/química e microbiológica da água tratada e da água do Rio São Francisco.

Parâmetros físicos	Unidade	Água tratada	Água bruta
Sólidos suspensos	mg/L	9,33	6,67
Sólidos dissolvidos	mg/L	387,2	149,7
Cor	uH	9,4	14,5
Turbidez	UNT	1,0	2,0
Condutividade elétrica	dS/m	0,07	0,07
Parâmetros químicos			
pH	--	7,5	7,9
Dureza total	mg/L	19,0	20,0

Os tubos gotejadores testados foram: tubos oriundos da fertirrigação, por cinco anos de uso, de uma área de videira cultivadas no Distrito Irrigado N4 do projeto Senador Nilo Coelho, município de Petrolina-PE, em que o mesmo foi substituído por recomendação técnica da empresa fornecedora; A nível de comparação, foi adquirido tubos gotejadores novos de mesma marca e modelo dos usados. Na linha lateral foram selecionados 10 emissores para serem avaliados.

Os tubos gotejadores eram *in line*, em mangueira de polietileno de 16 mm de diâmetro, com espaçamento entre emissores de 0,5 m, o emissor foi do tipo bob com vazão nominal de 4 L h<sup>-1</sup> com duas saídas de ponto de emissão. A linha lateral testada tinha 12 m de comprimento e os emissores testados (10) foram intercalados linearmente.

Os gotejadores foram submetidos a dois períodos de 360 h de irrigação, o primeiro período utilizou-se água do abastecimento público na Universidade Federal do Vale do São Francisco - Campus Juazeiro/BA, do sistema do SAAE afim de identificação inicial do problema de obstrução; e um segundo período utilizando a água do rio São Francisco sem tratamento. Em ambos os períodos os tubos gotejadores (usados e novos), operaram com 150 kPa de pressão de serviço.

As vazões dos gotejadores foram determinadas por bateria de pluviômetros de massa conhecida, dispostos abaixo dos emissores, que retinham a água durante o período de 3 min, sendo os pesos medidos com balança eletrônica (precisão 0,001 g). As leituras de vazão eram efetuadas em intervalos de 48 h.

Foram analisados os seguintes parâmetros: Vazão média dos emissores ( $\bar{q}$ ), Vazão Relativa (Qr), Desvio Padrão ( $\sigma$ ), Coeficiente de Variação de Vazão (CVq), Grau de Entupimento (GE) de acordo com (SOUZA et. al., 2012). Como também foram avaliados os indicadores de uniformidade de distribuição de água que expressam a variabilidade da lâmina de irrigação aplicada, o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC); Coeficiente de Uniformidade de Hart (CUH); Coeficiente de Uniformidade Estatística (CUE) e da Uniformidade de Distribuição (UD), conforme SANTOS et al. (2012).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Do ponto de vista prático, a vazão média de emissores pode ser considerada bom parâmetro para avaliar alterações quanto ao funcionamento adequado de emissores, seja devido a problemas de entupimento, seja a outros problemas (MÉLO, 2007).

Analisando a Tabela 2 cujo tempo de irrigação foi de 360 h, com relação a vazão média dos gotejadores utilizando água do rio São Francisco com tratamento e água do rio São Francisco sem tratamento ocorreu uma ligeira redução de 0,66% e 0,67% respectivamente. Já com relação a vazão relativa houve um aumento de 1,33% para água do rio com tratamento e uma redução de 0,72% para água do rio sem tratamento. Este aumento que ocorreu com a vazão relativa para água do rio com tratamento corrobora com Barros et al. (2009), onde trabalharam com emissores autocompensantes e não autocompensantes e observaram aumento da vazão durante o processo de entupimento, em ambos os tipos.

**Tabela 2.** Parâmetros médios para emissores usados durante 5 anos na cultura da uva referentes à Vazão ( $\bar{q}$  - L h<sup>-1</sup>), Vazão Relativa (Qr - %), Desvio Padrão ( $\sigma$  - L h<sup>-1</sup>) e Coeficiente de Variação de Vazão (CVq - %), utilizando água do Rio São Francisco com tratamento e sem tratamento.

Parâmetros	Tempo de Irrigação (h)				
	180		360		
	Água com Tratamento		Água sem Tratamento		
$\bar{q}$	3,06	3,04	3,02	3,03	3,00
Qr	97,9	99,2	98,4	98,8	97,7
$\sigma$	0,04	0,04	0,04	0,06	0,05
CVq	0,97	1,16	1,36	1,90	1,51

Quanto ao desvio padrão não ocorreu variação para água do rio com tratamento e para água do rio sem tratamento manteve-se praticamente estável ao longo das 360 horas trabalhadas.

Quanto ao coeficiente de variação de vazão (CVq), os valores encontrados foram baixos, evidenciando uma baixa variação nos dados de vazão. As tabelas 2 e 3 apresentam os dados referentes à  $\bar{q}$ , Qr,  $\sigma$  e CVq avaliados no experimento para os emissores usados e novos, respectivamente.

**Tabela 3.** Parâmetros médios para emissores novos referentes à Vazão ( $\bar{q}$  - L h<sup>-1</sup>), Vazão Relativa (Qr - %), Desvio Padrão ( $\sigma$  - L h<sup>-1</sup>) e Coeficiente de variação de Vazão (CVq - %), utilizando água do Rio São Francisco com tratamento e sem tratamento.

Parâmetros	Tempo de Irrigação (h)				
	180		360		
	Água com Tratamento		Água sem Tratamento		
$\bar{q}$	3,40	3,38	3,35	3,34	3,31
Qr	100	99,2	98,3	97,9	97,0
$\sigma$	0,06	0,05	0,06	0,06	0,05
CVq	1,59	1,54	1,66	1,94	1,51

A vazão média dos emissores não diferiram muito entre as águas que foram avaliadas tanto para emissores novos como para os usados. Para os emissores usados a redução da vazão foi de cerca de 1,3% quando avaliou-se a água do rio em relação à tratada e nos novos houve redução de quase 2,11%. Embora tenha ocorrido uma pequena redução da vazão relativa ao longo das horas avaliadas, esta apresentou valores considerados excelentes de acordo com Solomon (1979), ou seja, valores com variação de vazão relativa menor que 3%, mostrando que as vazões medidas em relação à inicial não diferiram muito durante o período avaliado.

Quanto ao coeficiente de variação os valores foram baixos, evidenciando a pouca variação nos dados da vazão. Para a água tratada o CVq foi menor que para a água do Rio São Francisco para todos os emissores avaliados, o que implica dizer que a vazão se manteve mais uniforme quando foi utilizada água tratada. Comparando o CVq dos emissores novos e usados, observa-se que este foi maior para os emissores novos.

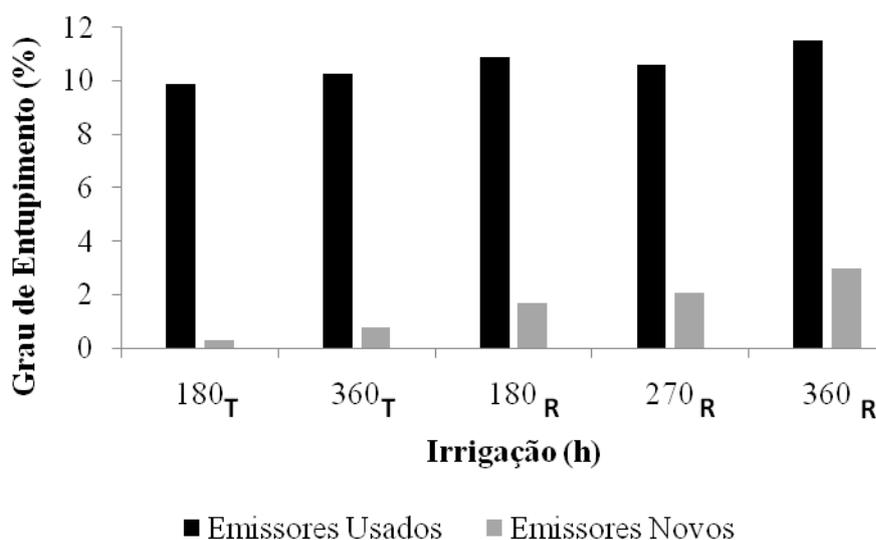
A uniformidade de distribuição ou aplicação, de forma geral, expressa o grau de uniformização das lâminas de irrigação. Esses coeficientes indicam como a água está sendo distribuída na lavoura e se as plantas estão recebendo quantidades equivalentes de água (LOPES, 2006). Todos os coeficientes apresentaram resultados excelentes (Tabela 4). Observa-se que os valores do CUD foram inferiores aos do CUC, segundo Souza et al. (2005), o CUD é um coeficiente sensível a pequenas variações na distribuição de água de um sistema de irrigação.

