



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA
DOUTORADO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

JORGE LUIZ DE OLIVEIRA CUNHA

**EFEITO DA SALINIDADE E TEMPERATURA DA ÁGUA NO DESEMPENHO
HIDRAÚLICO DE FITAS GOTEJADORAS EM CONDIÇÕES
LABORATORIAIS**

MOSSORÓ - RN 2017

JORGE LUIZ DE OLIVEIRA CUNHA

**EFEITO DA SALINIDADE E TEMPERATURA DA ÁGUA NO DESEMPENHO
HIDRAÚLICO DE FITAS GOTEJADORAS EM CONDIÇÕES
LABORATORIAIS**

Tese apresentada ao Doutorado em Manejo de Solo e água do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Doutor em Manejo de Solo e água.

Linha de Pesquisa: Manejo de Solo e Água na Agricultura.

Orientador: Prof. D. Sc. Suedêmio de Lima Silva.

Coorientador: Prof. D. Sc. Rafael Oliveira Batista

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

FICHA CATALOGRÁFICA

C972E CUNHA, JORGE LUIZ DE OLIVEIRA.

Efeito da salinidade e temperatura da água no desempenho hidráulico de fitas gotejadoras em condições laboratoriais. / Jorge Luiz de Oliveira Cunha. -- Mossoró, 2017.
73f.: il.

Tese (Doutorado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

Orientador: Prof. D. Sc. Suedêmio de Lima Silva.

Coorientador: Prof. D. Sc. Rafael Oliveira Batista

1.Entupimento. 2.Incrustação. 3.Alteração de vazão. I.
Título

CDU: 631.587

Bibliotecária Keina Cristina Santos Sousa
CRB15/120

**EFEITO DA SALINIDADE E TEMPERATURA DA ÁGUA NO DESEMPENHO
HIDRAÚLICO DE FITAS GOTEJADORAS EM CONDIÇÕES
LABORATORIAIS**

Tese apresentada ao Doutorado em Manejo de Solo e água do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Doutor em Manejo de Solo e água.

Linha de Pesquisa: Manejo de Solo e Água na Agricultura.

Defendida em: 28/07/2017

BANCA EXAMINADORA

Suedêmio de Lima Silva

Prof. D. Sc. Suedêmio de Lima Silva – Presidente da Banca examinadora

Rafael Oliveira Batista

Prof. D. Sc. Rafael Oliveira Batista - Coorientador

Blake Charles Diniz Marques

Prof. D. Sc. Blake Charles Diniz Marques - Membro externo ao - PPGMSA

Daniela da Costa Leite Coelho

Prof^a. D. Sc. Daniela da Costa Leite Coelho - Membro externo ao - PPGMSA

Ketson Bruno da Silva

Prof. D. Sc. Ketson Bruno da Silva - Membro externo à - UFERSA

A minha esposa
Erika Morgana Albuquerque Duarte.
Aos meus filhos
Beatriz Duarte de Oliveira e
Henrique Duarte de Oliveira.
Aos meus pais e a minha irmã
E a minha família,
Dedico este trabalho com muito amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar forças para suplantarmos os desafios.

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água pela oportunidade em realizar o curso de doutorado.

Aos professores Suedêmio de Lima Silva e Rafael Oliveira Batista, pela paciência, confiança e apoio a que me foi conferido para a realização deste trabalho.

Aos membros da banca, Blake Charles Diniz Marques, Daniela da Costa Leite Coelho e Ketson Bruno da Silva pelas contribuições feitas a este trabalho.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água.

A todos os funcionários do Laboratório de Análise de Solo, Planta e Água (LASAP) da UFERSA pelas contribuições durante as análises.

A todos os servidores da Pró-reitora de Administração/PROAD e Pró-reitora de Planejamento/PROPLAN da UFERSA que me apoiaram neste desafio de cursar o doutorado concomitantemente com as atividades laborais da UFERSA.

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a construção deste trabalho.

RESUMO GERAL

No sistema de irrigação localizada por gotejamento a água é aplicada em baixa intensidade e alta frequência na região radicular da cultura agrícola de forma a propiciar que a umidade do solo esteja próxima à capacidade de campo. Neste sistema de irrigação as fitas gotejadoras são expostas a agentes físico-químicas e microbiológicas que potencializam o surgimento de obstrução dos emissores, reduzindo o ciclo de vida operacional do sistema que operam com água de qualidade inferior. O presente trabalho objetivou estudar a variação da temperatura e salinidade da água de irrigação como fatores que contribuem para o processo de obstrução das fitas gotejadoras, reduzindo sua vida útil, sob os parâmetros de redução da uniformidade da vazão dos emissores das fitas gotejadoras em condições laboratoriais. Para isto, montou-se uma bancada experimental no Laboratório de Instrumentação de Máquinas e Mecanização Agrícola da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, em Mossoró-RN; onde foram realizados os ensaios experimentais com três tipos de fitas gotejadoras operadas em condições controladas de temperatura, salinidade da água e pressão de serviço. A bancada experimental apresenta as seguintes dimensões 1,50m x 3,50m (largura e comprimento), altura de 1,00m e 1,20m (ponto mais baixo e ponto mais elevado respectivamente). Sobre a mesma foram fixadas quatro telhas de fibrocimento numa área de 0,90m x 3,00m (largura e comprimento), com declividade de 8% e na sua base foi inserida uma calha coletora conectada ao reservatório térreo de 0,10m³. Para permitir a recirculação da água do ensaio foi utilizado um conjunto motobomba centrífuga de 1/4cv. Na bancada foram utilizadas quatro linhas de fitas gotejadoras com três metros de comprimento cada, sendo estas submetidas a ciclos de ensaios de curta e longa duração, estabelecido em 100, 250, 500 e 750 h de operação, e temperatura da água de 20 e 30°C. Para o controle da temperatura da água foi utilizado sistema de aquecimento com potência de 2,00 kW e refrigeração de 7,04 kW. A condutividade elétrica da água variou de 0,52 dS m⁻¹ a 2,56 dS m⁻¹. Após o término de cada ciclo de operação foram coletadas amostras das fitas para a realização de microscopia eletrônica de varredura dos orifícios e paredes internas. Empregou-se a vazão e o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição no monitoramento do desempenho hidráulico das fitas gotejadoras. Os resultados obtidos indicaram que o aumento da salinidade da água de irrigação acarretou o decréscimo da vazão do sistema de irrigação localizada por gotejamento, sem ocasionar alteração da classificação do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição. As análises da qualidade da água indicaram risco potencial para sodificação do solo. O aumento da temperatura e salinidade potencializou a formação de microrganismos e precipitados de cálcio, resultando no aumento da frequência de manutenções no sistema.

Palavras-chave: Entupimento. Incrustação. Alteração de vazão.

GENERAL ABSTRACT

Drip irrigation system in the radiation area of the agricultural crop in order to provide that a partner of the soil is close to the field capacity. In this irrigation system as dripping tapes are exposed to physical-chemical and microbiological agents that increase the appearance of emitter obstruction, reducing the operational life cycle of the system that operate with water of inferior quality. The objective of this study was to study the variation of irrigation water temperature and salinity as factors that contribute to the process of obstruction of the tapes, reducing its useful life, control solution of flow rate uniformity of the emitters of the drip tapes under laboratory conditions. For this, an experimental bench was set up not Laboratory of Machine Instrumentation and Agricultural Mechanization of the Universidade Federal Rural do Semi-Árido, in Mossoró-RN; Where the experimental tests were carried out with three types of drip tapes operated under controlled conditions of temperature, water salinity and service pressure. The experimental bench has the following dimensions: 1,50m x 3,50m (width and length), height of 1,00 m and 1,20 m (low point and highest point respectively). On the same saw, fixed four fiber cement tiles in an area of 0.90 m x 3.00 m (width and length), with slope of 8% and at its base to insert a collecting trough connected to the ground water reservoir of 0.10m³. To allow a recirculation of the test water, a 1/4 hp centrifugal pump was used. Four lines of tapes with three meters of length were used in the workbench, which were submitted to short test cycles, established at 100, 250, 500 and 750 hours of operation and water temperature of 20 and 30°C. To control the temperature of the water with the heating system with power of 2.00 kW and cooling of 7.04 kW. The electrical conductivity of water ranged from 0.52 dS m⁻¹ to 2.56 dS m⁻¹. After the end of each cycle of operation, samples of the tapes were collected for scanning electron microscopy of the holes and internal walls. The flow rate and the Distribution Uniformity Coefficient were used to monitor the hydraulic performance of the drip tapes. The results indicated that the increase of salinity of the irrigation water resulted in a decrease in the flow rate of the drip irrigation system, without causing a change in the classification of the Distribution Uniformity Coefficient. Water quality analyzes indicated a potential risk for soil sodification. The increase in temperature and salinity increased the formation of microorganisms and precipitates of calcium, resulting in increased frequency of maintenance in the system.

Key words: Clogging. Embedding. Change of flow.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1. EFEITO DA SALINIDADE DA ÁGUA NO DESEMPENHO HIDRAÚLICO DE FITAS GOTEJADORAS EM CONDIÇÕES LABORATORIAIS

Figura 1. Ilustração da bancada experimental.	32
Figura 2. Comportamento do CUD no tratamento I, para os emissores M1, M2 e M3	43
Figura 3. Comportamento do CUD no tratamento II, para os emissores M1, M2 e M3.....	44
Figura 4. Comportamento da vazão no tratamento I, para os emissores M1, M2 e M3	45
Figura 5. Comportamento da vazão no tratamento II, para os emissores M1, M2 e M3	45

CAPÍTULO 2. USO DA MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA NO MONITORAMENTO DO PROCESSO DE BIOINCRUSTAÇÃO DAS FITAS GOTEJADORAS OPERANDO COM TEMPERATURAS E SALINIDADES DISTINTAS

Figura 1. Ilustração da banca experimental	55
Figura 2. Comportamento do M1, M2 e M3 submetido ao tratamento testemunha.....	62
Figura 3. Comportamento do M1, M2 e M3 submetido ao tratamento I.	62
Figura 4. Comportamento do M1, M2 e M3 submetido ao tratamento II	63
Figura 5. Orifícios das fitas gotejadoras a) M1 virgem, b) M2 virgem, c) M3 virgem, d) M1 TES 750 h, e) M2 TES 750 h, f) M3 TES 750 h.	64
Figura 6. Orifícios das fitas gotejadoras a) M1, TR I 750 h, b) M2 TR I 750 h c) M3 TR I 750h	65
Figura 7. Orifícios das fitas gotejadoras a) M1, TR II 750 h, b) M2 TR II 750 h c) M3 TR II 750 h	66
Figura 8. Paredes internas das fitas gotejadoras a) M1 virgem, b) M2 virgem, c) M3 virgem.....	67
Figura 9. Paredes internas das fitas gotejadoras a) M1 TES 750 h, b) M2 TES 750 h c) M3 TES 750 h.	67
Figura 10. Paredes internas das fitas gotejadoras a) M1, TR I 750 h, b) M2 TR I 750 h c) M3 TR I 750 h.....	67
Figura 11. Paredes internas das fitas gotejadoras a) M1, TR II 750 h, b) M2 TR II 750 h c) M3 TR II 750 h	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Critérios para classificação do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD)	20
Tabela 2. Valores de ($pK_d - pK_s$), pCa e $p(Alk)$ em relação às concentrações de $[Ca + Mg + Na]$, $[Ca]$ e $[CO_3 + HCO_3]$, respectivamente:	23
Tabela 3. Classificação de água para irrigação:	25

CAPÍTULO 1. EFEITO DA SALINIDADE DA ÁGUA NO DESEMPENHO HIDRÁULICO DE FITAS GOTEJADORAS EM CONDIÇÕES LABORATORIAIS

Tabela 1. Características técnicas de três tipos de fitas gotejadoras não autocompensantes ...	34
Tabela 2. Valores de ($pK_d - pK_s$), pCa e $p(Alk)$ em relação às concentrações de $[Ca + Mg + Na]$, $[Ca]$ e $[CO_3 + HCO_3]$, respectivamente	35
Tabela 3. Critérios para classificação do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD)...	36
Tabela 4. Resultados das análises físico-químicas da água para fins de irrigação em relação aos tratamentos: testemunha (TES), tratamento I (TR I) e tratamento II (TR II) nos correspondentes ciclos de operação inicial e pós 100, 250, 500 e 750 h.....	38
Tabela 5. Valores médios da temperatura ambiente (T. Amb.), temperatura da água (T. Água) e pressão de serviço (P.Serviço) para cada ciclo de operação.....	39
Tabela 6. Valores do CUD em função dos tratamentos, temperatura da água, condutividade Elétrica (CEa) e ciclo de operação.	40
Tabela 7. Variação da vazão em função dos tipos de fitas gotejadoras, Tratamentos e ciclos operacionais.....	41
Tabela 8. Ajuste de equações de regressão dos valores médios do CUD em função dos tempos de ensaio (T, em h) para 03 tipos de fitas gotejadoras.	43
Tabela 9. Ajuste de equações de regressão dos valores médios da vazão (Q) em função dos tempos de ensaio (T, em h) para 03 tipos de fitas gotejadoras.....	46

CAPÍTULO 2. USO DA MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA NO MONITORAMENTO DO PROCESSO DE BIOINCRUSTAÇÃO DAS FITAS GOTEJADORAS OPERANDO COM TEMPERATURAS E SALINIDADES DISTINTAS

Tabela 1. Características técnicas de três tipos de fitas gotejadoras não autocompensantes. ..	54
--	----

Tabela 2. Critérios para classificação do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD)...	57
Tabela 3. Valores de ($pK_d - pK_s$), pCa e $p(Alk)$ em relação às concentrações de $[Ca + Mg + Na]$, $[Ca]$ e $[CO_3 + HCO_3]$, respectivamente:.....	58
Tabela 4. Resultados das análises físico-químicas da água para fins de irrigação para os tratamentos testemunha, tratamento I e tratamento II em relação ao tempo de operação.....	60
Tabela 5. Valores médios da temperatura ambiente (T. Amb.), temperatura da água (T. Água) e pressão de serviço (P.Serviço) para cada ciclo de operação.....	61

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Coeficiente de Uniformidade de Distribuição	20
Equação 2. Índice de Saturação de Langelier	22

CAPÍTULO 1. EFEITO DA SALINIDADE DA ÁGUA NO DESEMPENHO HIDRAÚLICO DE FITAS GOTEJADORAS EM CONDIÇÕES LABORATORIAIS

Equação 1. Índice de Saturação de Langelier	34
Equação 2. Coeficiente de uniformidade de distribuição	36

CAPÍTULO 2. USO DA MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA NO MONITORAMENTO DO PROCESSO DE BIOINCRUSTAÇÃO DAS FITAS GOTEJADORAS OPERANDO COM TEMPERATURAS E SALINIDADES DISTINTAS

Equação 1. Coeficiente de uniformidade de distribuição	57
Equação 2. Índice de Saturação de Langelier	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA - Agência Nacional das Águas

CaCO₃ – Carbonato de cálcio

CO₃ - Carbonato

CEa - Condutividade elétrica da água

CUD - Coeficiente de Uniformidade de Distribuição

HCO₃ - Bicarbonato

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

ISL - Índice de Saturação de Langelier

LIMMA - Laboratório de Instrumentação de Máquinas e Mecanização Agrícola

MEV - Microscópio eletrônico de varredura

M1 - Fita gotejadora fabricante (a)

M2 - Fita gotejadora fabricante (b)

M3 - Fita gotejadora fabricante (c)

NBR – Norma brasileira

P. Serviço - Pressão de serviço

PEBD - Polietileno de baixa densidade

pH_c - Potencial hidrogeniônico teórico

pH_m - Potencial hidrogeniônico medido

PROAD – Pró-reitoria de Administração

PROPLAN – Pró-reitoria de Planejamento

RAS – Razão de adsorção de sódio

SDT - Totais de sais dissolvidos

Q - Vazão

T. Água - Temperatura da água

T. Amb. - Temperatura ambiente

TES - Tratamento testemunha

TR I - Tratamento I

TR II - Tratamento II

UFERSA - Universidade Federal Rural do Semi-Árido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	17
2. REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1. Irrigação localizada	19
2.2. Coeficiente de uniformidade de distribuição e vazão de sistema de irrigação por gotejamento	19
2.3. Efeito da temperatura sobre sistemas de irrigação por gotejamento	21
2.4. Efeito da temperatura sobre sistemas de irrigação por gotejamento	22
2.5. Microscopia eletrônica de varredura (MEV) aplicada ao monitoramento da obstrução de gotejadores	24
2.6. Qualidade da água para irrigação	24
REFERÊNCIAS	26
CAPÍTULO 1. EFEITO DA SALINIDADE DA ÁGUA NO DESEMPENHO HIDRAÚLICO DE FITAS GOTEJADORAS EM CONDIÇÕES LABORATORIAIS..	29
1. INTRODUÇÃO	31
2. MATERIAL E MÉTODOS	32
3. RESULTADO E DISCUSSÃO.....	38
4. CONCLUSÕES.....	47
REFERÊNCIAS	48
CAPÍTULO 2. USO DA MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA NO MONITORAMENTO DO PROCESSO DE BIOINCRUSTAÇÃO DAS FITAS GOTEJADORAS OPERANDO COM TEMPERATURAS E SALINIDADES DISTINTAS.....	51
1. INTRODUÇÃO	53
2. MATERIAL E MÉTODOS	54
3. RESULTADO E DISCUSSÃO.....	60
3.1. Análises físico-químicas da água de irrigação	60
3.2. Coeficiente de uniformidade de distribuição e vazão dos emissores.....	61
3.3. Análises das imagens na MEV.....	64
4. CONCLUSÕES.....	70

REFERÊNCIAS	71
--------------------------	-----------

1. INTRODUÇÃO GERAL

A água é um recurso natural em escassez, preponderantemente, na região semiárida que é caracterizada pelo baixo índice de precipitação pluviométrica e elevada taxas de evaporação; neste contexto para viabilizar o cultivo intensivo, demanda-se investimentos em componentes hidráulicos de sistemas de irrigação duráveis a baixo custo de aquisição propiciando o desenvolvimento de pesquisas científicas sobre materiais que atendam as estas exigências.