**Tabela 4.** Dados médios de CUC, CUD, CUH e CUE, utilizando água urbana tratada e água do Rio São Francisco.

Parâmetros	Tempo de Irrigação (h)				
	180	360	180	270	360
	Água do rio São Francisco com tratamento		Água do rio São Francisco sem tratamento		
Emissores com 5 anos de uso na Cultura da Uva					
CUC	99,5	100,0	100,0	100,0	100,0
CUD	98,5	98,7	98,4	97,9	98,3
CUH	91,0	91,4	90,8	89,1	90,2
CUE	98,7	98,8	98,6	98,1	98,5
Emissores Novos					
CUC	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
CUD	97,8	98,2	98,0	97,8	98,2
CUH	89,2	90,2	89,9	89,1	90,3
CUE	98,1	98,5	98,3	98,1	98,5

Para a água tratada, em todos os tipos de emissores (novos e usados), esses coeficientes, ainda que pouco, aumentaram, demonstrando que houve melhoria na uniformidade de aplicação da água ao longo das 360 horas avaliadas, o mesmo não foi verificado ao utilizar água do rio sem tratamento, pois, com exceção do CUC, os demais coeficientes reduziram no decorrer de 270 horas de aplicação e houve um aumento, ainda que pequeno, com 360 horas.

**Figura 1.** Representação gráfica do grau de entupimento para os emissores e os dois períodos de irrigação



Observa-se que o grau de entupimento dos emissores usados foi bem maior que os emissores novos, entretanto o aumento desse parâmetro ao longo das horas avaliadas foi maior nos novos (Figura 1). O GE aumentou cerca de 11,5% nos emissores usados com a mudança de avaliação da água tratada pela água do rio sem tratamento, enquanto que nos emissores novos o GE aumentou aproximadamente 3,05%. O alto grau de entupimento dos emissores usados pode ser explicado pelo uso durante 5 anos na fertirrigação, que pode ter sido causa da obstrução parcial dos gotejadores devido à formação de precipitados químicos diminuindo assim a vazão de água aplicada.

Para os emissores novos, a causa do entupimento pode ser de natureza física como partículas inorgânicas em suspensão como silte e argila presentes na água que passaram pelo filtro e foram se acumulando no emissor, reduzindo assim a vazão de água no mesmo. Conforme Coelho et al. (2007) o entupimento de emissores por causa física está principalmente relacionado com a quantidade de sedimentos que está presente em suspensão na água de irrigação ou que é succionada pelo conjunto motobomba. Gilbert et al. (1981) identificou a existência de partículas físicas como a principal causa de entupimento de emissores, com 55% das ocorrências.

Como houve aumento do grau de entupimento, os valores dos coeficientes de distribuição deveriam ter diminuído, pois a obstrução parcial ou total reduz a uniformidade de aplicação. Isso mostra que os coeficientes não foram eficientes para determinar a uniformidade de aplicação de água.

## CONCLUSÕES

- Os tubos gotejadores utilizados na uva com fertirrigação, com 5 anos de uso, tem problemas de obstrução de emissores;
- A água do São Francisco sem tratamento, a mesma utilizada pelos agricultores, causou maior obstrução dos emissores usados devido a partículas físicas;
- Os coeficientes de uniformidade de aplicação de água não foram eficientes para determinar a obstrução dos emissores.

- Os tubos gotejadores, novos e usados, apresentaram desempenhos semelhantes com relação aos coeficientes de uniformidade, porém o grau de entupimento foi bem maior para os emissores usados.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Universidade Federal do Vale do São Francisco/UNIVASF, em Juazeiro-BA, pela disponibilidade do espaço e infraestrutura disponível, principalmente, ao Laboratório de Irrigação pela cessão de suas instalações durante o experimento; ao Colegiado de Pós Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade de realização do mestrado acadêmico.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALMEIDA, Otávio Álvares de. **Qualidade da Água de Irrigação**. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, 2010.

BORSSOI, A. L. et al. Water application uniformity and fertigation in a dripping irrigation set. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 718-726, 2012.

BRAUER, R. L. **Dinâmica de entupimento de gotejadores em função da aplicação de água rica em ferro**. 2010. 59 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”, Botucatu, 2010.

CAITANO, R. F.; LOPES, F. B.; SOUZA, F.; MENDONÇA, M. A. B. Desempenho dos sistemas de irrigação na cultura da banana no perímetro irrigado baixo Acaraú, Ceará. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.5, p.113–122, 2011.

CARVALHO, L. C.C.; COELHO, R. D.; TEIXEIRA, M.B.; SOARES, F. A. L.; CUNHA, F. N.; SILVA, N. F. TUBOS GOTEJADORES CONVENCIONAIS SUBMETIDOS A APLICAÇÃO DE ÓXIDO DE FERRO VIA ÁGUA COM CARGA ORGÂNICA E SÓLIDOS SUSPENSOS. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. v.9, nº.2, p. 32 - 41, 2015.

COELHO R. D. et al. Entupimento de gotejadores em decorrência de pulsos de partículas sólidas na malha hidráulica. **Irriga**, Botucatu, v.12, n.1, p. 108-122, 2007.

GILBERT R. G. Trickle irrigation: Emitter clogging and other flow problems. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 3, n. 3, p. 159-178 1981.

LOPES, M. E. P. De A. **Avaliação do uso da água em sistemas de irrigação localizada nas culturas do café e do mamão**. 2006, 148p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)- Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 2. ed., atual. Ampl. Viçosa, MG: UFV, 355p. 2009.

MÉLO, R.F. Dinâmica e controle do entupimento de gotejadores em função de precipitados químicos e plâncton. 2007. 189 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

NASCIMENTO, A. K. S.; SOUZA, R. O. R. M.; LIMA, S. C. R. V.; CARVALHO, C. M.; ROCHA, B. M.; LEITE, K. M. Desempenho hidráulico e manejo da irrigação em sistema irrigado por microaspersão. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.3, p.39-45, 2009.

Prefeitura Municipal de Juazeiro-BA. Disponível em: <<http://www2.juazeiro.ba.gov.br/sobre-juazeiro>>. Acesso em: 10 de jan. 2015.

SANTOS, M. A. L.; SILVA. S.; SARMENTO, P. L. V. S.; ROCHA, A. E. Q.; LIMA, R. A. S.; TEODORO, I. Uniformidade de distribuição de irrigação via aspersão em espaçamento triangular. I Inovagri Internacional Meeting, 2012, Fortaleza, **Anais...** Fortaleza: Instituto Inovagri, 2012.

SILVA, C. A.; SILVA, C. J. AVALIAÇÃO DE UNIFORMIDADE EM SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**. Ano IV, n. 8, 2005.

SILVA, E. R et al. **Uniformidade de distribuição de água em irrigação localizada com sistema de aeração, decantação e filtragem**. Jaboticabal, v.39, n.1/2, p.7–17, 2011.

SILVA, L. P et al. Desempenho de gotejadores autocompensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol.16, n.5, 2012.

SOBER (Sociedade Brasileira de Economia Administração e Sociologia Rural). **Análise da percepção de agricultores quanto à eficiência de tecnologias de irrigação: uma comparação de agricultores do vale do São Francisco (Brasil) e do estado da Geórgia (EUA)**. 2004. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/2/839.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2015.

SOLOMON, K.H. Variability of sprinkler coefficient of uniformity test results. Transactions of ASAE, St. Joseph, v.22, n.5, p.1.078-1.080, 1.086, 1979.

SOUSA, V. F. de; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Embrapa: Informação Tecnológica, Brasília, 2011, 771p.

SOUZA, W. J.; BOTREL, T. A.; COELHO, R. D.; VILA NOVA, N. A. Irrigação localizada subsuperficial: Gotejador convencional e novo protótipo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.8, p.811–819, 2012.

XAVIER, G.R.; MARTINS, L.M.V.; RIBEIRO, J.R.A. e RUMJANEK, N.G. Especificidade simbiótica entre rizóbios e acessos de feijão-caupi de diferentes nacionalidades. **Caatinga**, v. 19, p. 25-33, 2006.