Na atualidade o sistema de irrigação localizada por gotejamento encontra-se em plena expansão pois apresenta-se vantajoso nos critérios de economia dos recursos hídricos e energia empregada no funcionamento do sistema.

O sistema de irrigação por gotejamento, muito usado por pequenos e médios irrigantes, são os tubos gotejadores que operam em faixa de vazão de 0,5 a 8,0 L h⁻¹ a baixa pressão de serviço (0,5 kgf cm⁻²), possuindo baixo custo financeiro e curto círculo de vida útil. O método de irrigação localizada por gotejamento por apresentar baixa vazão de água requer irrigações mais frequentes, principalmente nas condições do semiárido brasileiro que apresenta déficit hídrico, sendo necessária a realização de irrigação total para atender a demanda hídrica das culturas.

Na produção de culturas anuais de elevado valor econômico, a aplicação uniforme da água de irrigação na cultura é essencial para a maximização do lucro, porém a ocorrência de entupimentos dos sistemas de irrigação por gotejamento continua sendo um grande desafio para os produtores, pois este sistema é caracterizado pelo baixo volume de água aplicada em alta frequência, o que requer a realização de manutenção frequente para garantir a uniformidade da aplicação de água sobre na área irrigada.

O clima da região de Mossoró-RN, segundo a classificação de Köppen, é do tipo BSw^h, seco, muito quente, com estação chuvosa no verão que se atrasa para o outono, podendo não ocorrer. A precipitação média anual é de 670 mm, apresentando temperatura média anual de 27,4° C, umidade relativa do ar 68,9 % e insolação diária de 10,9 h (INMET, 2016), limitando-se com isto, a disponibilidade de água superficial de boa qualidade para a irrigação.

Para suprir esta demanda hídrica de Mossoró-RN e áreas circunvizinhas são perfurados poços a uma profundidade média de 900 m para extrair água do Aquífero Açu a um elevado custo de perfuração, segundo Medeiros et al. (2011). Como alternativa para suprir a demanda hídrica da região é realizado a perfuração de poços rasos, com média de 80m, perfurados sobre o Aquífero Calcário Jandaira do qual se extrai água de características salinas (CE > 2,2 dS m⁻¹), a um baixo custo e com potencial de uso para irrigação limitado, devido a salinização dos solos, de acordo com Porto Filho et al. (2011) e Dias et al. (2011).

Considerando-se o uso intensivo do sistema de irrigação localizada por gotejamento no semiárido nordestino, aliado a elevadas temperaturas médias anuais e a utilização da água para irrigação proveniente de poços com teores elevados de sais associadas com as aplicações de fertirrigações, bem como o uso intensivo de desobstruídores químicos são fatores que contribuem para a redução do ciclo de vida operacional das fitas gotejadores confeccionadas em polietileno de baixa densidade (PEBD). Nesta conjuntura faz-se necessário a realização de pesquisas científicas para identificar o grau de contribuição que a temperatura e salinidade exercem na redução da vida útil das fitas gotejadoras.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Irrigação localizada

Os sistemas de irrigação localizada consistem em aplicar a água na zona radicular das culturas com baixa intensidade e alta frequência, de modo a manter a umidade do solo ao nível da capacidade de campo (Bernardo et al., 2006).

As atividades antrópicas inerentes ao uso racional dos recursos naturais estão em evidência, principalmente, quanto ao uso eficiente da água para a produção agrícola. Neste contexto, o método de irrigação localizada por gotejamento vem apresentando um crescimento contínuo em detrimento à economia no uso dos recursos hídricos, aliado a altos níveis de produtividade.

Segundo Vilas Boas et al. (2011), o sistema de irrigação por gotejamento apresenta muitas vantagens, destacando-se pela maior eficiência na aplicação da água, maior produtividade, maior eficiência na adubação, melhor controle fitossanitário, economia de mão-de-obra, redução dos gastos com energia elétrica e possibilidade de automação.

De acordo com Bernardo et al. (2006), em condições de campo, os efeitos da eficiência do sistema de irrigação, na maioria das vezes, são negligenciados partindo-se de valores tabelados. Em campo, a eficiência da aplicação de água deve ser calculada com base na vazão, pressão dos emissores, disposição do sistema de irrigação, velocidade do vento, umidade de solo, tempo de irrigação, uniformidade de aplicação do sistema e observações visuais (Merriam & Keller, 1978).

2.2. Coeficiente de uniformidade de distribuição e vazão de sistemas de irrigação por gotejamento

A metodologia para obtenção do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição, proposta por Capra & Scicolone (1998), consiste em coletar água em dezesseis gotejadores para a avaliação do desempenho hidráulico do sistema de irrigação localizada com problemas de entupimento. Enquanto Valnir Júnior et al. (2016), propõem que nove pontos de coleta de dados mostram-se aceitáveis para avaliação de sistema de irrigação localizada de pequeno porte.

A uniformidade de aplicação de água influencia a produtividade agrícola, onde de acordo com Bernardo et al. (2006), é um dos principais parâmetros para avaliação de um

sistema de irrigação é a determinação da uniformidade de aplicação de água sobre a área irrigada.

Para obtenção do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição são instalados coletores em cada emissor, para determinação do volume coletado em três minutos utilizou-se uma proveta e converte-se as vazões obtidas para litros por hora (Santos et al., 2015). Com os dados das vazões dos gotejadores o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição é obtido por meio da Equação 1, conforme metodologia proposta por Keller & Karmeli (1975).

$$CUD = \frac{q_{25}}{\bar{q}} 100 \quad (1)$$

Em que:

CUD - Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (%)

q_{25} - média dos 25% menores valores de vazão observados ($L h^{-1}$); e

$\bar{q}$ - vazão média dos gotejadores, em ($L h^{-1}$).

Merriam & Keller (1978), classificaram o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) utilizando-se dos seguintes critérios presentes na Tabela 1.

Tabela 1. Critérios para classificação do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD)

CUD	Classificação
>90%	Excelente
80 a 90%	Bom
70% a 80%	Regular
<70%	Ruim

Fonte: Merriam & Keller (1978).

Para Lemos Filho et al. (2011), existem vários fatores que podem comprometer uniformidade de distribuição de água nos sistemas de irrigação localizada, destacando-se: a desuniformidade dos emissores, o dimensionamento inadequado do sistema, entupimentos dos gotejadores e desequilíbrio de vazão dos emissores, causado pelas partículas minerais ou orgânicas presentes na água.

A consequência da baixa uniformidade de aplicação de água nos sistemas de irrigação é o aumento do volume aplicado, pois constando-se a diminuição da vazão média dos gotejadores, pelo efeito do entupimento, há uma tendência natural para aumentar o tempo de aplicação (Cunha et al., 2006).

Palaretti et al. (2011), afirmaram que quando a uniformidade de aplicação de água via sistema de irrigação é baixa, a lâmina de água aplicada não é a ideal, e geralmente tende para o

excesso, acarretando aumentos nos custos da irrigação e da produção, maior consumo de água, maior pressão de doenças e redução dos lucros.

Segundo Santos et al. (2015), uma baixa uniformidade de distribuição de água é determinante para que ocorra o excesso de aplicação de água e adubos em algumas em detrimento a outras plantas, resultando no desenvolvimento desuniforme da cultura em campo. A avaliação dos sistemas de irrigação está diretamente relacionada com a vazão, tempo de irrigação e uniformidade de aplicação de água, elementos estes essenciais para tomadas de decisões do produtor.

Palaretti et al. (2011) relataram, ainda, que a qualidade da irrigação fundamenta-se em pilares básicos: qualidade dos equipamentos, adequação do projeto e a qualidade da mão de obra operacional.

2.3. Efeito da temperatura sobre sistema de irrigação por gotejamento

Silva et al. (2011a), conceituam a temperatura como a medida de intensidade de calor; que influencia algumas propriedades da água (densidade, viscosidade, oxigênio dissolvido), com reflexos sobre a vida aquática. A temperatura pode variar em função de fontes naturais (energia solar) e fontes antropogênicas (despejos industriais e águas de resfriamento de máquinas).

A variação térmica das fitas gotejadoras provoca alterações dimensionais do elastômetro dos emissores autocompensantes, ocasionando a variação do fluxo de água nos emissores (Oliver et al., 2016); já para Dogan & Kinak (2010), o aumento da temperatura da água sob condição de radiação solar aumenta o fluxo de vazão dos emissores nos sistemas de irrigação por gotejamento.

As fitas gotejadoras são confeccionadas através de uma liga polimérica chamado de Polietileno de Baixa Densidade (PEBD), e de acordo com De Paoli (2008), este material é susceptível a degradação principalmente por três mecanismos:

1. Térmica - mecanismo de cisão de cadeia através da tensão provocada por aumento da temperatura;
2. Mecânica - no qual há perda das propriedades mecânicas e formação de fissuras, ou modificação química pela tensão mecânica ou cisalhamento, compressão ou dilatação causam o envelhecimento físico.
3. Química - degradação induzida por ácidos, óleos, graxas ou contaminação durante o processo de fabricação industrial.

2.4. Formação de biofilme e incrustações no interior de gotejadores

A formação de incrustações oriunda da precipitação química de sais presentes na água e formação da colônia e filamentos de microbiológica que se originam no interior dos sistemas de irrigação é um grande desafio para a manutenção da eficiência de aplicação de água dos emissores das fitas gotejadoras, pois, Bastos (1999), relata que a precipitação química, a formação de filmes biológicos e os depósitos de partículas inorgânicas no interior de gotejadores são riscos presentes para os sistemas de irrigação.

Gilbert & Ford (1986), afirmam que as principais fontes causadoras de entupimento dos sistemas de irrigação são de natureza química, relacionadas à precipitação de elementos como cálcio e ferro, os de natureza física como as partículas do solo e a origem biológica, relacionado a algas e mucilagem bacteriana.

Problemas relacionados com a salinidade da água ocorrem, frequentemente, em regiões de clima tropical quente e seco, com elevadas taxas de evapotranspiração das culturas e baixos índices pluviométricos, proporcionam o acúmulo de sais como no semiárido brasileiro, onde a salinização decorre da natureza física e química dos solos, do regime pluvial e da alta evaporação (Silva et al., 2011b).

Para Li et al. (2012), o biofilme quando desprendido da linha lateral das fitas gotejadoras acumulam-se nas entradas e saídas dos emissores provocando o seu entupimento.

De acordo com Ravina et al. (1992), devido a complexa inter-relação entre os vários agentes presentes na água de irrigação torna-se difícil a determinação exata da causa do entupimento o que pode acarretar o agravamento do problema no sistema.

A determinação da tendência para formação de incrustações de carbonato de cálcio (CaCO_3) nas fitas gotejadoras pode ser realizada por meio da utilização do Índice de Saturação de Langelier (ISL), definido como modelo de teórico de saturação de carbonato de cálcio na água obtido pela diferença do pH da água medido (pH_m) e o pH teórico que a água alcançaria em equilíbrio com o CaCO_3 , (pH_c), emprega-se a Equação 2, proposta por Ayers & Westcot (1976):

$$\text{ISL} = \text{pH}_m - \text{pH}_c \quad (2)$$

Em que:

ISL = Índice de Saturação de Langelier;

pH_m = pH medido; e

$\text{pH}_c = (\text{pK}_d - \text{pK}_s) + \text{pCa} + \text{p(Alk)}$.

Para López et al. (1992), as constantes pK_d , pK_s e Alk são dependentes da variação de temperatura, isto é, um valor de ISL igual a zero ou negativo pode torna-se positivo com o aumento da temperatura da água e ocasionar a formação de precipitados de $CaCO_3$.

Os valores de $(pK_d - pK_s)$ proposto por Ayers & Westcot (1976), presente na Tabela 2, são válidos para a temperatura da água de 25 °C, para temperaturas diversas da estabelecida recomenda-se a utilização do fator de correção proposto por López et al. (1992), de acrescentar 1% para cada °C acima de 25 °C e redução de 1% a cada °C abaixo de 25 °C.

Tabela 2. Valores de $(pK_d - pK_s)$, pCa e p(Alk) em relação às concentrações de $[Ca + Mg + Na]$, $[Ca]$ e $[CO_3 + HCO_3]$, respectivamente:

Concentração (meq L ⁻¹)	$(pK_d - pK_s)$ à 25°C	pCa	p(Alk)
0,05	2,0	4,6	4,3
0,10	2,0	4,3	4,0
0,15	2,0	4,1	3,8
0,20	2,0	4,0	3,7
0,25	2,0	3,9	3,6
0,30	2,0	3,8	3,5
0,40	2,0	3,7	3,4
0,50	2,1	3,6	3,3
0,75	2,1	3,4	3,1
1,00	2,1	3,3	3,0
1,25	2,1	3,2	2,9
1,50	2,1	3,1	2,8
2,00	2,2	3,0	2,7
2,50	2,2	2,9	2,6
3,00	2,2	2,8	2,5
4,00	2,2	2,7	2,4
5,00	2,2	2,6	2,3
6,00	2,2	2,5	2,2
8,00	2,2	2,4	2,1
10,00	2,3	2,3	2,0
12,50	2,3	2,2	1,9
15,00	2,3	2,1	1,8
20,00	2,4	2,0	1,7
30,00	2,4	1,8	1,5
50,00	2,5	1,6	1,3
80,00	2,5	1,4	1,1

Fonte: Ayers & Westcot (1976), adaptado pelo Pesquisador (2017).

A partir da mensuração dos valores de ISL determina-se um dos três estados: ISL = 0, equilíbrio químico; ISL < 0 tendência a corrosão; ISL > 0, indica tendência a incrustações através da precipitação de $CaCO_3$ e, conseqüentemente, a ocorrência das incrustações dos emissores das fitas gotejadoras.

A formação de biofilme e a incrustações são fatores que contribuem para o processo de entupimentos das fitas gotejadoras, pois segundo Nakayama & Bucks (1991), não existe um método simples para calcular o potencial de entupimento dos gotejadores de um sistema de irrigação. Porém, analisando os atributos físico-químicos e biológicos da água é possível prevenir a ocorrência de entupimento e formular medidas de controle.

2.5. Microscopia eletrônica de varredura (MEV) aplicada ao monitoramento de gotejadores

Para a captação de imagens sobre a presença de microrganismos e incrustação aderidas as paredes e orifícios das fitas gotejadoras utilizou-se a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), que produz a imagem ampliada e tridimensional a partir de interações das amostras a emissão de feixe de elétrons que varre a área para formação da imagem, permitindo a visualização de possíveis imperfeições, porosidades, estrutura da superfície estrutura da seção transversal.

Para a captação de imagens no MEV de materiais poliméricos faz necessário a metalização das amostras com ouro para tornarem-se eletronicamente condutoras (Kurek et al., 2015).

A cobertura de íons metálicos da amostra possibilita que o feixe de elétrons emitidos pelo MEV varra a superfície da amostra gerando elétrons secundários que são detectados pelos sensores para formação das imagens da superfície e forma (Valentim et al., 2014).

Na literatura internacional a Microscopia Eletrônica de Varredura esta sendo aplicada no mapeamento da bioincrustação no interior de emissores para análise do processo de entupimentos conforme descrito por (Dazhuang et al., 2009; Eroglu et al., 2012; Oliver et al., 2014).

2.6. Qualidade da água para irrigação

Na irrigação localizada por gotejamento onde a água escoar por pequenos bocais dos emissores, o controle da qualidade da água é importante para evitar a obstrução causada pela deposição dos sólidos em suspensão. Sendo assim antes da instalação do projeto de irrigação deve-se avaliar os atributos de qualidade da água, para adotar medidas preventivas quanto ao entupimento do sistema de irrigação (Lemos Filho et al., 2011). Teixeira et al. (2010), afirmam

que o conhecimento dos problemas em potencial do uso da água para irrigação é importante para realizar o monitoramento contínuo dos parâmetros físico-químicos, principalmente quando a água utilizada para irrigação é proveniente de poços rasos, como os da região de Mossoró-RN que apresentam a salinidade elevada.