## 4. CAPÍTULO II

## **DINÂMICA DA OBSTRUÇÃO DE EMISSORES USADOS NA CULTURA DA UVA UTILIZANDO ÁGUA SALINA DE POÇO SUBTERRANEO**

**RESUMO-** A irrigação localizada envolve os sistemas de irrigação onde a água é aplicada diretamente sobre a região da raiz, em pequenas intensidades, mas com alta frequência, a fim de manter a umidade do solo na zona radicular próxima à capacidade de campo, sendo de grande importância no cenário agrícola brasileiro, com aplicações voltadas principalmente para a fruticultura, horticultura e fertirrigação. Os sistemas de irrigação localizada de alta frequência são os mais afetados pela obstrução decorrente da contaminação da água. O objetivo deste trabalho foi avaliar a obstrução de emissores de tubo gotejador proveniente da fertirrigação de videiras após cinco anos de uso, e submetidos a irrigação com água salina de poço profundo, a fim de apontar possíveis causas e sugerir soluções que permitam o uso otimizado da água de irrigação. O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Irrigação, no Campus de Juazeiro/BA, da UNIVASF. A bancada utilizada para os testes de vazões continha 4 calhas de 12 m de comprimento cada, onde utilizava um sistema de reutilização de água. Os gotejadores testados foram intercalados linearmente. A estatística foi a descritiva, por medidas de tendência central e por medidas de dispersão de dados. E como principais resultados têm-se que os emissores com cinco anos de uso na fertirrigação, apresentaram inicialmente um grau de entupimento de 16,5%, bem superior se comparado com o mesmo tubo gotejador novo, em torno de 7%; com um aumento nos valores para 18% e 11%, respectivamente. Foi verificado que a água salina causou uma obstrução parcial maior que a água tratada do abastecimento.

**PALAVRAS CHAVE:** grau de entupimento; água salina; uniformidade de aplicação

## **DYNAMICS OF OBSTRUCTION OF THE ISSUER USED IN GRAPE CULTURE USING SALINE WATER WELL UNDERGROUND**

**ABSTRACT-** The localized irrigation involves irrigation where water is applied directly to the root area systems in small intensity, but with high frequency in order to maintain the soil moisture next root zone to field capacity, sendo de great importance in Brazilian agricultural scenario, with applications geared mainly for fruits, vegetables and fertigation. Irrigation systems located high frequency are the most affected by the obstruction due to water contamination. The objective of this study was to evaluate the obstruction of dripline emitters from the vines of fertigation after five years of use, and submitted to irrigation with saline water from deep well in order to identify possible causes and suggest solutions to the optimal use of water irrigation. O of work was developed in Irrigation Laboratory, Campus of Juazeiro / BA, UNIVASF. The bench used for flow testing contained four tracks of 12 m in length each, which used a water reuse system. The drippers tested were

interspersed linearly. The statistic was descriptive, for measures of central tendency and data dispersion measures. And as main results are that issuers with five years of use in fertigation initially showed a degree of clogging of 16.5%, much higher compared with the same new tube dripper, around 7%; with an increase in the values for 18% and 11%, respectively. It has been found that the saline water caused a partial obstruction greater than the treated water supply.

**KEYWORDS:** degree of clogging; salt water; uniformity of application

## INTRODUÇÃO

A técnica da irrigação tem o compromisso de promover e disponibilizar ao mercado equipamentos cada vez mais eficazes e sustentáveis para a produção agrícola. Nesse aspecto, a irrigação localizada desponta com um nível elevado em tecnologia e inovação. Nas últimas décadas, a irrigação localizada foi o método que mais se desenvolveu, tendo como principal evolução os emissores regulados e os não regulados porém com uma ótima condição da curva vazão-pressão.

Os fabricantes devem fornecer a curva vazão-pressão e a pressão de serviço ideal, além de indicar o intervalo de pressão efetiva para operação do emissor. Para um emissor regulado deve-se indicar também o intervalo de compensação de pressão e a vazão nominal. Normalmente os emissores são especificados em termos da sua vazão média (vazão nominal) a uma dada pressão padrão de operação (pressão de serviço) e pelo seu expoente de fluxo (FRIZZONE et. al., 2012).

No sistema por gotejamento a água é aplicada pontualmente, através de orifícios de diâmetro muito reduzido (gotejadores); sendo estes orifícios um desafio em relação ao seu uso devido a problemática de obstrução de emissores. Sendo a uniformidade de aplicação de água por estes sistemas, afetadas por fatores hidráulicos, qualidade dos gotejadores e da água, o uso da fertirrigação com sais que podem ocasionar o entupimento dos emissores (CUNHA et al., 2013).

De acordo com Almeida (2010), os sistemas de irrigação localizada de alta frequência (gotejamento), são os mais afetados pela obstrução decorrente da contaminação da água. Conforme Silva et al. (2012), entre os diversos fatores que podem afetar a uniformidade de distribuição da água nos sistemas de irrigação

localizada de alta frequência, estão a pressão de serviço do emissor, a velocidade da água na tubulação, o alinhamento da linha lateral e o entupimento dos emissores. Este último fator implica no comprometimento da eficiência do sistema, visto que há variações na uniformidade de fluxo do emissor e na hidráulica da linha lateral.

Segundo relato de Silva et al. (2012), com o avanço da utilização da irrigação localizada, começam a ser observados problemas de perda de desempenho de equipamentos devido à presença de ferro e sólidos em suspensão que podem entupir tubulações, reduzindo a área de condução de água, aumentando a perda de carga e fazendo com que haja perda de pressão no sistema, conseqüentemente reduzindo a vazão dos emissores, podendo, em alguns casos, até mesmo inviabilizar o sistema de irrigação como um todo.

O entupimento de emissores na irrigação localizada por contaminantes físicos, químicos e biológicos, afeta o desempenho hidráulico, amplia os problemas de manutenção e, conseqüentemente, o custo de operação do sistema, reduzindo a uniformidade de distribuição da água, conforme Testezlaf (2008). A operação do sistema é afetada negativamente pela obstrução dos emissores, causando a redução das chances de sucesso da irrigação e tornando a qualidade da água a principal preocupação no manejo de culturas irrigadas por sistemas localizados.

A uniformidade de aplicação da água é afetada pela obstrução dos emissores, a qual é avaliada através do coeficiente de uniformidade de distribuição e uniformidade absoluta que dependem completamente das vazões dos emissores do sistema. À medida que se prolonga o tempo de uso do equipamento no decorrer do ciclo da cultura, aumenta a possibilidade de obstrução dos orifícios, necessitando, assim, de avaliações periódicas (SOUSA, 2003).

A qualidade da água pode ser definida por suas características físicas, químicas ou biológicas, sendo que na sua avaliação para a irrigação deve ser avaliada principalmente sob três aspectos, salinidade, sodicidade e toxicidade de íons (ALMEIDA, 2010). Conforme Juan (2000) o uso de águas de qualidade inferior, pelos agricultores, tal como águas residuárias ou com alto teor de sais, é uma necessidade que tem sido gerada devido à escassez em qualidade e quantidade de recursos hídricos.

Em regiões áridas e semiáridas, é comum a ocorrência de fontes de água com elevada concentração total de sais e com elevadas concentrações de sódio, fatores estes que reduzem a qualidade desse recurso para utilização na agricultura (NEVES

et al., 2009). E que dependendo da concentração de algum íon específico formador de compostos insolúveis, este pode causar problemas de obstrução química que em muitos casos é irreversível. Aspecto este comum na região árida e semiárida, como por exemplo a comunidade de serra dos espinhos, Carnaíba do Sertão em Juazeiro/BA, a partir de relatos de agricultores da agricultura familiar.

Diante do exposto é observada a importância de adotar medidas que envolvam o manejo adequado do sistema de irrigação por gotejamento, a fim de que seja obtida a máxima eficiência do mesmo, como a seleção do emissor mais adequado, seleção e manutenção do sistema de filtragem, monitoramento da qualidade da água de irrigação e avaliações periódicas de uniformidade de aplicação. Sendo necessário a transmissão dessas informações aos produtores e acompanhamento da implantação desse tipo de sistema na região do Vale do São Francisco.

Assim, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a obstrução de emissores em um sistema de irrigação por gotejamento usado na cultura da uva no vale do submédio do São Francisco, utilizando água salina.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Irrigação da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) do Campus de Juazeiro-BA, situado geograficamente nas coordenadas 9°24'40,9"S e 40°30'48,3"W. O clima do município é o semiárido, com temperatura média de 24,2°C e pluviosidade média anual de 427 mm, concentrada nos meses de novembro a março (PMJ, 2014).

As hipóteses testadas foram, tubos gotejadores utilizados na fertirrigação por 5 anos, na cultura da uva tem um grau elevado de obstrução que se justifique a substituição do material; o uso de águas de qualidade inferior (salina subterrânea) podem causar e/ou intensificar a problemática de obstrução dos emissores usados e/ou novos.