A água extraída do Aquífero Açu é caracterizada como de boa qualidade, enquanto a água do Aquífero Calcário Jandaira apresenta restrições devido ao elevado grau de salinização, com predominância dos teores de bicarbonato e cálcio (Maia, 2013).

Os principais atributos para avaliação da qualidade da água de irrigação são os físico-químicos e biológicos, associados ao pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos; e íons, como sódio, potássio, cálcio, magnésio, cloretos, sulfatos, carbonatos e bicarbonatos (Almeida, 2010).

Ayers & Westcot (1976) classificaram a água para fins irrigação de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3. Classificação de água para irrigação.

Problema Potencial	Grau de Restrição de Uso			
	Unidades	Nenhum	Ligeira e Moderada	Severa
Salinidade (afeta a disponibilidade de água para as plantas)				
Condutividade elétrica da água (CEa)	dS m ⁻¹	< 0,70	0,7 - 3,0	> 3,0
Totais de sais dissolvidos (SDT)	mg L ⁻¹	< 450	450 - 2000	> 2000
Infiltração (avaliada usando-se CEa e RAS conjuntamente)				
RAS = 0 - 3 e CEa =		> 0,7	1,2 - 0,3	< 0,2
RAS = 3 - 6 e CEa =		> 1,2	0,7 - 0,3	< 0,3
RAS = 6 - 12 e CEa =		> 1,9	1,9 - 0,5	< 0,5
RAS = 12 - 20 e CEa =		> 2,9	2,9 - 1,3	< 1,3
RAS = 20 - 40 e CEa =		> 5,0	5,0 - 2,9	< 2,9
Toxidade dos íons específicos (afeta culturas sensíveis)				
Sódio (Na)				
Irrigação por superfície	RAS	< 3	3,0 - 9,0	> 9
Irrigação por aspersão	(mmol L ⁻¹) ^{0,5}	< 3	> 3	
Cloreto (Cl)				
Irrigação por superfície	mmol _c L ⁻¹	< 4	4,0 - 10	> 10
Irrigação por aspersão	mmol _c L ⁻¹	< 3	> 3	
Boro (B)	mg L ⁻¹	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
Outros (afetam culturas sensíveis)				
Nitrogênio (NO ₃ - N)	mg L ⁻¹	< 5,0	5,0 - 3,0	
Bicarbonato (HCO ₃) (apenas aspersão convencional)	mmol _c L ⁻¹	< 1,5	1,5 - 8,5	
pH		Faixa normal: 6,5 - 8,4		

Fonte: Ayers & Westcot (1976), adaptado pelo Pesquisador (2017).

REFERÊNCIAS

- Almeida, O. A. de. Qualidade da água de irrigação. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. 234 p.
- Ayers, R.S.; Westcot, D.W. Water quality for agriculture. Rome: FAO, 1976. 174 p.(Irrigation and Drainage Paper, 29, Rev. 1.)
- Bastos, R. K. X. Fertirrigação com águas residuárias. In: Folegatt, M. V. (Coord.). Fertirrigação – citrus, flores, hortaliças. Guaíba: Agropecuária, p. 297- 291, 1999.
- Bernardo, S.; Soares, A. A.; Mantovani, E. C. Manual de Irrigação. 8ª Ed. Viçosa, Ed. UFV, 2006. 625 p.
- Capra, A.; Scicolone, B. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. Journal of Agricultural Engineering Research, London, v. 70, n. 4, p. 355-365, 1998.
- Cunha, F. F., Matos, A. T.; Batista, R. O.; Monaco, P. A. L. Uniformidade de distribuição em sistemas de irrigação por gotejamento utilizando água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro. Acta Scientiarum. Agronomy, Maringá, v. 28, n. 1, p. 143-147, 2006.
- Dazhuang, Y.; Zhihui, B.; Rowan, M.; Likun, F.; Shumei, R. Peiling, Y. Biofilm structure and its influence on clogging in drip irrigation emitters distributing reclaimed wastewater. Journal of Environmental Sciences, v. 21, p. 834-841, 2009.
- De Paoli, M. A. Degradação e estabilização de polímeros. 2 versão on-line. Editada por João Carlos de Andrade, 2008. Disponível em: <http://www.chemkeys.com/blog/wp-content/uploads/2008/09/polimeros.pdf>. Acesso em: 02 março 2017.
- Dias, N. S.; Oliveria, de A. M.; Sousa Neto, O. N. de; Blanco, F. F.; Rebouças, J. R. L. Concentração salina e fases de exposição à salinidade do meloeiro cultivado em substrato de fibra de coco. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v.33, n.4, p. 915-921, 2011.
- Dogan, E.; Kirnak, H.; Water temperature and system pressure effect on drip lateral. Irrigation Science, v. 28, p. 407-419, 2010.
- Eroglu, S.; Sahin, U.; Tunc, T.; Sahin, F. Bacterial application increased the flow rate of CaCO₃-clogged emitters of drip irrigation system. Journal of Environmental Management, v. 98, p. 37-42. 2012.
- Gilbert, R. G.; Ford, H. W. Operational principles/emitter clogging. In: Nakayama, F. S.; Bulks, D. A. Trickle irrigation for crop production. Amsterdam: Elsevier, 1986. p. 142-63.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Disponível em <www.inmet.gov.br>. Acesso em: 13 maio. 2017.
- Keller, J.; Karmeli, D. Trickle irrigation desing. Glendora: Rain Bird Sprinkler Manufacturing, 1975. 133 p.
- Kurek, A. P.; Dotto, M. E. R.; Sellin, N.; Araújo, P.H. H.; Tratamento químico superficial e metalização de ABS, PVC e blendas de PVC/ABS. Polímeros: Ciência e Tecnologia, São Carlos, v 25, n. 2, p. 212-218, 2015.

- Lemos Filho, M. A. F.; Zanini, J. R.; Silva, E. R. S.; Cazetta, J. O.; Ferraudo, A. S. Sistema com aeração, decantação e filtração para a melhoria da qualidade de água em irrigação localizada. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.31, n.3, p.506-519, 2011.
- López, J. R.; Abreu, J. M. H.; Regalado, A. P., Hernandez, J. F. G. Riego localizado. Madrid: MAPA-YRIDA, Ediciones Mundi-Prensa, 1992. 405 p.
- Li, G. B.; Li, Y. K.; Xu, T. W.; Liu, Y. Z.; Jin, H.; Yang, P. L.; Yan, D. Z.; Ren, S. M.; Tian, Z. F. Effects of average velocity on the growth and surface topography of biofilms attached to the reclaimed wastewater drip irrigation system laterals. *Irrigation Science*, v.30, p. 103-113, 2012.
- Maia, C. E. Qualidade ambiental em solo com diferentes ciclos de cultivo do meloeiro irrigado. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.43, n.4, p.603-609, 2013.
- Medeiros, D. C.; Medeiros, de J. F.; Pereira, F. A. L.; Souza, de R. O.; Souza, P. A. Produção e qualidade de melão cantaloupe cultivado com água de diferentes níveis de salinidade. *Revista Caatinga*, Mossoró, v.24, n.1, p.92-98, 2011.
- Merriam, J. L.; Keller, J. Farm irrigation system evaluation: a guide for management. Logan: Utah State University, 1978. 271 p.
- Nakayama, F.S.; Bucks, D.A. Water quality in drip/trickle irrigation: A review. *Irrigation Science*, New York, v.12, p.187-192, 1991.
- Oliver, M. M. H.; Hewa, G. A.; Pezzaniti, D. Bio-fouling of subsurface type drip emitters applying reclaimed water under medium soil thermal variation. *Agricultural Water Management*, v. 133, p. 12-23, 2014.
- Oliver, M. M. H.; Hewa, G. A.; Pezzaniti, D. Thermal variation and pressure compensated emitters. *Agricultural Water Management*. v. 176, p. 29-39, 2016.
- Palaretti, L. F.; Mantovani, E. C.; Sediyma, G. C.; caracterização e diagnóstico de sistemas de irrigação e práticas de manejo de água na citricultura do norte do estado de São Paulo. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v. 28, n. 2, p. 531-551, 2011.
- Porto Filho, F. Q.; Medeiros, de J. F.; Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Sousa, P. S.; Dantas, D. C. Evolução da salinidade e do pH de um solo sob cultivo de melão irrigado com água salina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.15, n.11, p.1130-1137, 2011.
- Ravina, E.P.; Sofer, Z.; Marcu, A.; Shisha, A.; Sagi, G. Control of emitter clogging in drip irrigation with wastewater. *Irrigation Science*, Heidelberg, v.13, p.129-139, 1992.
- Santos, M. A. L.; Santos, D. P. dos; Silva, D. S.; Silva, M. S.; Cavalcante, P. H. S. Avaliação da uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por gotejamento em inhame (*Dioscorea Cayennensis* Lam.). *Ciência Agrícola*, Rio Largo, v. 13, n. 1, p. 7-13, 2015.
- Silva, I. N.; Fontes, L. de O.; Tavella L. B.; Oliveira, J. B.; Oliveira, A. C. Qualidade de água na irrigação. *Agropecuária Científica no Semi-Árido*, v.07, n 3, p. 01-15, 2011a.
- Silva, J. L. A.; Alves, S. S. V.; Nascimento, I. B. do; Silva, M. V. T.; Medeiros, J. F.; Evolução da salinidade em solos representativos do agropólo Mossoró-Assu cultivado com meloeiro com água de deferentes salinidades. *Agropecuária Científica no Semi-Árido*, v. 7, n. 4, p. 26-31, 2011b.

- Teixeira, M. B.; Coelho, R. D.; Silveira, P. R. A. Avaliação de tratamentos utilizados para desobstrução de tubos gotejadores. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* v.4, n.1, p.43–55, 2010.
- Valentim, A. C.; Tavares, M. I. B.; Silva, E. O.; Efeito da adição de TIO^2 nas propriedades térmicas e na cristalinidade do copolímero de etileno/acetato de vinila. *Química Nova*, São Paulo, v. 2, n. 2. p. 255-259, 2014.
- Valnir Júnior, M.; Rocha, J. P. A.; Demontiêzo, F. L. L.; Lima, S. de S.; Carvalho, C. M.; Carvalho, L. L. S. Análise comparativa de metodologia de coleta de dados para avaliação de sistemas de irrigação localizada. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, Fortaleza, v.10, n. 5, p.965 - 975, 2016.
- Vilas Boas, R. C.; Pereira, G. M.; Reis, R. P.; Lima Júnior, J. A.; Consoni, R. Viabilidade econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura da cebola. *Ciência agrotecnologia*, Lavras, v. 35, n. 4, p. 781-788, 2011.

CAPÍTULO 1. EFEITO DA SALINIDADE DA ÁGUA NO DESEMPENHO HIDRAÚLICO DE FITAS GOTEJADORAS EM CONDIÇÕES LABORATORIAIS

RESUMO

As fitas gotejadoras são suscetíveis à obstrução dos emissores que potencializam a redução do ciclo de vida operacional dos sistemas de irrigação que operam com água de qualidade inferior. O presente trabalho objetivou estudar a variação e salinidade da água de irrigação como fatores de redução da uniformidade de aplicação de água em condições laboratoriais. Para isto, montou-se uma bancada experimental no Laboratório de Instrumentação de Máquinas e Mecanização Agrícola da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, em Mossoró-RN, onde os ensaios experimentais com três tipos de fitas gotejadoras foram realizados em condições controladas de temperatura e pressão de serviço. Na bancada foram utilizadas quatro linhas de irrigação com três metros de comprimento para cada tipo de fita gotejadora, sendo estas submetidas a ciclos de ensaios de curta e longa duração, estabelecido em 100, 250, 500 e 750 h de operação, empregando a vazão e o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição no monitoramento do desempenho hidráulico. Na realização dos experimentos coletou-se quatro amostras de água subterrâneas entre dezembro de 2015 a agosto de 2016. Os resultados obtidos indicaram que o aumento da salinidade acarretou o decréscimo da vazão nas fitas gotejadoras sem alteração da classificação do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição da água de irrigação com risco potencial para sodificação do solo.

Palavras-chave: Vida Útil. Obstrução. Vazão. Uniformidade de aplicação.

CHAPTER 1. EFFECT OF WATER SALINITY ON THE HYDRAULIC PERFORMANCE OF DRIPPING STRIPS IN LABORATORY CONDITIONS

ABSTRACT

Drip tapes are susceptible to obstruction of emitters that enhance the reduction of the operational life cycle of irrigation systems operating with lower quality water. The present work aimed to study the variation and salinity of irrigation water as factors of reduction of water application uniformity in laboratory conditions. For this, an experimental bench was set up in the Laboratory of Machine Instrumentation and Agricultural Mechanization of the Federal Rural Semi-Arid Federal University, in Mossoró-RN, where the experimental tests with three types of drip tapes were carried out under controlled conditions of temperature and Operating pressure. Four irrigation lines with three meters of length were used for each type of drip tape, which were submitted to short and long duration test cycles, established at 100, 250, 500 and 750 h of operation, using flow and The Uniform Distribution Coefficient in the monitoring of hydraulic performance. In the experiments, four groundwater samples were collected between December 2015 and August 2016. The results indicated that the increase in salinity resulted in a decrease in the flow rate in the drip tapes without changing the classification of the Water Distribution Uniformity Coefficient Of irrigation with potential risk for soil sodification.

Key words: Lifetime. Obstruction. Flow rate. Uniformity of application.

1. INTRODUÇÃO

As alterações no desempenho hidráulico de sistemas de irrigação por gotejamento estão associadas a qualidade da água utilizada, assim como retratado por Batista et al. (2007), com água residuária doméstica terciária; Batista et al. (2013) com água residuária de suinocultura; Silva et al. (2014) com água residuária do processamento da castanha de caju; Mesquita et al. (2016) com percolado de aterros sanitário diluído; Marques et al. (2016) com água residuária de laticínios; e Silva et al. (2016) com água contendo concentrações salinas.

Para Cunha et al. (2013), a uniformidade de aplicação de água é afetada por vários fatores, tais como os hidráulicos, qualidade dos gotejadores e da água, que podem ocasionar o entupimento dos emissores. Entre os diversos fatores que afetam a uniformidade de distribuição da água nos sistemas de irrigação localizada, estão a pressão de serviço, a velocidade da água na tubulação e o entupimento dos emissores (Silva et al., 2012).

A uniformidade de distribuição de água é influenciada pela obstrução dos emissores, que apresentam como possíveis causas para o entupimento a qualidade de água, a geometria dos orifícios, sistema de filtragem e sensibilidade do emissor à temperatura e variações de pressão (Zocoler et al., 2015).

Ribeiro et al. (2005), constataram que a utilização de água subterrânea normalmente apresenta problemas associadas a incrustações e corrosão das tubulações dos sistemas de irrigação, pois as substâncias químicas dissolvidas nestas águas, como o carbonato de cálcio e o sulfeto de cálcio em altas concentrações, podem precipitar e formar incrustações nos emissores e paredes das tubulações, provocando a restrição ao fluxo da passagem da água.

Busato & Soares (2010), verificaram que as obstruções provocam variação na vazão dos gotejadores, e conseqüentemente, redução da uniformidade de distribuição de água, assim como afeta a distribuição de fertilizantes.

Para Silva et al. (2016), a interação entre os níveis de salinidade da água de irrigação e a pressão de trabalho provoca alterações no coeficiente de variação do fluxo dos emissores ocasionado pelo acúmulo de partículas sólidas perto das saídas dos orifícios.

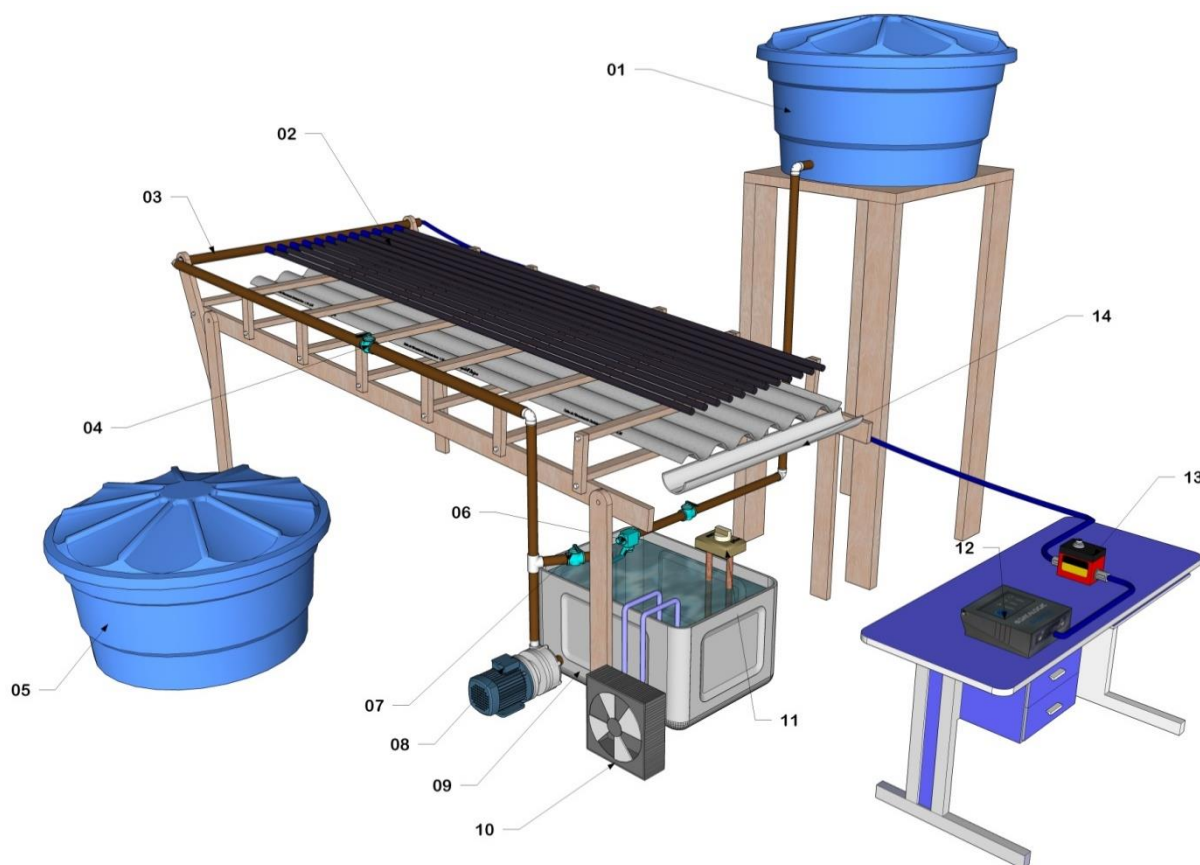
Uso intensivo do sistema de irrigação localizada por gotejamento no semiárido brasileiro, aliado a elevadas temperaturas médias anuais e a utilização de água para irrigação proveniente de poços com teores elevados de sais, são fatores que contribuem para a obstrução dos emissores. Desta forma, objetivou-se com este estudo identificar o grau de contribuição que a condutividade elétrica da água exerce para a redução da vazão e alteração do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição dos emissores, bem como realizou-se caracterização físico-química da água para fins de irrigação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado no período de dezembro de 2015 a março de 2017, no Laboratório de Instrumentação de Máquinas e Mecanização agrícola (LIMMA) pertencente ao curso de Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal Rural do Semi-Árido/UFERSA, em Mossoró-RN.

Na Figura 1 está apresentada a ilustração da bancada experimental confeccionada pelo software Sketchup Pro 2014, versão 14.0.4900. A bancada experimental possui as dimensões 1,50 m x 3,50 m (largura x comprimento, respectivamente), altura de 1,00 m e 1,20 m (ponto mais baixo e ponto mais elevado, respectivamente). Sobre a mesma foram fixadas quatro telhas de fibrocimento numa área de 0,90 m x 3,00 m (largura x comprimento), com declividade de 8%, e na sua base foi inserida uma calha coletora conectada ao reservatório térreo de 0,10 m³, para permitir a recirculação da água do ensaio.

Figura 1. Ilustração da bancada experimental.



Legenda: 1 – Reservatório elevado 0,10 m³, 2 – Fitas gotejadoras, 3 – Linha de irrigação principal, 4 – Registro de esfera de 12,7 mm, 5 – Reservatório auxiliar 1,00 m³, 6 – Boia de recalque, 7 – Registro extravasador, 8 – Bomba centrífuga de 1/4 cv, 9 – Reservatório térreo 0,10 m³, 10 – Sistema de refrigeração de 7,04 kW, 11- Sistema de aquecimento de 2,00 kW, 12 – Datalogger, 13 – Sensor de pressão e 14 – Calha coletora.

Fonte: Pesquisador (2017).

Devido à necessidade de recarregar a água perdida pela evaporação do sistema, foi acoplado um reservatório elevado de $0,10 \text{ m}^3$ para garantir a manutenção do nível de água, possibilitando a retroalimentação da bancada. Durante o ensaio experimental houve evaporação diária de 8 litros no Tratamento Testemunha e 15 litros de água nos Tratamentos I e II, por isso foram necessários a reposição da água.

Na bancada experimental foram instalados simultaneamente três tipos de fitas gotejadoras com quatro linhas de fitas gotejadoras com 3,0m de comprimento. As fitas gotejadoras foram de fabricantes distintos de grande participação no mercado potiguar. As unidades gotejadoras foram acionadas por motobomba centrífuga de 1/4 cv.

O sistema de automação e monitoramento da bancada experimental foi composto por termopares tipo T (cobre-constantan) para monitoramento da temperatura da água e temperatura ambiente, sensor de pressão marca honeywell, modelo ASDX100G24R, para monitoramento da pressão de trabalho, conjunto de refrigeração de 7,04 kW e sistema de aquecimento de água portátil de 2,00 kW, responsáveis por manter a temperatura da água dentro dos valores previamente definidos para cada ensaio. O sistema de monitoramento, armazenamento de dados e automação utilizado foi da marca *Campbell Scientific Inc.*, modelo CR23X. Foi elaborado um programa para o CR23X automatizar e monitorar os parâmetros de ensaios a uma frequência de uma leitura por segundo e armazenar a média dos dados a cada sessenta segundos. A automação foi responsável por manter a temperatura da água dentro dos valores previamente definidos para cada ensaio, $20 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ e $30 \pm 2,0 \text{ }^\circ\text{C}$. Com o monitoramento da temperatura da água o sistema de automação acionava os sistemas de refrigeração ou aquecimento toda vez que temperatura encontrava-se acima ou abaixo dos valores pré-programados, respectivamente. Os dados foram transferidos posteriormente para um computador para processamento e análises.

As temperaturas de $20 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ e $30 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ foram escolhidas para a realização dos ensaios, pois a primeira é correspondente a temperatura utilizada no ensaio de curta duração de resistência à pressão hidrostática em tubos de polietileno para sistema de irrigação localizada, conforme Norma Brasileira, NBR 11795 (ABNT, 2008), enquanto que a temperatura a $30 \text{ }^\circ\text{C}$ corresponde a temperatura média do espelho de água da região de Mossoró-RN.

Na realização dos ensaios foram realizadas quatro captações de água de poços entre dezembro de 2015 a agosto de 2016, sendo três da Fazenda Experimental Rafael Fernandes, localizada na zona rural do município de Mossoró-RN nas coordenadas geográficas $5^\circ 03' 43''$ de latitude sul, e $37^\circ 24' 06''$ de longitude oeste, e uma do poço do Sítio Cumaru, localizados na zona rural do município de Upanema-RN nas coordenadas geográficas são: $5^\circ 33' 34''$ de latitude sul, e $37^\circ 11' 56''$ de longitude oeste.

Após a realização da captação da água nos poços para o experimento e logo após cada ciclo de operação do ensaio coletava-se amostra de 500 ml de água do reservatório térreo da bancada experimental para monitoramento das características físico-químicas da água quanto ao pH, CEa, K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , RAS, dureza, cátions e ânions.

Ao término de cada ciclo de operação de 100, 250, 500 e 750 h esvaziava-se o reservatório térreo ao mesmo tempo em que o recarregava com água do reservatório auxiliar para garantir redução dos efeitos da alteração das características físico-químico da água provenientes da evaporação ou decantação de sedimentos.

As fitas gotejadoras foram submetidas aos seguintes ciclos de operação 100, 250, 500 e 750 h de operação em cada tratamento para os três tipos de fita gotejadora, cujas características técnicas estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características técnicas de três tipos de fitas gotejadoras não autocompensante.

Características técnicas	Tipos de fitas gotejadoras		
	M1	M2	M3
Vazão ($L\ h^{-1}$)	1,60	1,70	1,60
Pressão (kPa)	100	100	100
Espaçamento entre emissores (m)	0,30	0,30	0,30
Espessura da parede (mm)	0,25	0,25	0,25
Diâmetro interno (mm)	16,20	15,60	16,00
Comprimento do emissor (mm)*	20,33	35,18	25,37

(*) Dimensões medida com paquímetro digital com precisão 0,05mm

Fonte: Catálogo dos fabricantes, adaptado pelo Pesquisador (2017).

Foi realizado monitoramento da obstrução através da determinação da tendência para formação de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) com a utilização do Índice de Saturação de Langelier (ISL), que é definido como modelo teórico de saturação de carbonato de cálcio na água obtido pela diferença do pH da água medido (pH_m), e o pH teórico que a água alcançaria em equilíbrio com o $CaCO_3$, (pH_c) de acordo com a Equação 1, elaborado por Ayers & Westcot (1976):

$$ISL = pH_m - pH_c \quad (1)$$

Em que:

ISL = Índice de Saturação de Langelier;

pH_m = pH medido; e

$pH_c = (pK_d - pK_s) + pCa + p(Alk)$.

Para López et al. (1992), as constantes pK_d , pK_s e Alk são dependentes da variação de temperatura, isto é, um valor de ISL igual a zero ou negativo pode torna-se positivo com aumento da temperatura da água e ocasionar a formação de precipitados $CaCO_3$. Os valores de $(pK_d - pK_s)$ proposto por Ayers & Westcot (1976) presentes na Tabela 2, são válidos para a temperatura da água de 25°C, porém como os ensaios deste experimento foram realizados a 20°C e 30°C realizou-se a correção destes valores conforme recomendação de López et al. (1992), de acrescentar 1 % para cada °C acima de 25 °C e redução de 1 % a cada °C abaixo de 25 °C.

Tabela 2. Valores de $(pK_d - pK_s)$, pCa e p(Alk) em relação às concentrações de $[Ca + Mg + Na]$, $[Ca]$ e $[CO_3 + HCO_3]$, respectivamente:

Concentração (meq L ⁻¹)	$(pK_d - pK_s)$ à 25°C	$(pK_d - pK_s)$ à 20°C	$(pK_d - pK_s)$ à 30°C	pCa	p(Alk)
0,05	2,0	1,90	2,1	4,6	4,3
0,10	2,0	1,90	2,1	4,3	4,0
0,15	2,0	1,90	2,1	4,1	3,8
0,20	2,0	1,90	2,1	4,0	3,7
0,25	2,0	1,90	2,1	3,9	3,6
0,30	2,0	1,90	2,1	3,8	3,5
0,40	2,0	1,90	2,1	3,7	3,4
0,50	2,1	2,00	2,2	3,6	3,3
0,75	2,1	2,00	2,2	3,4	3,1
1,00	2,1	2,00	2,2	3,3	3,0
1,25	2,1	2,00	2,2	3,2	2,9
1,50	2,1	2,00	2,2	3,1	2,8
2,00	2,2	2,09	2,3	3,0	2,7
2,50	2,2	2,09	2,3	2,9	2,6
3,00	2,2	2,09	2,3	2,8	2,5
4,00	2,2	2,09	2,3	2,7	2,4
5,00	2,2	2,09	2,3	2,6	2,3
6,00	2,2	2,09	2,3	2,5	2,2
8,00	2,2	2,09	2,3	2,4	2,1
10,00	2,3	2,19	2,4	2,3	2,0
12,50	2,3	2,19	2,4	2,2	1,9
15,00	2,3	2,19	2,4	2,1	1,8
20,00	2,4	2,28	2,5	2,0	1,7
30,00	2,4	2,28	2,5	1,8	1,5
50,00	2,5	2,38	2,6	1,6	1,3
80,00	2,5	2,38	2,6	1,4	1,1

Fonte: Ayers & Westcot (1976), adaptado pelo Pesquisador (2017).

A partir da mensuração dos valores de ISL obtidos das análises físico-químicas da água determina-se um dos três estados: $ISL = 0$, equilíbrio químico; $ISL < 0$, tendência a corrosão;

ISL > 0, indica tendência a incrustações através da precipitação de CaCO₃ e, conseqüentemente, a ocorrência da obstrução dos emissores das fitas gotejadoras.

Seguindo as recomendações de Capra & Scicolone (1998), utilizou-se a coleta de água em dezesseis gotejadores para a avaliação do desempenho hidráulico do sistema de irrigação localizada com problemas de entupimento. As coletas das amostras ocorreram antes da realização do primeiro ciclo operacional de 100 h e após cada um deste foi realizado a coleta do volume de água aplicado durante três minutos, medindo-se este volume por meio de proveta de 250 ml, com subdivisões de 2 ml, para determinar a vazão, posteriormente o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD).

Para López et al. (1992), a obtenção do coeficiente de uniformidade com apenas dezesseis emissores, previamente selecionados, impossibilita a aplicação de critérios estatísticos confiáveis para determinar a probabilidade. De acordo Valnir Júnior et al. (2016), a partir de 24 medições dos emissores os coeficientes de uniformidade praticamente não variam, além disso, o mesmo propõe que 9 pontos de coleta de dados mostram-se aceitável para avaliação de sistema de irrigação localizada de pequeno porte.

O Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), segundo Keller & Karmeli (1975), é obtido por meio da Equação 2:

$$CUD = \frac{q_{25}}{\bar{q}} 100 \quad (2)$$

Em que:

CUD - Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (%)

q_{25} - média dos 25% menores valores de vazão observados (L h⁻¹); e

$\bar{q}$ - vazão média dos gotejadores, em (L h⁻¹).

Utilizou-se para a classificação do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição os critérios estabelecidos por Merriam & Keller (1978), presentes na Tabela 3.

Tabela 3. Critérios para classificação do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD).

CUD	Classificação
>90%	Excelente
80 a 90%	Bom
70% a 80%	Regular
<70%	Ruim

Fonte: Merriam & Keller (1978).

O experimento foi montado no delineamento inteiramente casualizado com três tipos de fitas gotejadores e quatro repetições. Neste experimento foram estudados os tratamentos a seguir de forma isolada:

1. Tratamento testemunha (TES) - Água a temperatura de 20 °C, CEa no intervalo de 0,52 dS m⁻¹ a 0,81 dS m⁻¹, extraído de poço à 870 m de profundidade, da Fazenda Experimental Rafael Fernandes e resfriado artificialmente no laboratório;
2. Tratamento I (TR I) - Água a temperatura de 30 °C, CEa no intervalo de 0,56 dS m⁻¹ a 1,09 dS m⁻¹, extraído de poço à 870 m de profundidade, da Fazenda Experimental Rafael Fernandes e resfriado artificialmente no laboratório;
3. Tratamento II (TR II) - Água a temperatura de 30 °C, CEa no intervalo de 1,46 dS m⁻¹ a 2,56 dS m⁻¹, extraído de poço raso à 70 m de profundidade, do Sítio Cumaru.

As análises estatísticas foram realizadas no software Análises Estatísticas Versão 9.1 (SAEG, 2007), os dados de CUD e vazão (Q) em função do tempo de ensaio foram submetidos à análise de regressão. Os modelos de regressão foram escolhidos com base nos valores do coeficiente de determinação ($R^2 > 0,60$), na significância dos coeficientes das equações de regressão empregando-se o teste “t” de 1 % e 5 % de probabilidade e no processo em estudo, exceto para o tratamento testemunha pelo fato deste ser realizado em conformidade com a NBR 11795 (ABNT, 2008), que divergem da situação de campo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que as amostras iniciais para monitoramento das características físico-químicas da água do experimento coletadas do reservatório térreo, isto é, antes da realização dos ensaios demonstraram a ocorrência de alterações nos valores do pH, CEa, K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , RAS, dureza, cátions e ânions em relação as amostras coletas após os ciclos de operação de 100, 250, 500 e 750h, independentemente do tratamento estudado como apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados das análises físico-químicas da água para fins de irrigação em relação aos tratamentos: testemunha (TES), tratamento I (TR I) e tratamento II (TR II) nos correspondentes ciclos de operação inicial e pós 100, 250, 500 e 750h.