Foi montada uma bancada de testes de emissores utilizados na irrigação localizada por gotejamento, com capacidade para quatro linhas laterais simultaneamente. O bombeamento das águas na bancada foi realizado por meio de um conjunto motobomba hidráulico de 1cv acoplado a uma caixa d'água de 500 L. Após a bomba, foi instalado um filtro de disco, com 120 mesh. A aferição da pressão

de serviço foi por meio de um Manômetro metálico tipo Bourdon, instalado na saída da bomba. As calhas de suporte e recolhimento das vazões oriundas dos gotejadores foi confeccionada cortando longitudinalmente um tubo de pvc de 100 mm de diâmetro ao meio, com o comprimento de 12 m. O sistema tem um ciclo fechado em relação a água utilizada nos testes, tendo com isso, a possibilidade de testar diferentes tipos de águas em relação a sua qualidade, na obstrução de emissores.

Os tubos gotejadores testados foram oriundos de uma fazenda de uva localizada no Distrito Irrigado N4 Senador Nilo Coelho do município de Petrolina-PE, com 5 anos de uso na fertirrigação com a cultura da uva, em que o mesmo foi substituído por motivos de recomendação prática da empresa fornecedora. A nível de comparação, foi adquirido tubos gotejadores novos de mesma marca e modelo dos usados. Na linha lateral foram selecionados 10 emissores para serem avaliados.

Os tubos gotejadores eram do tipo *in line*, em mangueira de polietileno de 16 mm de diâmetro, com espaçamento entre emissores de 0,5 m, o emissor foi do tipo bob com vazão nominal de  $4 \text{ L h}^{-1}$  com duas saídas de ponto de emissão. A linha lateral testada tinha 12 m de comprimento e os emissores testados (10) foram intercalados linearmente.

Inicialmente os tubos gotejadores foram submetidos a 360 h de irrigação utilizando água do abastecimento público da Universidade Federal do Vale do São Francisco - Campus Juazeiro/BA, do sistema do SAAE afim de identificação inicial do problema de obstrução para os tubos gotejadores usados e como dados de referencia (também com os tubos gotejadores novos), operando com 150 kPa de pressão de serviço. Esta atividade forneceu suporte para o início das discussões da problemática abordada (hipóteses).

As características físico-químicas da água salina de poço profundo subterrâneo estão apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Resultado da análise físico/química da água salina oriunda de poço subterrâneo, Juazeiro - BA.

Parâmetros	Unidades	Resultados
Cálcio		3,45
Magnésio		14,65
Sódio		18,00
Potássio	mmol/L	0,20
Carbonatos		0,00
Bicarbonatos		2,22
Sulfatos		0,31
Cloretos		10,15
pH		7,34
C.E. (25 °C)	ds/m	2,57
Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	90,50
R.A.S.		4,23

As vazões dos gotejadores foram determinadas por bateria de pluviômetros de massa conhecida, dispostos abaixo dos emissores, que retinham a água durante o período de 3 min, sendo os pesos medidos com balança eletrônica (precisão 0,001 g). As leituras de vazão eram efetuadas em intervalos de 48 h.

A água salina foi utilizada para simular, a nível de produtor, um total de irrigação de 380 h, totalizando um volume de 1098,2 e 1280,6 L por emissor usados e novos, respectivamente. A diferença existente é devido a obstrução existente, já comprovada inicialmente pelos emissores usados.

Os parâmetros avaliados foram, Vazão Total, Média e Relativa (Qr); Desvio Padrão; Erro Padrão; Variância; Mediana; Valor Máximo e Mínimo; Curtose; Assimetria; Intervalo de Variação Relativo; Nível de Confiança para 95%; Coeficiente de Variação de Vazão (CVq); Grau de Entupimento (GE) (SOUZA et. al., 2012). E os coeficientes de uniformidade de distribuição de água: Uniformidade de Christiansen (CUC); Uniformidade de Hart (CUH); Uniformidade Estatística (CUE) e de Distribuição (UD)(SANTOS et. al., 2012).

E com o intuito de sistematizar, organizar, descrever, analisar e interpretar os dados oriundos do respectivo estudo experimental científico, foi utilizado a estatística descritiva como forma de organização e apresentação dos dados, devido principalmente ao número de dados existentes (apresentação tabular).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As tabelas 2 e 3 demonstram a análise estatística descritiva completa dos dados de vazão obtidos em avaliações periódicas, apresentada de forma resumida em épocas de interesse para melhor compreensão.

**Tabela 2.** Dados médios referentes à Vazão ( $L h^{-1}$ ) referenciada em horas de irrigação para a pressão de serviço de  $1,5 \text{ kgf/cm}^2$ , utilizando água salina de poço subterrâneo e emissores com 5 anos de uso na cultura da uva.

Parâmetros	96 h	192 h	288 h	380 h
Média ( $\bar{q}$ )	2,893	3,056	2,826	2,897
Erro padrão	0,011	0,016	0,011	0,021
Mediana	2,898	3,063	2,838	2,903
Desvio padrão ( $\sigma$ )	0,035	0,050	0,036	0,067
Variância	0,001	0,003	0,001	0,005
Curtose	0,471	1,827	-0,274	-0,363
Assimetria	-0,070	-0,961	-0,765	-0,373
Intervalo	0,110	0,180	0,108	0,200
Mínimo	2,825	2,946	2,758	2,778
Máximo	2,935	3,126	2,866	2,978
Soma	28,931	30,560	28,260	28,973
Nível de confiança*	0,025	0,036	0,026	0,048

\* Nível de confiança à 95%.

Constatou-se que a vazão média dos emissores (Tabelas 02 e 03) variou 6% do início do experimento até as 380 h de irrigação, com um pequeno aumento nas 190 h, o que indica um emissor bem dimensionado hidraulicamente, pois este valor de variação implica em um baixo valor de variação por efeitos hidráulicos (CVq)(Wu, 1997) o que será discutido mais adiante (Tabela 4). Conforme relatado por Resende et al. (2000), onde trabalhando com gotejadores Netafim RAM e Dripline, obteve aumento da vazão, sendo que pode estar associado ao primeiro estágio de acumulação de material dentro do emissor, o que pode alterar o regime do escoamento.

O desvio e o erro padrão demonstraram um comportamento com pouca variabilidade. Com relação à média e a mediana, os dados foram próximos em todas as avaliações realizadas, indicando simetria de distribuição (PIMENTEL GOMES, 2000).

Quanto à assimetria, em todas as avaliações os valores ficaram próximos de zero, indicando, segundo Terceiro Neto et al. (2000), simetria da distribuição, pois

uma distribuição razoavelmente simétrica tem coeficiente de assimetria variando entre -1 e +1; porem com tendências de desvios para a esquerda (Figuras 1B, 1C e 1D) e para a direita.

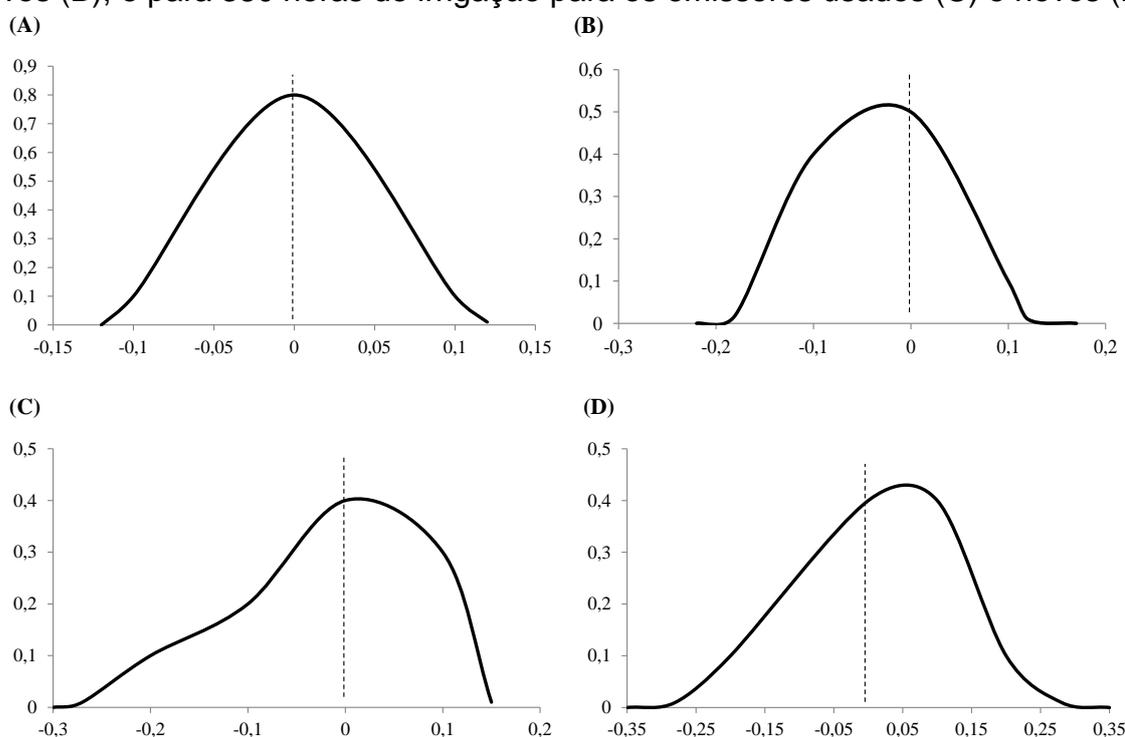
Com 96 e 192 h de avaliação, para os emissores usados e 380 h com os emissores novos, os dados apresentaram distribuição leptocúrtica, ou seja, com curtose maior que zero (Figuras 1A e 1D). Já para 288 e 380 h de irrigação, com os emissores usados e 96, 192 e 288 h com os emissores novos, os dados apresentaram uma curtose platicúrtica, ou seja, com curtose menor que zero (Figuras 1B e 1C).

**Tabela 3.** Dados médios referentes à Vazão ( $L\ h^{-1}$ ) referenciada em horas de irrigação para a pressão de serviço de  $1,5\ kgf/cm^2$ , utilizando água salina de poço subterrâneo e emissores novos.

Parâmetros	96 h	192 h	288 h	380 h
Média ( $\bar{q}$ )	3,205	3,377	3,110	3,074
Erro padrão	0,016	0,018	0,018	0,025
Mediana	3,205	3,391	3,118	3,076
Desvio padrão ( $\sigma$ )	0,052	0,055	0,056	0,079
Variância	0,003	0,003	0,003	0,007
Curtose	-1,481	-0,829	-0,519	0,575
Assimetria	0,009	0,052	0,209	-0,138
Intervalo	0,147	0,171	0,175	0,271
Mínimo	3,134	3,300	3,037	2,926
Máximo	3,281	3,471	3,212	3,196
Soma	32,046	33,771	31,103	30,741
Nível de confiança*	0,037	0,040	0,040	0,057

\* Nível de confiança a 95%

**Figura 1.** Gráficos de distribuição normal da variação vazão relativa em relação a frequência de ocorrência para 96 horas de irrigação para os emissores usados (A) e novos (B), e para 380 horas de irrigação para os emissores usados (C) e novos (D)



No geral, ocorreu uma maior frequência de valores abaixo da media, o que também contribui para explicar o problema com obstrução dos emissores. Para uma distribuição normal podemos adotar a seguinte regra pra definirmos as probabilidades de ocorrência em 68% ( $\bar{q} - \sigma$ ;  $\bar{q}$ ;  $\bar{q} + \sigma$ ) e em 95% ( $\bar{q} - 2\sigma$ ;  $\bar{q}$ ;  $\bar{q} + 2\sigma$ ).

Para o respectivo estudo, verificou-se que 68% dos valores de vazão estão compreendidos no intervalo de 2,78 a 2,99 para emissores usados e 96 h de irrigação (Figura 1A); 3,03 a 3,37 para emissores novos e 96 h de irrigação (Figura 1B); 2,69 a 3,08 para emissores usados e 380 h de irrigação (Figura 1C); 2,82 a 3,31 para emissores novos e 380 h de irrigação (Figura 1D).

Para 95% de probabilidade, os valores de vazão estão compreendidos no intervalo de 2,68 a 3,09 para emissores usados e 96 h de irrigação (Figura 1A); 2,86 a 3,53 para emissores novos e 96 h de irrigação (Figura 1B); 2,50 a 3,27 para emissores usados e 380 h de irrigação (Figura 1C); 2,58 a 3,55 para emissores novos e 380 h de irrigação (Figura 1D).

Os dados dos coeficientes de uniformidade de aplicação, de variação da vazão e vazão relativa para os emissores usados e novos testados com água salina provenientes de poço profundo subterrâneo (Tabela 4).

**Tabela 4.** Dados médios dos coeficientes de eficiência e vazão ( $L h^{-1}$ ) referenciados em horas de irrigação, para emissores com 5 anos de uso na cultura da uva e novos

Parâmetros	95 h	190 h	285 h	380 h
	Emissores Usados			
Q relativa (%)	83,72	88,88	81,97	81,96
CVq	1,21	1,90	1,50	2,82
UD	98,4	97,8	98,0	96,3
CUC	98,3	93,7	98,7	95,8
CUH	91,2	89,0	90,2	86,6
CUEstat	98,8	98,1	98,5	97,2
Emissores Novos				
Q relativa (%)	92,96	97,64	90,38	88,61
CVq	1,76	1,95	2,02	3,25
UD	97,9	97,6	97,7	96,4
CUC	89,2	84,3	92,0	92,4
CUH	89,4	88,9	88,6	85,6
CUEstat	98,2	98,1	98,0	96,7

\* Q relativa (%) - Vazão relativa em percentagem. CVq – Coeficiente de Variação de vazão. UD – Coeficiente de Uniformidade de Distribuição. CUC - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen. CUH - Coeficiente de Uniformidade de Hart. CUEstat - Coeficiente de Uniformidade Estatístico.

Embora tenha ocorrido uma pequena redução da vazão relativa ao longo das horas avaliadas, esta apresentou valores considerados excelentes de acordo com Solomon (1979), ou seja, valores com variação de vazão relativa menor que 3%, mostrando que as vazões medidas em relação à inicial não diferiram muito durante o período avaliado.

Para os emissores usados houve no decorrer do experimento uma redução de 2,14%; já para os emissores novos essa redução foi de 4,90%. Geralmente, as obstruções causam diminuição da vazão dos emissores; porém esta afirmativa tem sido colocada a prova constantemente, pois em alguns modelos de emissores tem ocorrido o inverso, aumento da vazão ofertada.

Pode-se observar que com 190 h de avaliação, tanto para emissores usados, quanto para emissores novos, ocorreu um aumento da vazão relativa o que corrobora com Barros et al. (2009), onde trabalharam com emissores autocompensantes e não autocompensantes e observaram aumento da vazão durante o processo de entupimento, em ambos os tipos de emissores. Este mesma

tendência foi observado por Resende et al. (2000), com os gotejadores Netafim RAM e Dripline, no qual, o aumento da vazão, pode estar associado ao primeiro estágio de acumulação de material dentro do emissor, o que pode alterar o regime do escoamento.

Quanto ao coeficiente de variação de vazão (CVq), os valores encontrados foram baixos, evidenciando a pouca variação nos dados de vazão. Comparando o CVq dos emissores novos e usados, observa-se que este foi maior para os emissores novos, podendo ser explicado pela maior taxa de descarga (vazão) e conseqüentemente maior carreamento de partículas sólidas para o seu interior. Quando o coeficiente de variação de vazão apresenta valor menor que 15%, os valores evidenciados do estudo são considerados homogêneos e estáveis (OLIVEIRA et al., 2014).

Segundo Frizzone et al. (2012), para variações de vazão de 10 % a 20 % obtém-se coeficientes de variação de vazão por efeitos hidráulicos, entre 3,3 % e 7,2%. O CVq (H) por efeitos hidráulicos aumenta cerca de 3 a 5% para cada 10% de aumento em variação de vazão, no intervalo de 0 a 40% (Wu, 1997). A alta correlação entre variação de vazão e coeficiente de variação justifica o uso de equações específicas para projetos de microirrigação com emissor de fluxo turbulento, não compensado de pressão.

A uniformidade de distribuição ou aplicação, de forma geral, expressa o grau de uniformização das lâminas de irrigação, indicando como a água está sendo distribuída em quantidades equivalentes (LOPES, 2006).

Para os emissores usados e novos, de uma forma geral os valores dos coeficientes estudados foram classificados como desempenho excelente e bom respectivamente, segundo a classificação de Mantovani (2001), indicando que não houve discrepância entre a vazão média com as vazões unitárias de cada emissor. De acordo com Bernardo et al. (2005), o limite mínimo de Coeficiente de Uniformidade de Christiansen aceitável em um sistema de irrigação por gotejamento é de 80%. Segundo Brauer (2010), o coeficiente de uniformidade de distribuição mostrou-se mais sensível as variações de uniformidade de aplicação de água pelo efeito do entupimento que o coeficiente de uniformidade de Christiansen, como era de se esperar, pois em seu cálculo, utilizam-se valores médios dos 25% dos menores valores das vazões.