Tratamento/ciclo operacional (h)	Local	pH	CE	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	CO_3^{2-}	HCO_3^-	ISL	RAS	Dureza	Cátions	ânions
			dS m ⁻¹	".....mmolc L ⁻¹"									mg L ⁻¹	mmolc L ⁻¹	
0		8,00	0,52	0,55	2,10	1,40	1,70	1,80	0,60	2,60	0,21	1,70	155,00	5,80	5,00
TES - 100		7,50	0,81	1,22	2,93	1,70	3,10	2,40	0,80	2,80	-0,19	1,90	240,00	8,90	6,00
TES - 250		8,20	0,78	0,99	3,27	1,40	2,00	2,40	0,40	3,60	0,51	2,50	170,00	7,70	6,40
0*		8,00	0,58	0,50	3,28	2,60	1,40	2,20	0,80	4,10	0,61	2,30	200,00	7,80	7,10
TES - 500	Fazenda Experimental Rafael Fernandes	7,70	0,52	0,44	2,42	2,80	1,30	2,00	0,60	3,10	0,21	1,70	205,00	7,00	5,70
TES - 750		8,10	0,71	0,25	3,64	2,10	1,70	2,20	1,70	3,10	0,61	2,60	190,00	7,70	7,00
TR I - 100		8,60	0,84	0,97	3,94	1,60	1,50	3,60	1,20	4,10	0,89	3,20	155,00	8,00	8,90
TR I - 250		8,60	0,94	1,13	4,48	1,90	2,20	4,00	1,20	4,50	0,89	3,10	205,00	9,70	9,70
TR I - 500		8,20	1,09	1,46	5,63	1,90	3,90	4,40	1,20	4,10	0,38	3,30	290,00	12,90	9,70
0**		7,90	0,56	0,45	2,74	2,50	1,40	3,20	0,80	4,10	0,29	2,00	195,00	7,10	8,10
TR I - 750		8,40	0,97	1,21	6,02	1,50	3,40	4,20	1,60	4,80	0,69	3,80	245,00	12,10	10,60
0		7,10	1,46	0,20	3,51	7,90	3,30	6,80	0,80	6,10	-0,02	1,50	560,00	14,90	13,70
TR II - 100	Sítio Cumaru	8,00	1,74	0,91	5,03	9,10	2,90	9,20	1,60	5,40	0,99	2,10	600,00	17,90	16,20
TR II - 250		8,10	2,17	1,01	6,42	9,00	6,00	11,80	1,80	4,60	0,98	2,30	750,00	22,40	18,20
TR II - 500		8,10	2,56	0,82	9,85	11,20	7,00	16,60	2,20	4,30	1,08	3,30	910,00	28,90	23,10
TR II - 750		8,20	2,17	0,88	5,76	8,60	7,20	11,60	1,60	4,10	1,00	2,00	790,00	22,40	17,30

0* Segunda coleta de água do poço da Fazenda Experimental Rafael Fernandes.

0**Terceira coleta de água do poço da Fazenda Experimental Rafael Fernandes.

Fonte: Pesquisador (2017).

A evaporação da água do experimento explica as alterações nos parâmetros físico-químicas da água quanto à CEa, K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , RAS, dureza, cátions e ânions, que segundo Palácio et al. (2011), a elevada taxa de evaporação potencial da água promove a concentração de sais. Esta evaporação foi observada através do monitoramento do nível de água do reservatório elevado da bancada experimental que evidenciou um decréscimo de 8 a 15 litros de água por dia. Este fato acarreta a concentração de sais solúveis, elevação da dureza da água e, conseqüentemente, aumento da condutividade elétrica da água do reservatório térreo de onde foram coletadas as amostras de água para análise após o encerramento dos ciclos de operação.

Observou-se que a decantação de sais solúveis também contribuiu para alteração das características físico-químicas da água, fato este que ficou visivelmente evidente no reservatório auxiliar, considerando o intervalo de repouso existente entre os ciclos de operação, possibilitando que as partículas de sais em suspensão na água e de maior densidade decantassem e com isto ocasionou alteração das características físico-químicas da água utilizada para reabastecer o reservatório elevado da bancada experimental.

As alterações nos valores medidos para o pH estão associadas ao desenvolvimento de colônias de bactérias ou algas nos orifícios dos emissores das fitas gotejadoras que consomem o oxigênio presente na água, provocando momentaneamente redução no valor do pH da água.

A Tabela 5 apresenta os valores médios obtidos nos ensaios para os parâmetros de temperatura ambiente, temperatura da água e pressão de serviços de acordo com os ciclos operacionais e tratamentos realizados. Através do sistema de automação instalado na bancada experimental foi possível manter a temperatura da água e pressão de serviço dentro dos valores previamente definidos para cada ensaio.

Tabela 5. Valores médios da temperatura ambiente (T. Amb.), temperatura da água (T. Água) e pressão de serviço (P.Serviço) para cada ciclo de operação.

Tratamento	Temperatura (°C)	Ciclo de operação (h)	Valores médios		
			T. Amb. (°C)	T. Água (°C)	P. Serviço (kPa)
Testemunha	20	0 – 100	29,8	20,0	101,8
		100 – 250	32,1	20,0	100,3
		250 – 500	31,9	20,1	98,9
		500 – 750	30,1	20,2	100,2
Tratamento I	30	0 – 100	31,1	31,0	100,0
		100 – 250	30,4	31,3	100,6
		250 – 500	29,1	30,8	99,9
		500 – 750	29,1	30,9	101,0
Tratamento II	30	0 – 100	27,9	31,1	100,9
		100 – 250	29,8	31,4	99,9
		250 – 500	27,2	31,1	100,0
		500 – 750	29,3	31,4	100,7

Fonte: Pesquisador (2017).

Os valores encontrados para o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) medidos para as fitas gotejadoras tipo 1 (M1), tipo 2 (M2) e tipo 3 (M3), quando novas e após os ciclos operacionais dos tratamentos testemunha, I e II encontram-se dispostos na Tabela 6. Os valores obtidos para o CUD são condizentes com a classificação de excelente para o emissor tipo M3 em todos os ciclos operacionais dos tratamentos testemunha I e II, caracterizando que a variação da temperatura da água e salinidade entre os tratamentos não provocou alterações que acarretasse alteração da classificação do CUD. Estes resultados do CUD para o gotejador

M3 são condizentes com os obtidos por Coelho et al. (2015), do qual obtive CUD acima de 90 % com e sem aplicação de CO₂ na água de irrigação a 25 °C e 40 °C.

Tabela 6. Valores do CUD e respectiva classificação em função dos tratamentos, temperatura da água, condutividade elétrica (CEa) e ciclo de operação.

Tratamento	Temperatura (°C)	CEa (dS m ⁻¹)	Ciclo de operação (h)	CUD (%)		
				M1	M2	M3
Testemunha	20	0,52 a 0,81	0	97 - E	98 - E	97 - E
			100	97 - E	98 - E	99 - E
			250	91 - E	96 - E	97 - E
			500	94 - E	95 - E	98 - E
			750	67 - R	93 - E	96 - E
Tratamento I	30	0,56 a 1,09	0	97 - E	99 - E	99 - E
			100	98 - E	98 - E	97 - E
			250	95 - E	98 - E	96 - E
			500	95 - E	98 - E	92 - E
			750	69 - R	97 - E	94 - E
Tratamento II	30	1,46 a 2,56	0	95 - E	98 - E	98 - E
			100	96 - E	85 - B	98 - E
			250	93 - E	92 - E	97 - E
			500	95 - E	92 - E	95 - E
			750	94 - E	94 - E	94 - E

Legenda: E – Excelente; B – Bom e R – Ruim, conforme critério de classificação Merriam & Keller (1978).

Fonte: Pesquisador (2017).

O emissor M1, apresentou os valores para CUD que o caracteriza como excelentes para os tratamentos I, II e testemunha, exceto no ciclo operacional de 750 h do tratamento testemunha e tratamento I que foi observada uma redução acentuada do CUD, isto é, 97 % para 67 % e 97 % para 69 % respectivamente para cada tratamento ocasionando alteração de classificação do CUD de excelente para ruim de acordo com Merriam & Keller (1978). Essa redução acentuada do CUD no emissor do tipo M1 em relação aos emissores dos tipos M2 e M3 do tratamento testemunha para o tratamento I é compatível com os dados obtidos por Coelho et al. (2013) na condição de gotejadores invólucros em solos argiloso e arenoso com aplicação de 0, 10, 15, 20 e 40 kPa de sucção.

Foi observado que o emissor tipo M2, apresentou classificação do CUD como excelentes para todos os tratamentos, exceto no ciclo operacional de 100 h do tratamento II, do qual foi observado redução do CUD de 98 % para 85 %, que ocasionou o rebaixamento da classificação para bom, segundo Merriam & Keller (1978). Estas alterações pontuais do CUD observadas nos emissores tipo M1 e M2 após os ciclos de 750 h dos tratamentos I e testemunha,

podem ser tratadas como uma casualidade pois estão associados à obstrução dos orifícios que pode ocorrer instantaneamente ou de forma gradual, de acordo com Camargo et al. (2014).

A vazão dos emissores tipos M1, M2 e M3, assim com os seus respectivos valores para CUD, permaneceram mais homogêneos durante todos os ciclos operacionais do tratamento II, indicando que os tipos de fitas gotejadoras analisados são apropriados para utilização de água de irrigação com ISL próxima a 1,0. Cabe ressaltar a preponderância do CUD sobre a análise da redução de vazão, pois na avaliação dos sistemas de irrigação o CUD é amplamente utilizado por atribuir maior peso às plantas que recebem menos água, este método é adotado para o cálculo do tempo de irrigação, conforme afirmado por López et al. (1992).

Analisando os valores das vazões presente na Tabela 7, observa-se que a variação entre a vazão informada pelos fabricantes das três fitas gotejadoras ensaiadas e os valores medidos atendem as especificações técnicas da Norma Brasileira, NBR ISO 9261 (ABNT, 2006), cuja amplitude de variabilidade aceita é $\pm 7\%$; esses dados também são condizentes com os resultados obtidos por Dalri et al. (2015) no ciclo de operação “0”, isto é, para fitas gotejadoras virgens.

Tabela 7. Variação da vazão em função dos tipos de fitas gotejadoras, tratamentos e ciclos operacionais.

Tratamento	Operação (h)	Vazão M1		Vazão M2		Vazão M3	
		Medido (L h ⁻¹)	Redução (%)	Medido (L h ⁻¹)	Redução (%)	Medido (L h ⁻¹)	Redução (%)
Testemunha	0	1,64	0,0	1,65	0,0	1,64	0,0
	100	1,44	13,9	1,43	15,0	1,45	13,1
	250	1,37	19,3	1,40	17,9	1,39	17,6
	500	1,39	17,8	1,38	19,2	1,39	18,0
	750	1,26	30,2	1,35	21,8	1,33	23,4
Tratamento I	0	1,62	0,0	1,65	0,0	1,62	0,0
	100	1,42	14,1	1,43	15,8	1,43	13,1
	250	1,38	17,0	1,41	17,6	1,43	13,1
	500	1,36	19,2	1,42	16,4	1,40	15,4
	750	1,24	30,4	1,40	17,8	1,35	19,4
Tratamento II	0	1,62	0,0	1,64	0,0	1,62	0,0
	100	1,56	3,8	1,52	7,9	1,57	3,2
	250	1,57	3,2	1,54	6,5	1,60	1,3
	500	1,56	3,8	1,54	6,5	1,57	3,2
	750	1,56	3,8	1,55	5,8	1,51	7,3

P N: pressão nominal de 100 kPa

Fonte: Pesquisador (2017).

A Tabela 7 demonstra que a alteração da temperatura da água de irrigação de 20 °C para 30 °C entre os tratamentos testemunha e tratamento I não ocasionou grandes alterações das vazões dos emissores das fitas gotejadoras do mesmo tipo durante o mesmo ciclo operacional.

Foi observado um maior decréscimo da vazão inicialmente medida em todos os tratamentos e tipos ensaiados após a conclusão do ciclo operacional de 100 h. Estes dados são condizentes com Nascimento et al. (2016), do qual analisaram o comportamento do CUD em emissores novos e usados na irrigação com água salina no cultivo de uva, afirmando que irrigar com água salina tende a causar obstruções mais expressivas no início do processo de irrigação.

A Tabela 7 evidencia que a redução da vazão máxima alcançada para ambos os tratamentos testemunha e o tratamento I foi obtida no emissor do tipo M1, respectivamente 1,26 e 1,24 L h⁻¹. Estes dados são condizentes com encontrados por Santos (2015), na cultura do Inhame. O comportamento da redução da vazão nos emissores M2 e M3 é similar em termos percentuais entre si quando comparadas aos valores alcançados aos submetidos ao mesmo tratamento.

As oscilações nos valores das vazões medidas nos tratamentos testemunha, I e II durante os ciclos operacionais de 100 a 500 h, para todos os tipos ensaiados estão associada às variações nos níveis de salinidade devido ao processo inicial de entupimento parcial, que em termos gerais inicia-se um comportamento oscilatório, mas a partir da evolução do processo de obstrução diminui-se a sua amplitude, segundo Cunha et al. (2014), que analisou o comportamento do CUD na aplicação de fertirrigação via água de irrigação operando em pressões de 100 a 350 kPa.

Foi observado a partir das análises físico-químicas das amostras de água dos tratamentos testemunha, tratamento I e tratamento II que o aumento da condutividade elétrica entre início e o término de cada ciclo de operação, acarreta o aumento do entupimento dos emissores, sendo estes resultados condizentes com Zocoler et al. (2015), que avaliaram o comportamento dos gotejadores operando com pressão de 59, 98, 137, 157 kPa e CEa de 0,6; 1,5; 2,5; 3,5 e 4,5 dS m⁻¹, demonstrando que a alteração nos níveis de salinidade provocam entupimento parcial dos emissores das fitas gotejadoras.

O comportamento do CUD e da vazão nos tratamentos realizados foi variável entre os tipos de fitas gotejadoras ensaiados indicando a necessidade do monitoramento constante desses parâmetros para o bom desenvolvimento das culturas sob o prisma da eficiência na qualidade do produto final aliada ao menor volume da água (m³) em relação ao peso (kg) do alimento produzido, ou seja, pegada hídrica. Segundo Santos et al. (2013), a uniformidade de distribuição da água é essencial em qualquer método de irrigação, pois afeta a eficiência do uso da água e, consequentemente, a qualidade e quantidade produzida.

Considerando-se que o tratamento testemunha representa as condições de avaliação da conformidade das fitas gotejadoras com as normas técnicas vigentes, isto é, operando em água

de boa qualidade a temperatura de 20 °C, não foi realizado análises estatísticas de regressão para avaliar os dados do CUD e vazão em relação aos ciclos operacionais

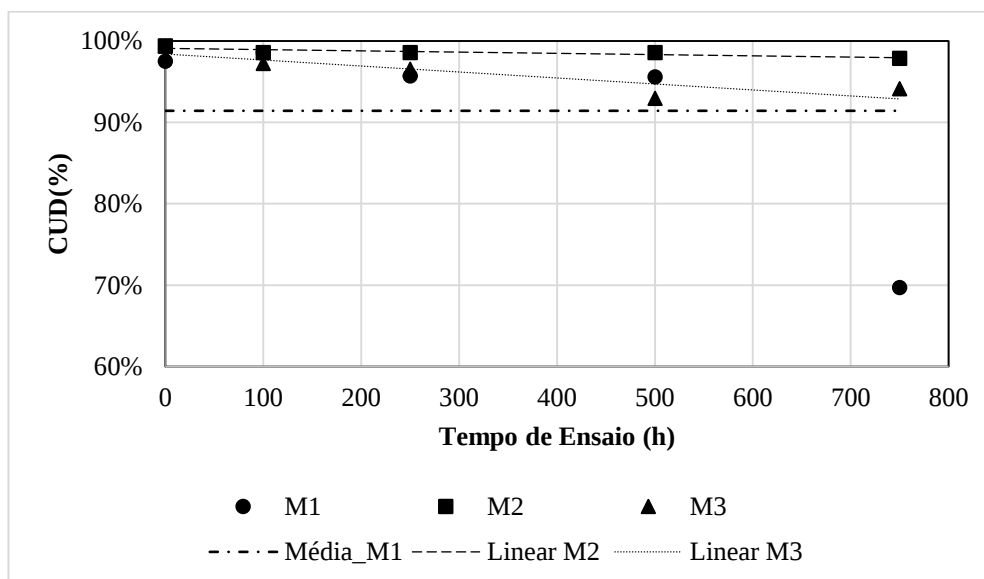
Observou-se que o comportamento do CUD, em função do tempo de ensaio, apresentado na Tabela 8 e nas Figuras 2 e 3, teve como melhor ajuste o modelo de regressão linear, para os tipos de fitas gotejadoras M2 e M3 dos tratamentos I e M3 do tratamento II, apresentando os respectivos valores para R^2 de 0,74; 0,78 e 0,97, respectivamente. Esse mesmo tipo de modelo de regressão foi encontrado por Marques et al. (2016) em unidades gotejadoras operando com efluente de laticínios diluído com condutividade elétrica de 1,88 dS m⁻¹, no entanto a faixa de amplitude de R^2 obtida pelos referidos autores difere da encontrada no presente estudo.

Tabela 8. Ajuste de equações de regressão dos valores médios do CUD em função dos tempos de ensaio (T, em h) para três tipos de fitas gotejadoras.

Combinações	Equações de regressão	R^2	Probabilidade (p)
TR I x M1	$\hat{CUD} = 91,42$	-	-
TR I x M2	$\hat{CUD} = 99,09 - 0,0015T$	0,74	$p < 0,05$
TR I x M3	$\hat{CUD} = 98,40 - 0,0074T$	0,78	$p < 0,05$
TR II x M1	$\hat{CUD} = 95,22$	-	-
TR II x M2	$\hat{CUD} = 92,60$	-	-
TR II x M3	$\hat{CUD} = 98,41 - 0,0050T$	0,97	$p < 0,01$

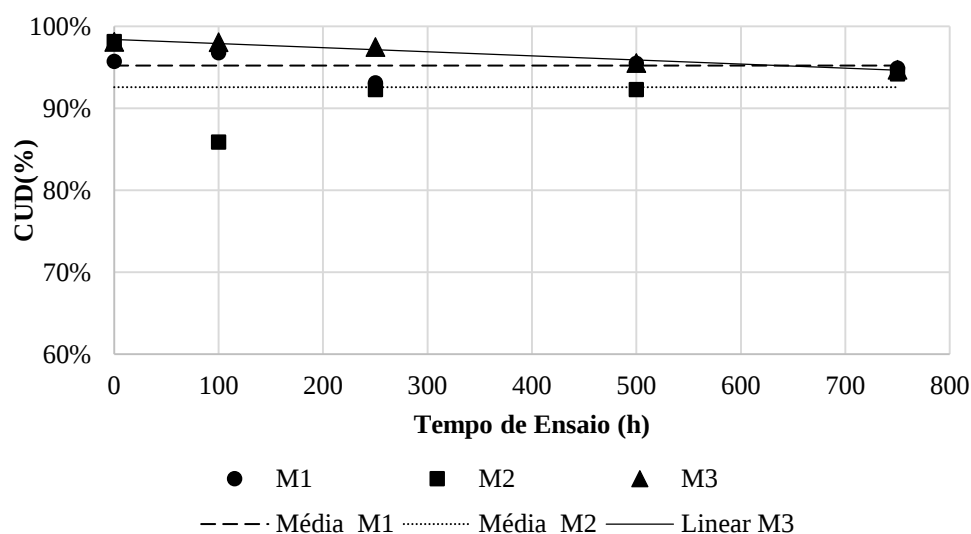
Fonte: Pesquisador (2017).

Figura 2. Comportamento do CUD no tratamento I, para os emissores M1, M2 e M3



Fonte: Pesquisador (2017).

Figura 3. Comportamento do CUD no tratamento II, para os emissores M1, M2 e M3

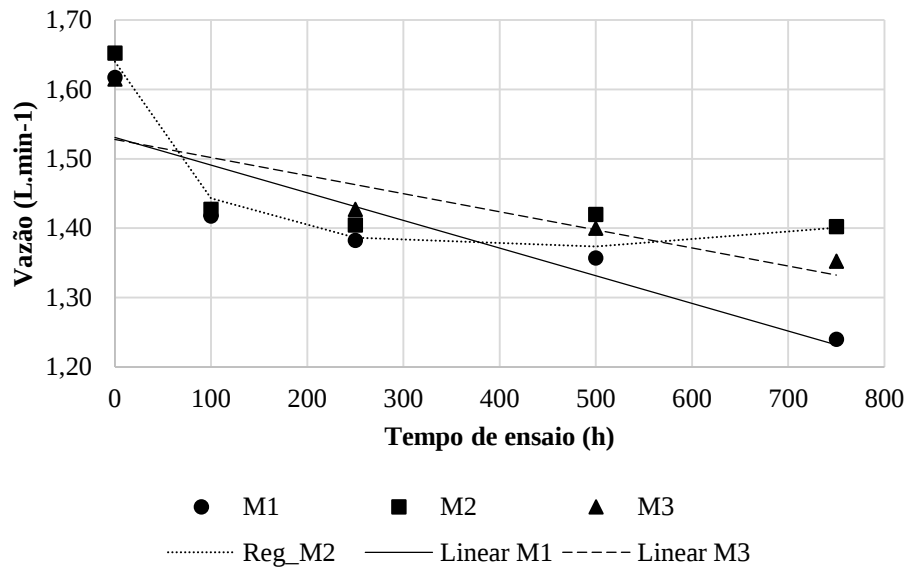


Fonte: Pesquisador (2017).

Em relação ao modelo de regressão linear, o coeficiente angular da reta expressa a taxa de entupimento de cada tipo de gotejador em relação aos tratamentos I e II. Neste sentido, o gotejador M3 do tratamento I apresentou o maior coeficiente angular (0,074) em relação aos demais, indicando sua maior susceptibilidade ao entupimento. Observou-se também, que para os emissores do tipo M1 do tratamento I e M1 e M2 do tratamento II, que a média (modelo nulo) foi o que melhor se ajustou aos dados de CUD em função do tempo de ensaio. Este resultado corrobora com o obtido por Marques et al. (2016) com gotejadores aplicando água residuária de laticínio tendo salinidade de $1,88 \text{ dS m}^{-1}$, onde para um dos gotejadores ensaiados o modelo nulo (média) foi o que melhor se ajustou aos dados de CUD em relação ao tempo de ensaio.

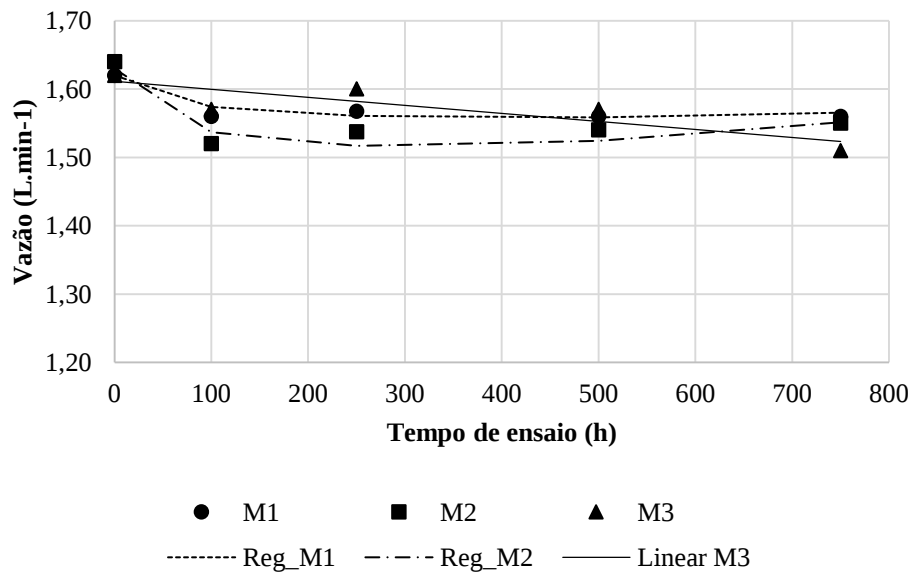
Analisando-se as Figuras 4 e 5 juntamente com os dados apresentados na Tabela 9 o modelo de regressão linear foi o que melhor se ajustou aos dados de Q em função do tempo de ensaio para os gotejadores do tipo M1 e M3 do tratamento I e M3 do tratamento II, com R^2 de 0,79; 0,63 e 0,75, respectivamente. Nas fitas gotejadoras M2 do tratamento I, juntamente com M1 e M2 do tratamento II, o modelo de regressão raiz quadrada foi o que melhor se ajustou aos dados de Q em função do tempo de ensaio, tendo valores de R^2 de 0,96; 0,91 e 0,90, respectivamente. Esses resultados assemelham-se parcialmente dos encontrados por Marques et al. (2016), onde um dos tipos de gotejadores ensaiados apresentou relação raiz quadrada entre os dados de Q e tempo de ensaio.

Figura 4. Comportamento da vazão no tratamento I, para os emissores M1, M2 e M3.



Fonte: Pesquisador (2017).

Figura 5. Comportamento da vazão no tratamento II, para os emissores M1, M2 e M3



Fonte: Pesquisador (2017).

Tabela 9. Ajuste de equações de regressão dos valores médios da vazão (Q) em função dos tempos de ensaio (T, em h) para três tipos de fitas gotejadoras.

Combinações	Equações de regressão	R²	Probabilidade
TR I x M1	$\hat{Q} = 1,53 - 0,00040 T$	0,79	p<0,05
TR I x M2	$\hat{Q} = 1,64 - 0,026 T^{0,5} + 0,00063 T$	0,96	p<0,05
TR I x M3	$\hat{Q} = 1,53 - 0,00026 T$	0,63	p<0,05
TR II x M1	$\hat{Q} = 1,62 - 0,0061 T^{0,5} + 0,00015 T$	0,91	p<0,05
TR II x M2	$\hat{Q} = 1,63 - 0,013 T^{0,5} + 0,00037 T$	0,90	p<0,05
TR II x M3	$\hat{Q} = 1,61 - 0,00012 T$	0,75	p<0,05

Fonte: Pesquisador (2017).

4. CONCLUSÕES

Constatou-se a redução gradativa da vazão em todas as fitas gotejadoras dos tratamentos I e II ao final dos ciclos operacionais de 100, 250, 500 e 750 h.

O aumento da condutividade elétrica da água acarretou decréscimo da vazão ao longo dos ciclos operacionais do tratamento II em relação ao tratamento I.

O aumento da condutividade elétrica da água entre o tratamento I e II não provocou alteração da classificação do CUD entre os tipos de gotejadores, exceto o M2 no tratamento II no ciclo operacional de 100 h.

Os atributos físico-químicos das amostras de água da Fazenda Experimental Rafael Fernandes e do Sítio Cumaru indicam ser de boa qualidade para irrigação, com moderada potencialidade a sodificação do solo no Sítio Cumaru.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 9261: Equipamentos de irrigação agrícola. Emissores e tubos emissores. Especificação e métodos de ensaio. São Paulo, 2006. 17 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11795: Tubos de polietileno para sistemas de irrigação localizada. Rio de Janeiro, 2008. 21 p.
- Ayers, R.S.; Westcot, D.W. Water quality for agriculture. Rome: FAO, 1976. 174 p. (Irrigation and Drainage Paper, 29, Rev. 1.)
- Batista, R. O.; Matos, A. T. ; Cunha, F. F. ; Lo Monaco, P. A.; Formação de biofilme em gotejadores aplicando água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro. Acta Scientiarum. Agronomy, Maringá, v. 29, n. 3, p. 367-371, 2007.
- Batista, R. O.; Oliveira, R. A. ; Santos, D. B. ; Oliveira, A. F. M. ; Azevedo, C. A. V. ; Medeiros, S. S. . Obstrução e uniformidade de aplicação em sistemas de irrigação por gotejamento aplicando-se efluente da suinocultura. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Fortaleza, v. 17, n. 7, p. 698-705, 2013.
- Busato, C. C. M.; Soares. A. A. Desempenho de gotejadores, utilizando água de baixa qualidade química e biológica. Bioscience Journal, Uberlândia, v.26, n.5, p.739-746, 2010.
- Camargo, A, P.; Molle, B.; Tomas, S.; Frizzzone, J, A. Assessment of clogging effects on lateral hydraulics: proposing a monitoring and detection protocol Irrigation Science, v. 32, n. 3, p. 181–191, 2014.
- Capra, A.; Scicolone, B. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. Journal of Agricultural Engineering Research, London, v. 70, n. 4, p. 355-365, 1998.
- Coelho, R. D.; Santos Júnior, J. L. C.; Mendoza, C. J.; Ribeiro, P. H. P.; Cunha, F. N.; Teixeira, M. B. Efeito da aplicação de vácuo no desempenho de diferentes modelos de gotejadores sob duas condições de textura de solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.17, n.9, p.909–917, 2013.
- Coelho, R. D.; Teixeira, M. B.; Retore Neto, O.; Cunha, F. N.; Silva, N. F.; Nascimento, A. H. C. do; histerese em gotejadores autocompensantes novos com aplicação de CO₂ na água de irrigação. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, Fortaleza, v.9, n.2, p. 42 - 56, 2015.
- 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, Fortaleza, v. 7, n. 4, p. 248-257, 2013.
- Cunha, F. N.; Silva, N. F.; Teixeira, M. B.; Carvalho, J. J.; Moura, L. M. F. Melo, S. R. P. Uniformidade de aplicação de fertilizantes sob um sistema de gotejamento subsuperficial. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, Fortaleza, v. 8, n. 5, p. 391-402, 2014.
- Dalri, A. B.; Gracia, C. J. B.; Palaretti, J. R. Z.; Faria, R. T. Caracterização hidráulica e técnica de tubos emissores não regulados. Revista Caatinga, Mossoró, v. 28, n. 4, p. 161 – 169, 2015.
- Keller, J.; Karmeli, D. Trickle irrigation desing. Glendora: Rain Bird Sprinkler Manufacturing, 1975. 133 p.

- López, J. R.; Abreu, J. M. H.; Regalado, A. P., Hernandez, J. F. G. Riego localizado. Madrid: MAPA-YRIDA, Ediciones Mundi-Prensa. 1992. 405 p.
- Marques, B. C. D.; Cunha, V. T.; Cunha, V. T.; Silva, K. B.; Batista, R. O.. Desempenho de gotejadores operando com água residuária de laticínios em escala laboratorial. Irriga, Botucatu, v. 21, n. 1, p. 140-155, 2016.
- Merriam, J. L.; Keller, J. Farm irrigation system evaluation: a guide for management. Logan: Utah State University. 1978. 271 p.
- Mesquita, F. O. ; Alves, S. M. C. ; Batista, R. O. ; Dantas, T. B. ; Souza, L. Drip units operating with dilute landfill leachate. Revista Caatinga, Mossoró, v. 29, n. 1, p. 163-172, 2016.
- Nascimento, R. C.; Medeiros, P. R. F.; Santos, G. S.; Teles, E.C. P. V. A.; Gonçalves, D. R.; Martins, A. P. F.; Dinâmica da obstrução de emissores usados na cultura da uva utilizando água salina de poço subterrâneo. Irriga, Botucatu, v. 21, n. 3, p. 491-502, 2016.
- Palácio, H. A. Q.; Araújo Neto, J. R.; Meireles, A. C. M.; Andrade, E. M.; Santos, J. C. N.; Chaves, L. C. G. Similaridade e fatores determinantes na salinidade das águas superficiais do Ceará, por técnicas multivariadas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.15, n.4, p.395-402, 2011.
- Ribeiro, T. A.; Airoidi, R. P. S.; Paterniani, J. E. S.; Silva, M. J. M. Variação dos parâmetros físicos, químicos e biológicos da água em um sistema de irrigação localizada. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.9, n.3, p.295-301, 2005.
- SAEG - Sistema para análises estatísticas versão 9.1 (SAEG). Viçosa: Fundação Arthur Bernardes, UFV, 2007. Disponível em: Acesso em: 02 fev. 2017.
- Santos, C. S.; Santos, D. P. dos; Silva, P. F.; Alves, E. S.; Santos, M. A. L. dos. Avaliação da uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por gotejamento. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável. Mossoró, v. 8, n. 3, p. 10 - 16, 2013.
- Silva, K. B.; Silva Júnior, M. J.; Batista, R. O.; Santos, D. B. ; Batista, R. O.; Lemos Filho, L. C. A. Irrigação por gotejamento com água residuária tratada da indústria da castanha de caju sob pressões de serviço. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 35, n. 2, p. 695-705, 2014.
- 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, p. 480- 486, 2012.
- Silva, P. F.; Matos, R. M.; Dantas Neto, J.; Gomes, R. C. B.; LIMA, V. L. A. Characterization of the hydraulic performance of self-compensating emitters with water of different salt concentrations. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 37, n. 2, p. 639-650, 2016.
- Softonic International. SketchUp Pro 2014. Disponível em: <<https://sketchup-pro-14.softonic.com.br/#app-softonic-review>>. Acesso em: 20 mar. 2017.
- Valnir Júnior, M.; Carvalho, C. M.; Santos Neto, A. M.; Soares, J. I.; Lima, S. C. R.V.; Carvalho, M. A. R. Análise de desempenho em laboratório de linha gotejadora antes e após sua utilização em campo. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, Fortaleza, v.5, n. 4, p.351 - 360, 2011.
- Valnir Júnior, M.; Rocha, J. P. A.; Demontiêzo, F. L. L.; Lima, S. S.; Carvalho, C. M.; Carvalho, L. L. S. Análise comparativa de metodologia de coleta de dados para avaliação de sistemas

de irrigação localizada. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, Fortaleza, v.10, n. 5, p.965 - 975, 2016.

Zocoler, J. L.; Ribeiro, P. H. P.; Silva, N. F.; Cunha, F. N.; Teixeira, M. B.; Soares, F. A. L. Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento com aplicação de água salina. Irriga, Botucatu, Edição Especial, 20 anos Irriga + 50 anos FCA, p. 234-247, 2015.