O coeficiente de uniformidade de Hart (CUH) houve pequena variação, tanto para os emissores novos quanto para os emissores usados sendo semelhantes aos valores de CUC, caracterizando uma distribuição normal dos dados do referido experimento.

Evidenciando mais uma vez a afirmativa da estatística descritiva em relação a distribuição dos dados de vazão para as linhas laterais com emissores usados e novos, que como se trata do mesmo equipamento o comportamento em relação a emissão de descarga, devido a existência da mesma geometria hidráulica é equiparado, não diferindo quanto ao tempo de uso.

Os valores do CUEstat apresentou também pequena variação, sendo classificado como excelente de acordo Mantovani (2001), mostrando que não houve uma dispersão considerável das vazões amostradas. O CUEstat teve menor valor de 97,2% para os emissores usados e 96,7% para os emissores novos ao longo do período avaliado. Souza et al. (2006), avaliando sistema de irrigação por gotejamento, utilizado na cafeicultura, obteve resultados de CUEstat entre 80% e 90% para alguns sistemas de irrigação avaliados. Estabelecendo comparação entre a primeira e última avaliação para os emissores usados, constataram-se reduções nos valores do UD e CUEstat de 2,18 e 1,64%, respectivamente. Já para os emissores novos foram constatadas reduções de 1,55% para UD e 1,55% para CUEstat. Carvalho et al. (2006), avaliaram gotejadores tipo orifício em sistema de gotejamento com três anos de uso e água de abastecimento convencional, encontraram valor de CUE de 76,19%. Já Pletsch et al. (2009), avaliando gotejadores tipo labirinto aplicando água residuária de origem doméstica obtiveram um CUE de 98,81% para gotejadores novos, 97,56% para gotejadores com 500 horas de uso e 67,26% com 1000 horas de uso. Para no caso de sistemas de irrigação novos, recomenda-se a periodicidade de avaliações a partir dos coeficientes de uniformidade de aplicação de água, devido ao desgaste a que são submetidos ao longo do tempo (FERREIRA et. al., 2014).

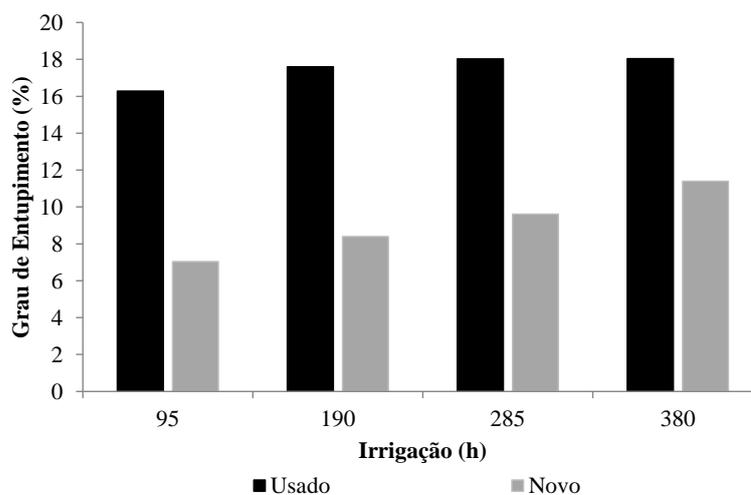
Um outro fator importante quando se deseja avaliar um emissor do tipo gotejador, é o grau de entupimento. A qualidade da irrigação e a segurança do sistema dependem da seleção do emissor e dos critérios de projeto, tendo como principais fatores envolvidos na eficiência dos sistemas de Microirrigação, a variação de vazão dos emissores causada pelo processo de fabricação, a aproximação da relação vazão-pressão com as especificações de projeto, o expoente de descarga

do emissor, a variação de pressão permitida, a perda de carga localizada causada pela inserção do emissor na linha lateral, a sensibilidade ao entupimento, a estabilidade da relação vazão-pressão com o tempo, a porcentagem de área molhada pelo emissor, a qualidade da filtração e o grau de automação (FRIZZONE et al., 2012).

Observa-se que o grau de entupimento dos emissores usados foi bem maior que os emissores novos, entretanto o aumento desse parâmetro ao longo das horas avaliadas foi maior nos novos (Figura 2).

O grau de entupimento aumentou de 16,5% para 18% nos emissores usados e 7% para 11%, para emissores usados e novos respectivamente, com o uso de água salina provenientes de poço profundo ao longo do tempo avaliado. O grau de entupimento dos emissores usados pode ser explicado pelo uso anterior (5 anos) na fertirrigação em áreas de videira, que pode ter sido causa da obstrução parcial dos gotejadores devido à formação de precipitados químicos diminuindo assim a vazão de água aplicada, além dos cristais de sais precipitados decorrente do uso da água salina. De acordo com Ribeiro et al.(2005), substâncias químicas dissolvidas na água de irrigação, em altas concentrações, podem precipitar e eventualmente formar incrustações nas paredes das tubulações e emissores, restringindo a passagem da água.

**Figura 2.** Grau de entupimento dos emissores (GE) por linha laterais usadas e novas, para a pressão de  $1,5 \text{ kgf cm}^{-2}$  com diferentes intervalos (horas) de irrigação.



Tanto os emissores usados quanto os emissores novos tiveram aumento no grau de entupimento devido aos precipitados químicos provenientes da água salina utilizada no decorrer do experimento.

Para os emissores novos, além do entupimento causado pelos cristais de sais oriundos da água salina no decorrer do experimento, também causas de natureza física como partículas inorgânicas em suspensão como areia, silte e argila presentes na água que passaram pelo filtro e foram se acumulando no emissor, podem ter contribuído também para a redução da vazão de água no mesmo. Conforme Coelho et al. (2007), o entupimento de emissores por causa física está principalmente relacionado com a quantidade de sedimentos que está presente em suspensão na água de irrigação ou que é succionada pelo conjunto motobomba. Também de acordo com Gilbert et al. (1981), foi identificada a existência de partículas físicas como a principal causa de entupimento de emissores, com 55% das ocorrências.

O aumento do grau de entupimento, não afetou os valores dos coeficientes de distribuição de água pelo sistema, a partir das obstruções parciais e/ou totais. Isso mostra que os coeficientes não foram eficientes para determinar a uniformidade de aplicação de água, ou que, a obstrução foi distribuída na linha na sua totalidade entre os dez emissores avaliados, tanto usados quanto novos.

## **CONCLUSÕES**

- Os tubos gotejadores utilizados na uva com fertirrigação durante 5 anos de uso, e os tubos gotejadores novos apresentaram elevado grau de entupimento após a utilização de água salina;
- Os coeficientes de uniformidade de aplicação de água não foram eficientes para determinar a obstrução dos emissores;
- O uso de água de qualidade inferior causa problema de obstrução do emissores.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Federal do Vale do São Francisco/UNIVASF, em Juazeiro-BA, pela disponibilidade do espaço e infraestrutura disponível, principalmente, ao Laboratório de Irrigação pela cessão de suas instalações durante o experimento; ao Colegiado de Pós Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade de realização do mestrado acadêmico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 228 p. 2010.

BARROS, A. C.; COELHO, R. D.; MEDEIROS, P. R. F.; MELO, R. F.; BARBOZA JUNIOR, C. R. A.; DIAS, C. T. S. entupimento de gotejadores em função da aplicação de superfosfato simples e ácido nítrico. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.1, p.62-71. 2009.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7<sup>a</sup>.ed.Viçosa:Ed.UFV, p.611. 2005.

BRAUER, R. L. **Dinâmica de entupimento de gotejadores em função da aplicação de água rica em ferro**. 2010. 59 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”, Botucatu, 2010.

CARVALHO, C. M.; ELOY, W. M.; LIMA; S. C. R. V.; PEREIRA, J. M. G. Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento na cultura da goiaba. **Irriga**, Botucatu, v.11, n.1, p.36 - 46, 2006.

COELHO, R. D.; VILELA, L. A. A.; RESENDE, R. S.; TEIXEIRA, M. B.; SÁ, J. S. De. Entupimento de gotejadores em decorrência de pulsos de partículas sólidas na malha hidráulica. **Irriga**, v.12, p.108-122, 2007.

CUNHA, F. N.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, N. F.; MOURA, L. M. F.; TEIXEIRA, M. B.; GOMES FILHO, R. R. Variabilidade temporal da uniformidade de distribuição em sistema de gotejamento. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.7, n. 4, p. 248 - 257, 2013.

FERREIRA, D. de J.L.; LIMA, V.L.A.; SILVA, T.T.S.; FERREIRA FILHO, J.G. de A.; SANTOS, D.B.; REIS, C.F. Desempenho hidráulico de um sistema de irrigação por gotejamento. II Inovagri Internacional Meeting, 2014, Fortaleza, **Anais...** Fortaleza: Instituto Inovagri, 2014.

FRIZZONE, J. A., FREITAS, P. S. L., REZENDE, R., FARIA, M. A. **Microirrigação; Irrigação; Gotejamento; Microaspersão; Fertirrigação; Dimensionamento hidráulico**. Editora EDUEM, ISBN: 978-85-7628-460-4. 356p.2012.

GILBERT R. G. Trickle irrigation: Emitter clogging and other flow problems. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 3, n. 3, p. 159- 178, Mar. 1981.

JUAN, J.A.M.S. **Riego por gotejo: teoria y práctica**. 4ed. Madrid: EdicionesMundiPrensa, 302p. 2000.

LOPES, Marcos Eugênio Pires de Azevedo. **AVALIAÇÃO DO USO DE ÁGUA EM SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA NAS CULTURAS DO CAFÉ E DO MAMÃO**. 2006,148 p. Dissertação( Mestrado em Engenharia Ambiental).Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.

MANTOVANI, E. C. **Avalia: Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada**. Viçosa: UFV, 2001.

NEVES, et al. Acumulação de biomassa e extração de nutrientes por plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Ciência Rural**, v.39,n.3, mai-jun, 2009.

OLIVEIRA, F. A., SANTOS, L. W., CRUZ, R. M. L., SILVA, T. S., SANTOS, D. P., SANTOS, M. A. L. Análise de desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento. II InovagriInternationalMeeting, 2014.

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

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

PREFEITURA MUNICIPAL DE JUAZEIRO – BA. Disponível em: <http://www2.juazeiro.ba.gov.br/sobre-juazeiro> Acesso em: 10 de jan. 2015.

RESENDE, R.S.; COELHO, R.D.; PIEDADE, S.M.S. Eficiência da cloração da água de irrigação no tratamento de gotejadores com entupimento de causa biológica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.3, p.382-389, 2000.

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

SANTOS, M. A. L.; SILVA. S.; SARMENTO, P. L. V. S.; ROCHA, A. E. Q.; LIMA, R. A. S.; TEODORO, I. Uniformidade de distribuição de irrigação via aspersão em espaçamento triangular. I Inovagri Internacional Meeting, 2012, Fortaleza, **Anais...** Fortaleza: Instituto Inovagri, 2012.

SILVA, L. P.; SILVA, M. M. ; CORREA, M. M. ; SOUZA, F.C.D. ; SILVA, E. F. F. E. Desempenho de gotejadores autocompensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n.5. p. 480-486, 2012.

SOLOMON, K.H. Variability of sprinkler coefficient of uniformity test results. Transactions of ASAE, St. Joseph, v.22, n.5, p.1.078-1.080, 1.086, 1979.

SOUZA, A.E.C.**Avaliação de um sistema de um sistema de irrigação por gotejamento na cultura da manga**(mangífera indica L.). Sobral:CENTEC, 21 p.2003.(Monografia).

SOUZA, L.O.C.; MANTOVANI,E.C.;SOARES, A.A.; RAMOS,M.M.;FREITAS, P.S.L.Avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento, utilizado na cafeicultura.**Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**,Campina Grande, v.10, n.3,p.541-548.2006.

SOUZA, W. J.; BOTREL, T. A.;COELHO, R. D.; VILA NOVA, N. A. Irrigação localizada subsuperficial: Gotejador convencional e novo protótipo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.8, p.811–819, 2012.

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

WU, I.P. An assessment of hydraulic design of micro-irrigation systems.**Agricultural Water Management**, v.32, n.3, p.275-284, 1997.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARRAGAN, J., COTS, L., MONSERRAT, J., LOPEZ, R., WU, I.P. Water distribution uniformity and scheduling in microirrigation systems for water saving and environmental protection. **Biosyst. Eng.** 107, 202–211. 2010.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de irrigação. 8.ed. Viçosa: UFV, 625p. 2006.

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

BORSSOI, A. L.; VILAS BOAS, M. A.; REISDÖRFER, M; HERNÁNDEZ, R. H.; FOLLADOR, F. C. Water application uniformity and fertigation in a dripping irrigation set. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 718-726, 2012.

BUCKS, D. A.; NAKAYAMA, F. S.; GILBERT, R.G. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. **Agricultural Water Management**, v.2, p.149-162, 1979.

CARARO, D. C. Manejo de irrigação por gotejamento para aplicação de água residuária visando a minimização do entupimento de emissores. 2004. 130 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

CHRISTOFIDIS, D. **Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos**. ITEM (Irrigação e Tecnologia Moderna); nº 54, pag. 46-55. 2º trimestre, 2002.

DIAS, N. S. et al. Salinização do solo por aplicação de fertilizantes em ambiente protegido. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 12, n. 1, p. 135 -143, 2007.

DOSORETZ C, TARCHITZKY J, KATZ I, KENIG E, CHEN Y. Development and effects of a fouling layer in distribution and irrigation systems applying treated wastewater effluents. In: Levy G, Fine P, Bar-Tal A (eds) Use of treated sewage water in agriculture: impacts on crops and soil environment. **Blackwell Publishing**, Oxford, p.328-350. 2011.

FEIKEMA, P.M., MORRIS, J.D., CONNELL, L.D. The water balance and water sources of a Eucalyptus plantation over shallow saline groundwater. **Plant Soil**, 332, 429–449, 2011.

GILBERT, R. G.; FORD, H. W. Operational principles/emitter clogging. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Trickle irrigation for crop production. Elsevier Publishers, 383p.1986.

HASSAN, F.A. Water quality for microirrigation. In: MICROIRRIGATION FORUM, 1999. Disponível em: <<http://www.microirrigationforum.com/new/archives/wq.html>>. Acesso em: 11dez. 2014.

HERNANDEZ, F.B.T.; PETINARI, R.A. Qualidade da água para irrigação localizada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, XXVII, Poços de Caldas, 03 a 07 de agosto de 1998. **Anais**. v.II, p. 58-60, 1998.

LI J, CHEN L, LI Y. Comparison of clogging in drip emitters during application of sewage effluent and groundwater. **Transactions of the ASABE**, v. 52, 1203-1211. 2009.

LI Y, ZHOU B, LIU Y, JIANG Y, PEI Y, SHI Z. Preliminary surface topographical characteristics of biofilms attached on drip irrigation emitters using reclaimed water. **Irrigation Science**, v. 31, 557-574. 2013.

LI, J.S.; MENG, Y.B.; LI, B. Field evaluation of fertigation uniformity as affected by injector type and manufacturing variability of emitters. **Irrigation Sci.** 25,117–125. 2007.

LOIOLA, M.L.; SOUZA, F. Estatística sobre a irrigação no Brasil segundo o Censo Agropecuário 1995-1996. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n.1, p. 171-180, 2001.

LOPES, M. E. P. A. Avaliação do uso da água em sistemas de irrigação localizada nas culturas do café e do mamão. 2006. 148f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2006.

LÓPEZ, J. R.; ABREU, J. M. H.; REGALADO, A. P; HERNÁNDEZ, J. F. Riego localizado. 2. Ed. Madrid: Mundi-Prensa, 405 p.1997.

MALASH, N.M., ALI, F.A., FATAHALLA, M.A., KHATAB, E.A., HATEM, M.K., TAWFIC, S. Response of tomato to irrigation with saline water applied by different irrigation methods and water management strategies. *Int. J. Plant Prod.* 2, p.101–116. 2008.

MEIRI, A., FRENKEL, H., MANTELL, A. Cotton response to water and salinity under sprinkler and drip irrigation. *Agron. J.* 84,p. 44–50. 1992.

PAULINO, J.; FOLEGATTI, M.V.; ZOLIN, C.A.; SANCHEZ-ROMAN, R.M.; JOSE, J.V. Situação da agricultura irrigada no Brasil de acordo com o censo agropecuário 2006. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 2, p. 163-176, 2011.