CAPÍTULO 2. USO DA MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA NO MONITORAMENTO DO PROCESSO DE BIOINCRUSTAÇÃO DAS FITAS GOTEJADORAS OPERANDO COM TEMPERATURAS E SALINIDADES DISTINTAS

RESUMO

No sistema de irrigação localizada por gotejamento a água é aplicada em baixa intensidade e alta frequência na região radicular da cultura de forma a propiciar que a umidade do solo esteja próxima à capacidade de campo, este sistema de irrigação é exposto a agentes físicos e químicos que potencializam a redução do ciclo operacional das fitas gotejadoras. Objetivou-se com este trabalho analisar o nível de contribuição da temperatura e salinidade na evolução do processo de entupimentos dos emissores, utilizando-se da Microscopia Eletrônica de Varredura no monitoramento da bioincrustação. Os ensaios experimentais foram realizados no Laboratório de Instrumentação de Máquinas e Mecanização Agrícola da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, em Mossoró-RN. Foram avaliadas três tipos de fitas gotejadoras em quatro linhas de irrigação com três metros de comprimento cada, sendo estas submetidas a ciclos de ensaios de 100, 250, 500 e 750 h de operação, com a temperatura da água de 20 °C e 30 °C numa bancada experimental. A Condutividade elétrica da água variou de 0,52 dS m⁻¹ a 2,56 dS m⁻¹. Após o término de cada ciclo de operação coletou-se amostras das fitas gotejadoras, as quais foram submetidas ao microscópio eletrônico de varredura para o monitoramento das imagens do processo de obstrução. Os resultados demonstram que o aumento da temperatura e salinidade potencializa a formação de biofilme e precipitados de sais nas paredes internas e orifícios das fitas gotejadoras.

Palavras-chave: Qualidade da água. Entupimento. Vida útil.

CHAPTER 2. USE OF ELECTRONIC SCAN MICROSCOPY IN THE MONITORING OF THE BIOINCRUSTATION PROCESS OF DRIPPING STRIPS OPERATING WITH DIFFERENT TEMPERATURES AND SALINITIES

ABSTRACT

In the drip irrigation system the water is applied at low intensity and high frequency in the root region of the crop in order to provide that the soil moisture is close to the field capacity, this irrigation system is exposed to physical and chemical agents that Reducing the operational cycle of drip tapes. The objective of this work was to analyze the level of contribution of temperature and salinity in the evolution of the process of clogging of the emitters, using Scanning Electron Microscopy in the monitoring of biofouling. The experimental tests were carried out in the Laboratory of Machine Instrumentation and Agricultural Mechanization of the Universidade Federal Rural do Semi-Árido, in Mossoró-RN. Three types of drip tapes were evaluated in four irrigation lines, each measuring three meters in length. These were submitted to 100, 250, 500 and 750 h operating cycles, with a water temperature of 20 °C and 30 °C in a Experimental bench. The electrical conductivity of water ranged from 0.52 dS m⁻¹ to 2.56 dS m⁻¹. After the end of each operation cycle samples were collected from the drip tapes, which were submitted to the scanning electron microscope to monitor the images of the obstruction process. The results demonstrate that the increase in temperature and salinity potentiates the formation of biofilms and precipitates of salts in the inner walls and holes of the drip tapes.

Key words: Water quality. Clogging. Life useful.

1. INTRODUÇÃO

A vida útil do sistema de irrigação localizada por gotejamento está associada a problemas com entupimento de emissores das fitas gotejadora, esta por sua vez são influenciadas pelas características físico-química da água que propiciam a ocorrência da obstrução pela formação de biofilme ou precipitados de sais nos orifícios. Camargo (2014), constatou que o entupimento dos emissores é resultado da ação individual ou combinada de agentes físicos, químicos e biológicos.

As fitas gotejadoras utilizadas nos sistemas de irrigação são produzidas com polietileno de baixa densidade (PEBD) cuja durabilidade está limitada pelo grau de exposição aos agentes de degradação como temperatura e radiação solar. Segundo Jordan et. al. (2012), a vida útil das fitas gotejadoras é de três anos ou 5.000 h de operação; para Biscaro et al. (2013), a vida útil foi dois anos ou 2.000 h de operação, já para Augustinho (2011), foi de quatro anos num ciclo de 2.500 h.

A formação de bioincrustações nos labirintos e emissores das fitas gotejadoras oriundas da oriunda da precipitação química de sais presentes na água aliadas a formação da colônia e filamentos microbiológicos são um grande desafio a manutenção da eficiência do sistema de irrigação localizada. Bastos (1999), relata que a precipitação química, a formação de filmes biológicos e os depósitos de partículas inorgânicas no interior de gotejadores são riscos presentes para os sistemas de irrigação.

Gilbert & Ford (1986), afirmam que as principais fontes causadoras de entupimento dos sistemas de irrigação são de natureza química, relacionadas à precipitação de elementos como cálcio e ferro, os de natureza física como as partículas do solo e a origem biológica, relacionado a algas e mucilagem bacteriana.

Segundo Oliver et al. (2016), a variação no fluxo dos emissores das fitas gotejadoras provém de uma gama de fontes, incluindo a variação térmica local que afeta a temperatura da água provocando alterações dimensionais do elastômetro dos emissores autocompensantes.

Considerando-se que o sistema de irrigação localizada por gotejamento é susceptível ao processo de entupimento pela formação de precipitados químicos de sais e pelo desenvolvimento de atividade microbiológica, esta que por sua vez podem ser potencializados pela temperatura e qualidade da água de irrigação. Diante disso, objetivou-se com este estudo analisar o nível efeito da temperatura e salinidade na evolução do processo de entupimentos das fitas gotejadoras, empregando-se da Microscopia Eletrônica de Varredura no monitoramento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado no período de dezembro de 2015 a março de 2017, no Laboratório de Instrumentação de Máquinas e Mecanização Agrícola (LIMMA) pertencente ao curso de Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal Rural do Semi-Árido/UFERSA, em Mossoró-RN.

Para a realização do experimento foi construída uma bancada experimental com três tipos de fitas gotejadoras de fabricantes distintos com características técnicas similares, submetidas aos ciclos de operação de 100, 250, 500 e 750 h em cada tratamento. As características técnicas das fitas gotejadoras estão presentes na Tabela 1.

Tabela 1. Características técnicas de três tipos de fitas gotejadoras não autocompensantes.

Características técnicas	Tipos de fitas gotejadoras		
	M1	M2	M3
Vazão (L h ⁻¹)	1,60	1,70	1,60
Pressão (kPa)	100	100	100
Espaçamento entre emissores (m)	0,30	0,30	0,30
Espessura da parede (mm)	0,25	0,25	0,25
Diâmetro interno (mm)	16,20	15,60	16,00
Comprimento do emissor (mm)*	20,33	35,18	25,37

(*) Dimensões medida com paquímetro digital com precisão 0,05mm

Fonte: Catálogo dos fabricantes, adaptado pelo Pesquisador (2017).

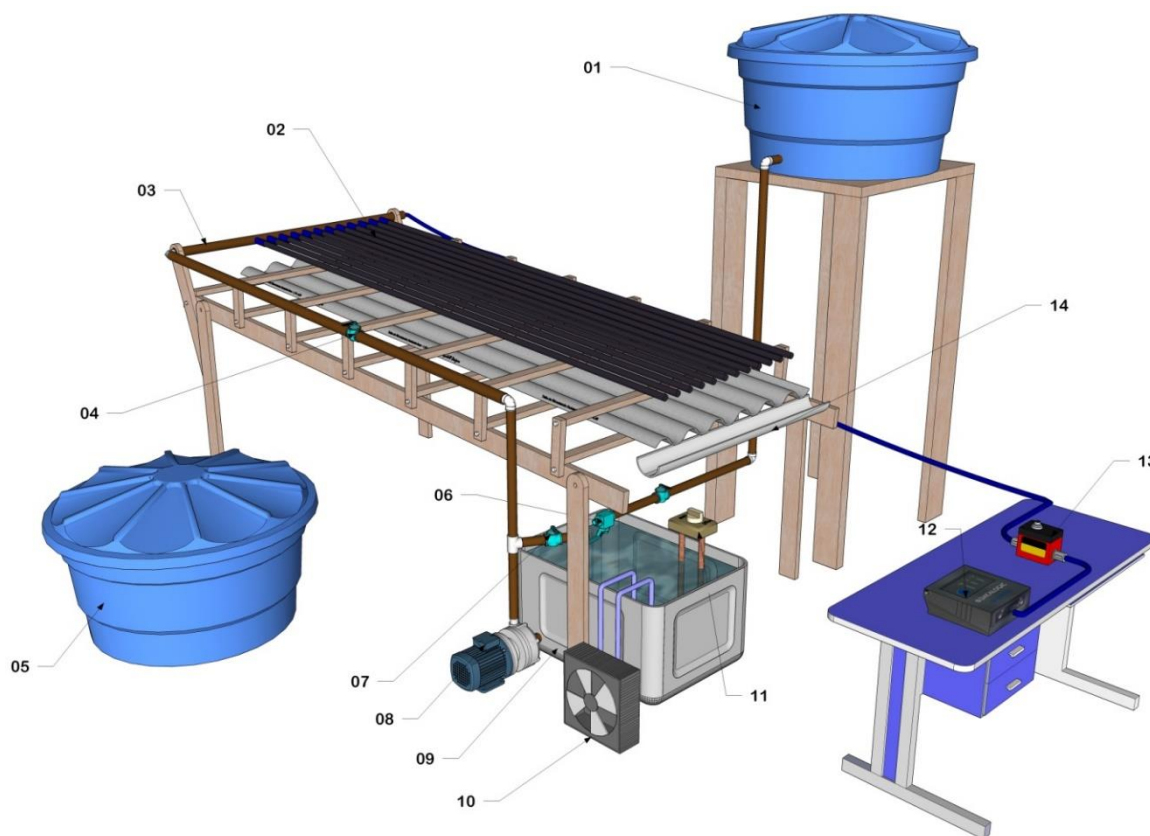
Os ensaios foram realizados a partir de quatro captações de água de poços realizados entre dezembro de 2015 a agosto de 2016, sendo três da Fazenda Experimental Rafael Fernandes, localizada na zona rural do município de Mossoró-RN, nas coordenadas geográficas 5°03'43'' de latitude sul, e 37°24'06'' de longitude oeste; e uma do poço do Sítio Cumaru, localizado na zona rural do município de Upanema-RN, nas coordenadas geográfica 5°33'34'' de latitude sul, e 37°11'56'' de longitude oeste.

A água dos poços foi transportada e armazenada em reservatório auxiliar no Laboratório de Instrumentação de Máquinas e Mecanização Agrícola (LIMMA), a fim de abastecer a bancada experimental. Foi realizado o monitoramento dos atributos físico-químicas da água quanto a pH, CEa, K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, CO₃²⁻, HCO₃. As análises físico-químicas foram realizadas a partir da captação da água dos poços e logo após o término de cada ciclo de operação do ensaio. Ao final de cada um dos ciclos esvaziava-se o reservatório térreo e o recarregava com água do reservatório auxiliar para garantir a manutenção das características físico-química da água, minimizando-se possíveis alterações oriundas da decantação das

partículas em suspensão, sais, ou mesmo a evaporação da água do reservatório térreo que pode acarretar a concentração de sais neste reservatório.

Na Figura 1 está apresentada a ilustração da bancada experimental confeccionada pelo software Sketchup Pro 2014, versão 14.0.4900. A bancada experimental apresenta as seguintes dimensões 1,50 m x 3,50 m (largura x comprimento), altura de 1,00 m e 1,20 m (ponto mais baixo e ponto mais elevado, respectivamente). Sobre a mesma foram fixadas quatro telhas de fibrocimento numa área de 0,90 m x 3,00 m (largura x comprimento), com declividade de 8% e na sua base foi inserida uma calha coletora conectada ao reservatório térreo de 0,10 m³, para permitir a recirculação da água do ensaio.

Figura 1. Ilustração da bancada experimental.



Legenda: 1 – Reservatório elevado 0,10 m³, 2 – Fitas gotejadoras, 3 – Linha de irrigação principal, 4 – Registro de esfera de 12,7 mm, 5 – Reservatório auxiliar 1,00 m³, 6 – Boia de recalque, 7 – Registro extravasador, 8 – Bomba centrífuga de 1/4 cv, 9 – Reservatório térreo 0,10 m³, 10 – Sistema de refrigeração de 7,04 kW, 11- Sistema de aquecimento de 2,00 kW, 12 – Datalogger, 13 – Sensor de pressão e 14 – Calha coletora.

Fonte: Pesquisador (2017).

Na bancada experimental foram instalados simultaneamente três tipos de fitas gotejadoras com quatro linhas cada com 3,0 m de comprimento de fabricantes distintos de grande participação no mercado potiguar, estas unidades gotejadoras foram acionadas por motobomba centrífuga de 1/4 cv.

O sistema de automação e monitoramento da bancada experimental foi composto por termopares tipo T (cobre-constantan) para monitoramento da temperatura da água e temperatura ambiente, sensor de pressão marca honeywell, modelo ASDX100G24R, para monitoramento da pressão de trabalho, conjunto de refrigeração de 7,04 kW e sistema de aquecimento de água portátil de 2,00 kW, responsáveis por manter a temperatura da água dentro dos valores previamente definidos para cada ensaio. O sistema de monitoramento, armazenamento de dados e automação utilizado foi da marca *Campbell Scientific Inc.*, modelo CR23X. Foi elaborado um programa para o CR23X automatizar e monitorar os parâmetros de ensaios a uma frequência de uma leitura por segundo e armazenar a média dos dados a cada sessenta segundos. A automação foi responsável por manter a temperatura da água dentro dos valores previamente definidos para cada ensaio, $20 \pm 0,5$ °C e $30 \pm 2,0$ °C. Com o monitoramento da temperatura da água o sistema de automação acionava os sistemas de refrigeração ou aquecimento toda vez que temperatura encontrava-se acima ou abaixo dos valores pré-programados. Os dados foram transferidos posteriormente para um computador para processamento e análises.

A escolha da primeira faixa de temperatura de $20 \pm 0,5$ °C foi decorrente da mesma corresponder à temperatura utilizada no ensaio de curta duração de resistência à pressão hidrostática em tubos de polietileno para sistema de irrigação localizada, conforme a Norma Brasileira, NBR 11795 (ABNT, 2008).

A escolha da segunda faixa de temperatura de 30 ± 2 °C foi em decorrência da representação média da temperatura do espelho de água da região de Mossoró-RN.

Devido à necessidade de recarregar a água perdida pela evaporação do sistema, foi acoplado um reservatório elevado de $0,10 \text{ m}^3$ para garantir a manutenção do nível de água, possibilitando a retroalimentação da bancada. Durante o ensaio experimental houve evaporação diária de 8 litros no tratamento testemunha e 15 litros de água nos tratamentos I e II, por isso foram necessários a reposição da água.

Seguindo as recomendações de Capra & Scicolone (1998), utilizou-se a coleta de água em dezesseis gotejadores para a avaliação do desempenho hidráulico do sistema de irrigação localizada com problemas de entupimento.

Obteve-se o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) das fitas gotejadoras após realizar a coleta do volume de água aplicado a dezesseis emissores durante três minutos, este volume foi medido por meio de proveta de 250 ml com graduação de 2 ml. O CUD foi determinado antes do primeiro ciclo operacional de 100h e logo após os demais ciclos de operação de 250, 500 e 750 h para os tratamentos e respectivos tipos de fitas gotejadoras apresentadas na Tabela 1.

O Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), segundo Keller & Karmeli (1975), é obtido por meio da Equação 1.

$$CUD = \frac{q_{25}}{\bar{q}} 100 \quad (1)$$

Em que:

CUD - Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (%)

q_{25} - média dos 25% menores valores de vazão observados ($L h^{-1}$); e

$\bar{q}$ - vazão média dos gotejadores, em ($L h^{-1}$).

Para a classificação do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição utilizou-se os critérios de Merriam & Keller (1978) presentes na Tabela 2

Tabela 2. Critérios para classificação do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD)

CUD	Classificação
>90%	Excelente
80 a 90%	Bom
70% a 80%	Regular
<70%	Ruim

Fonte: Merriam & Keller (1978).

Para o monitoramento da tendência a obstrução das fitas gotejadoras devido a presença de sais provenientes dos poços utilizou-se o Índice de Saturação de Langelier (ISL), que é definido como modelo de teórico de saturação de carbonato de cálcio na água obtido diferença do pH da água medido (pH_m) e o pH teórico que a água alcançaria em equilíbrio com o $CaCO_3$, (pH_c) de acordo com a Equação 2, elaborada por Ayers & Westcot (1976):

$$ISL = pH_m - pH_c \quad (2)$$

Em que:

ISL = Índice de Saturação de Langelier;

pH_m = pH medido; e

$pH_c = (pK_d - pK_s) + pCa + p(Alk)$.

Os valores propostos por Ayers & Westcot (1976) de ($pK_d - pK_s$), presentes na Tabela 3, foram obtidos em temperatura da água de 25°C, utilizando-se a recomendação de López et al. (1992) de acrescentar 1 % para cada °C acima de 25 °C e redução de 1 % a cada °C abaixo

de 25 °C; adaptou-se os valores de ($pK_d - pK_s$) as temperaturas de trabalho do experimento que são 20 °C e 30 °C.