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

PETERS, N.E; MEYBECK, M. Water quality degradation effects on freshwater availability: impacts to human activities. **Water International**, Urbana, v.25, n.2, p.214-21, 2000.

PITTS, D. J.; HAMAN, D. Z.; SMAJSTRIA, A. G. Causes and prevention of emitter plugging in microirrigation systems. Florida Cooperative Extension Service. University of Florida. bulletin 258. p. 12. 1990.

PIZARRO, F. Riegos localizados de alta frecuencia: goteo, microaspersión, exudación. 2. ed. Madrid: Mundi Prensa, 459p. 1990.

POLAK, P.; YODER, R. Creating wealth from groundwater for dollar-a-day farmers: where the silent revolution and the four revolutions to end rural poverty meet. **Hydrogeol. J.** 14, p. 424–432. 2006.

POSTEL, S.; POLAK, P.; GONZALES, F.; KELLER, J. Drip irrigation for small farmers: anew initiative to alleviate hunger and poverty. **Water Int.** 26, p. 3–13. 2001.

REBOUÇAS, A. C. Águas subterrâneas. In: Águas Doces do Brasil – capital ecológico, uso e conservação. p. 117 – 151. Editores: A. C. Rebouças, B. Braga, e J. G. Tundisi. Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo. Escrituras editora. São Paulo. 1999.

RESENDE, R.S.; COELHO, R.D.; PIEDADE, S.M.S. Suscetibilidade de gotejadores ao entupimento de causa biológica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 368-375, 2000.

RIBEIRO, J. A. et al. Chuvas e enchentes: inovação curricular para ensinar ciclo da água. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA EM ENSINO E HISTÓRIA DE CIÊNCIAS DA TERRA, 1. Campinas, 2007. **Anais**. Campinas: DGAE/IG/Unicamp, p. 233-239. 2007.

SANDRI, D.; SOUZA, M.A.A.; FILHO, W. J. A.; FILHO, A. M. S. IRRIGAÇÃO DE GRAMADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA APLICADA POR GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL. **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 1, p.1-13, janeiro-março, 2014.

SARAIVA, K. R.; SOUZA, F. Estatística sobre irrigação nas regiões sul e sudeste do Brasil segundo o censo agropecuário 2005-2006. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 2, p. 168-176, 2012.

SILVA JÚNIOR, M.J.; MEDEIROS, J.F.; LEVIEN, S.L.A.; SOUSA NETO, E.R.; SOUZA, E.R.; DANTAS, D.C.; MOURÃO, A.C.; OLIVEIRA, J.C. Evolução e controle químico de obstruções em gotejadores em sistemas de irrigação com diferentes águas. **Caatinga**, Mossoró, v. 16, n. 1/2, p. 23-29, 2003.

SILVA, L. P.; SILVA, M. M.; CORREA, M. M.; SOUZA, F. C. D.; SILVA, E. F. F. Desempenho de gotejadores autocompensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.16, n.5, p.480–486, 2012. Campina Grande, PB.

SOARES, T. M.; SILVA, I. J. O.; DUARTE, S. N. Destinação de águas residuárias provenientes do processo de dessalinização por osmose reversa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p.730-737, 2006.

SUASSUNA, J. Água potável no semi-árido: escassez anunciada. Disponível em <http://www.fundaj.gov.br>. Acesso em 11 jan. 2015.

TELLES, D. D.; DOMINGUES, A.F. Água na agricultura e pecuária. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Orgs.). Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. 3. ed. São Paulo: Escrituras Editoras, cap.10, p.325-364. 2006.

VERMA, A.K., GUPTA, S.K., ISAACA, R.K. **Use of saline water for irrigation in monsoon climate and deep water table regions: simulation modeling with SWAP**. *Agric. Water Manage.* 115, 186–193. 2012.

VALE, H. S. M.; ARRUDA, L. V. A.; COSTA, D. O.; COSTA, F. G. B.; BATISTA, R. O. Potencial de entupimento de um sistema de irrigação por gotejamento operando com esgoto doméstico tratado. **Water Resources and Irrigation Management**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 63-70, 2013.

VICENTE, M.R. **Manejo e análise técnica dos sistemas de irrigação do cafeeiro na região oeste da Bahia**. 2005. 70 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

WILDE, C., JOHNSON, J., BORDOVSKY, J.P. Economic analysis of subsurface drip irrigation system uniformity. *Appl. Eng. Agric.* 25, 357–361. 2009.

WOLTERING, L.; PASTERNAK, D.; NDJEUNGA, J. The African market garden: the development of a low-pressure drip irrigation system for smallholders in the Sudano Sahel. *Irrig. Drain.* 60, p. 613–621. 2011.

WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME, 2009. The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World. UNESCO, Earth scan, Paris and London.

YAN D, YANG P, ROWAN M, REN S, PITTS D. Biofilm accumulation and structure in the flow path of drip emitters using reclaimed wastewater. *Transactions of the ASABE*, 53, 751-758. 2010.

## ANEXOS

$$\bar{q} = \frac{P}{1000 \cdot t} \cdot 60 \quad (1)$$

Em que  $q$  é a vazão média ( $L \cdot h^{-1}$ ),  $P$  é o peso da água coletada (g) e  $t$  é tempo de coleta (min).

$$Qr = \frac{q_{inicial}}{q_{atual}} \cdot 100 \quad (2)$$

Em que  $Qr$  é a vazão relativa (%),  $q$  inicial ( $L \cdot h^{-1}$ ) é a vazão inicial e  $q$  atual é a vazão atual ( $L \cdot h^{-1}$ ).

$$S = \sqrt{\frac{(q - \bar{q})^2}{n-1}} \quad (3)$$

Em que  $S$  é o desvio padrão ( $L \cdot h^{-1}$ ),  $q$  é a vazão ( $L \cdot h^{-1}$ ) e  $\bar{q}$  é vazão média ( $L \cdot h^{-1}$ ).

$$CV = \frac{S}{\bar{q}} \cdot 100 \quad (4)$$

Em que  $CV$  é o coeficiente de variação (%) e  $S$  é o desvio padrão.

$$GE = \left(1 - \frac{q_{atual}}{q_{novo}}\right) \cdot 100 \quad (5)$$

Em que  $GE$  é o grau de entupimento (%) e  $q$  é a vazão ( $L \cdot h^{-1}$ ).

O Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) (Equação 6) é um índice que leva em consideração os 25% do total das observações com menores vazões em relação à vazão média aplicada (LOPES, 2006).

$$CUD = 100 \frac{q_{25\%}}{q} \quad (6)$$

Em que CUD é o coeficiente uniformidade de distribuição (%),  $q_{25\%}$  é a média de 25% dos menores valores das vazões observadas ( $L.h^{-1}$ ) e  $q$  é a vazão média dos emissores ( $L.h^{-1}$ ).

Outro índice utilizado para determinar a uniformidade de aplicação é o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) (Equação 7). Embora permita a obtenção de resultados bastante confiáveis, requer amedida da vazão de todos os emissores do sistema, o que exige muito tempo e muita mão-de-obra (FRIZZONE e DOURADO NETO, 2003).

$$CUC = 100 \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - \bar{q}|}{n\bar{q}} \right) \quad (7)$$

Em que CUC é o coeficiente de uniformidade de Christiansen (%),  $q_i$  é a vazão de cada emissor ( $L.h^{-1}$ ),  $\bar{q}$  é a vazão média dos emissores ( $L.h^{-1}$ ) e  $n$  é o número de coletores.

O Coeficiente de Uniformidade Estatística (CUE) (Equação 8) utiliza o desvio padrão como medida de dispersão e é definido por:

$$CUE = 100 \left( 1 - \frac{S_q}{\bar{q}} \right) \quad (8)$$

Em que CUE é o coeficiente de uniformidade estatística (%),  $S_q$  é o desvio padrão das vazões nos pontos de emissão ( $L.h^{-1}$ ) e  $\bar{q}$  é a vazão média dos emissores ( $L.h^{-1}$ ).

Outro coeficiente de uniformidade é o Coeficiente de Uniformidade de Hart (CUH), proposto por Hart (*apud* CASTIBLANCO, 2009, p. 28). Este incorpora o

desvio-padrão e considera que as lâminas de irrigação tem distribuição normal (Equação 9).

$$CUH = 100 \left( 1 - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{S_d}{\bar{q}} \right) \quad (9)$$

Em que CUH é o coeficiente de uniformidade de Hart (%),  $S_d$  é o desvio padrão das vazões nos pontos de emissão ( $L.h^{-1}$ ) e  $\bar{q}$  é a vazão média dos emissores ( $L.h^{-1}$ ).