Tabela 3. Valores de ($pK_d - pK_s$), pCa e $p(Alk)$ em relação às concentrações de $[Ca + Mg + Na]$, $[Ca]$ e $[CO_3 + HCO_3]$, respectivamente:

Concentração (meq L ⁻¹)	($pK_d - pK_s$) à 25°C	($pK_d - pK_s$) à 20°C	($pK_d - pK_s$) à 30°C	pCa	$p(Alk)$
0,05	2,0	1,90	2,1	4,6	4,3
0,10	2,0	1,90	2,1	4,3	4,0
0,15	2,0	1,90	2,1	4,1	3,8
0,20	2,0	1,90	2,1	4,0	3,7
0,25	2,0	1,90	2,1	3,9	3,6
0,30	2,0	1,90	2,1	3,8	3,5
0,40	2,0	1,90	2,1	3,7	3,4
0,50	2,1	2,00	2,2	3,6	3,3
0,75	2,1	2,00	2,2	3,4	3,1
1,00	2,1	2,00	2,2	3,3	3,0
1,25	2,1	2,00	2,2	3,2	2,9
1,50	2,1	2,00	2,2	3,1	2,8
2,00	2,2	2,09	2,3	3,0	2,7
2,50	2,2	2,09	2,3	2,9	2,6
3,00	2,2	2,09	2,3	2,8	2,5
4,00	2,2	2,09	2,3	2,7	2,4
5,00	2,2	2,09	2,3	2,6	2,3
6,00	2,2	2,09	2,3	2,5	2,2
8,00	2,2	2,09	2,3	2,4	2,1
10,00	2,3	2,19	2,4	2,3	2,0
12,50	2,3	2,19	2,4	2,2	1,9
15,00	2,3	2,19	2,4	2,1	1,8
20,00	2,4	2,28	2,5	2,0	1,7
30,00	2,4	2,28	2,5	1,8	1,5
50,00	2,5	2,38	2,6	1,6	1,3
80,00	2,5	2,38	2,6	1,4	1,1

Fonte: Ayers & Westcot (1976), adaptado pelo Pesquisador (2017).

Segundo López et al. (1992), a variação da temperatura afeta as constantes pK_d , pK_s e Alk , proporcionando que o valor de ISL igual a zero ou negativo possa torna-se positivo com elevação da temperatura da água, resultando na formação de precipitados de $CaCO_3$.

Foi possível determinar a tendência a incrustação, corrosão ou equilíbrio químico da água através da análise dos valores de ISL, considerando-se que $ISL = 0$, corresponde ao equilíbrio químico; $ISL < 0$, tendência a corrosão, e $ISL > 0$, indicando tendência a formação de incrustações através da precipitação de $CaCO_3$ e, conseqüentemente, a ocorrência da obstrução dos emissores das fitas gotejadoras.

Para a realização das imagens de verificação da presença de microrganismos e incrustação aderidas às paredes e orifícios das fitas gotejadoras utilizou-se a técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), no Laboratório de Microscopia Eletrônica Varredura da UFERSA. O equipamento utilizado foi o TESCAN, modelo VEGA 3 LMU, voltagem de aceleração 1300 VA. Foram coletadas amostras de 30 cm de comprimento das fitas gotejadoras coincidentes com o espaçamento entre emissores sempre após cada ciclo operacional de 100, 250, 500 e 750 h nos tratamentos testemunha, tratamento I e tratamento II.

Foram recortadas amostras das paredes internas e dos orifícios das fitas gotejadoras da região oposta ao emissor na preparação das amostras para realização das imagens no MEV e colocá-lo sob o porta amostra do microscópio ou *stub* para um período de 12 h no dessecador de sílica. Após secagem das amostras foram cobertas por uma película de íons metálicos de ouro (Au) de 5nm de espessura no Metalizador QUORUM, modelo Q150R ES, sob a câmara com pressão de 0,08 mBAR.

As fotos realizadas no MEV da face interna da parede das fitas gotejadoras, utilizou-se a distância de trabalho de 9,79mm a 14,70mm, com aumento de 1,64X a 1,65X, e escala fixa de 20µm. Para as fotos dos orifícios utilizou-se à distância de trabalho de 7,30mm a 14,03mm, com aumento de 71X a 95X, e escala fixa de 500µm, de forma a permitir a máxima resolução das imagens.

O experimento foi montado no delineamento inteiramente casualizado, com três tipos de fitas gotejadores e quatro repetições. As fitas gotejadoras foram submetidas as condições de ensaios descritas a seguir e avaliadas isoladamente:

- Tratamento testemunha (TES) - Água a temperatura de 20 °C, CEa no intervalo de 0,52 dS m⁻¹ a 0,81 dS m⁻¹, extraído de poço à 870 m de profundidade, da Fazenda Experimental Rafael Fernandes e resfriado artificialmente no laboratório;
- Tratamento I (TR I) - Água a temperatura de 30 °C, CEa no intervalo de 0,56 dS m⁻¹ a 1,09 dS m⁻¹, extraído de poço à 870 m de profundidade, da Fazenda Experimental Rafael Fernandes e resfriado artificialmente no laboratório e,
- Tratamento II (TR II) - Água a temperatura de 30 °C, CEa no intervalo de 1,46 dS m⁻¹ a 2,56 dS m⁻¹, extraído de poço raso à 70 m de profundidade, do Sítio Cumaru.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análises físico-químicas da água

Os atributos físico-químicos da água utilizada na bancada experimental antes e depois da realização dos ciclos operacionais em todos os tratamentos realizados sofreram alterações nos parâmetros pH, CEa, K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , conforme demonstrado na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados das análises físico-químicas da água para os tratamentos testemunha, tratamento I e tratamento II em relação ao tempo de operação.

Local	Horas de operação (h)	Tratamento	pH	CE dS m ⁻¹	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	CO_3^{2-}	HCO_3^-	ISL
".....mmol _c L ⁻¹"												
Fazenda Experimental Rafael Fernandes	0	-	8,0	0,52	0,55	2,1	1,4	1,7	1,8	0,6	2,6	0,21
	100	Testemunha	7,5	0,81	1,22	2,93	1,7	3,1	2,4	0,8	2,8	-0,19
	250	Testemunha	8,2	0,78	0,99	3,27	1,4	2,0	2,4	0,4	3,6	0,51
	0*	-	8,0	0,58	0,5	3,28	2,6	1,4	2,2	0,8	4,1	0,61
	500	Testemunha	7,7	0,52	0,44	2,42	2,8	1,3	2,0	0,6	3,1	0,21
	750	Testemunha	8,1	0,71	0,25	3,64	2,1	1,7	2,2	1,7	3,1	0,61
	100	Tratamento I	8,6	0,84	0,97	3,94	1,6	1,5	3,6	1,2	4,1	0,89
	250	Tratamento I	8,6	0,94	1,13	4,48	1,9	2,2	4,0	1,2	4,5	0,89
	500	Tratamento I	8,2	1,09	1,46	5,63	1,9	3,9	4,4	1,2	4,1	0,38
	0**	-	7,9	0,56	0,45	2,74	2,5	1,4	3,2	0,8	4,1	0,29
Sítio Cumaru	750	Tratamento I	8,4	0,97	1,21	6,02	1,5	3,4	4,2	1,6	4,8	0,69
	0	-	7,1	1,46	0,2	3,51	7,9	3,3	6,8	0,8	6,1	-0,02
	100	Tratamento II	8,0	1,74	0,91	5,03	9,1	2,9	9,2	1,6	5,4	0,99
	250	Tratamento II	8,1	2,17	1,01	6,42	9,0	6,0	11,8	1,8	4,6	0,98
	500	Tratamento II	8,1	2,56	0,82	9,85	11,2	7,0	16,6	2,2	4,3	1,08
	750	Tratamento II	8,2	2,17	0,88	5,76	8,6	7,2	11,60	1,6	4,1	1,00

0* Segunda coleta de água do poço da Fazenda Experimental Rafael Fernandes.

0**Terceira coleta de água do poço da Fazenda Experimental Rafael Fernandes.

Fonte: Pesquisador (2017).

As alterações dos atributos físico-químicas da água quanto a CEa, K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , são decorrentes da concentração de sais provocado pela evaporação da água da bancada experimental, o qual observou-se uma evaporação média de 8 a 15 litros de água por dia do reservatório elevado. Associação entre o aumento da taxa de evaporação e o aumento da concentração de sais na água também foi observado por Lemos et al. (2010) na análise dos parâmetros físico-químicos da Lagoa do Apodi-RN realizados entre os meses úmidos e secos.

A decantação de sais solúveis no reservatório auxiliar da bancada experimental teve papel importante na alteração dos valores da CEa, K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , pois neste a água do experimento encontrava-se em repouso no intervalo entre ciclos de operações de 100 h a 250 h. Este fato propiciava a decantação dos sais suspenso na água do experimento.

Apesar das várias tentativas de homogeneização da água do experimento do reservatório auxiliar realizadas antes de proceder com a recarga dos reservatórios térreo e elevado foram insuficientes para diluir todos os sais que havia decantado.

As alterações observadas pelas análises físico-químicas da água quanto aos valores do pH estão relacionadas ao desenvolvimento de microrganismos presentes na água que consomem o oxigênio dissolvido e liberam hidrogênio para o meio. O pH obtido nas análises físico-químicas sempre foi maior que 7, caracterizado como propenso para proliferação de microrganismos e consequentemente obstrução dos emissores, segundo Pinto et al. (2011).

Para Reche et al. (2010), o oxigênio dissolvido, pH, temperatura, radiação, entre outros fatores influenciam no desenvolvimento microbiológico, sendo que a maioria das bactérias se desenvolvem e proliferam com o pH próximo a neutralidade.

O sistema de automação instalado na bancada experimental possibilitou a manutenção controlada da temperatura da água e pressão de serviço previamente definidos para cada ensaio. Conforme apresentado na Tabela 5, constam os valores médios obtidos para os parâmetros de temperatura ambiente, temperatura da água e pressão de serviços para os ciclos operacionais e tratamentos realizados.

Tabela 5. Valores médios da temperatura ambiente (T. Amb.), temperatura da água (T. Água) e pressão de serviço (P.Serviço) para cada ciclo de operação.

Tratamento	Temperatura (°C)	Ciclo de operação (h)	Valores médios		
			T. Amb. (°C)	T. Água (°C)	P. Serviço (kPa)
Testemunha	20	0 – 100	29,8	20,0	101,8
		100 – 250	32,1	20,0	100,3
		250 – 500	31,9	20,1	98,9
		500 – 750	30,1	20,2	100,2
Tratamento I	30	0 – 100	31,1	31,0	100,0
		100 – 250	30,4	31,3	100,6
		250 – 500	29,1	30,8	99,9
		500 – 750	29,1	30,9	101,0
Tratamento II	30	0 – 100	27,9	31,1	100,9
		100 – 250	29,8	31,4	99,9
		250 – 500	27,2	31,1	100,0
		500 – 750	29,3	31,4	100,7

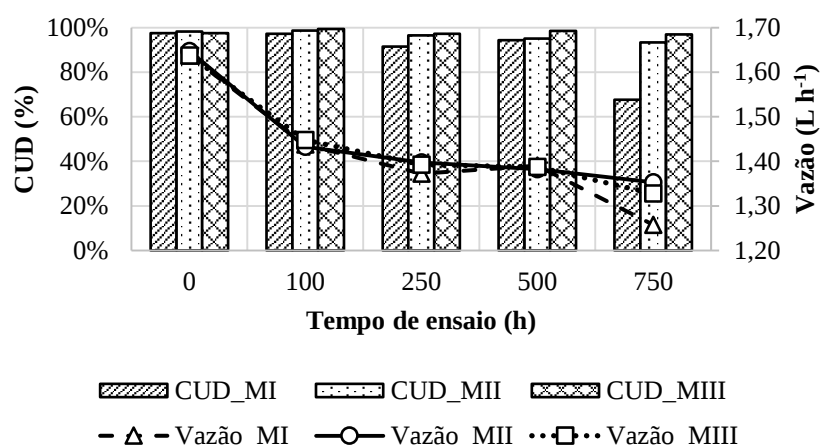
Fonte: Pesquisador (2017).

3.2. Coeficiente de uniformidade de distribuição e vazão dos emissores

As Figuras 2, 3 e 4 representam o comportamento do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e a vazão (Q) dos emissores em relação ao avanço do ciclo operacional ensaiado para todos os tratamento e tipos de fitas gotejadoras.

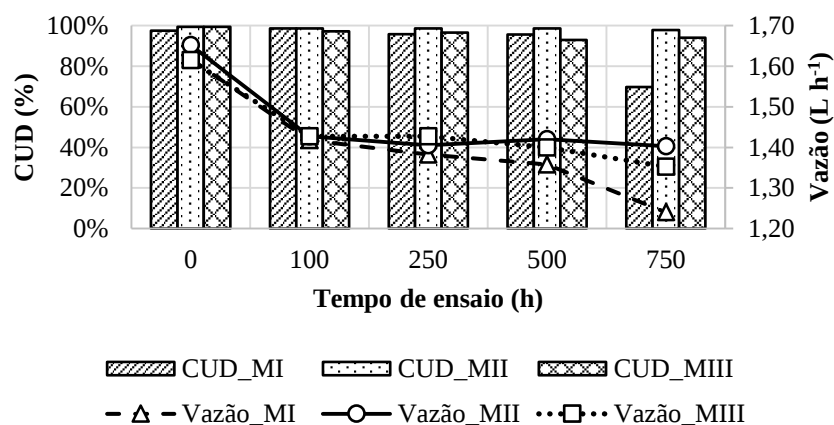
O comportamento da redução de vazão demonstrou-se não linear ao longo da execução do experimento, com destaque para acentuada variação de vazão após o primeiro ciclo de operação cujo a duração foi de 100h e relativa estabilização da redução entre 100 a 500 h de operação. Corroborando com as observações Zhang et al. (2011), realizaram pesquisas sobre a otimização dos labirintos dos emissores dos gotejadores e considera que o entupimento dos emissores são problemas comuns no sistema de irrigação e difícil de ser expresso com modelos matemáticos.

Figura 2. Comportamento dos emissores M1, M2 e M3 submetido ao tratamento testemunha



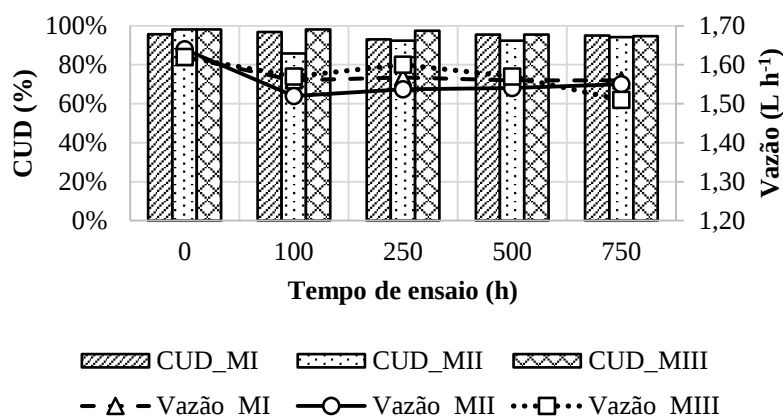
Fonte: Pesquisador (2017).

Figura 3. Comportamento dos emissores M1, M2 e M3 submetido ao tratamento I.



Fonte: Pesquisador (2017).

Figura 4. Comportamento dos emissores M1, M2 e M3 submetido ao tratamento II



Fonte: Pesquisador (2017).

O CUD do emissor tipo M1, nos tratamentos testemunha e tratamento I, apresentaram classificação como excelente segundo critérios de Merriam & Keller (1978), até o ciclo de operação de 500 h, após este ciclo ambos os tratamentos obtiveram o CUD abaixo de 70 %, sendo classificados como ruim. Dados similares foram obtidos por Araquam & Campeche (2012) na irrigação com água superficial da Barragem de Sobradinho-BA.

O emissor tipo M1 apresentou comportamento muito homogêneo em relação ao CUD durante o tratamento III, sendo classificado como excelente de acordo com Merriam & Keller (1978); estes dados são condizentes com Borssoi et al. (2012), nas condições de pressão de 16 kPa no tratamento com fertirrigação.

Foi observado que o CUD para os emissores do tipo M2 e M3 em todos os tratamentos em seus respectivos ciclos operacionais de 100, 250, 500 e 750 h apresentaram classificação como excelente, isto é, acima de 90 %, exceto para o emissor do M2 no tratamento II e ciclo operacional de 100 h que apresentou índice de 85 %, classificando-o como bom segundo critério de Merriam & Keller (1978). Essa oscilação dos valores obtidos nas medições do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição compreendidos entre 85 % a 98 % também foi observada por Brito et al. (2016), na condição de irrigação da cultura do abacaxizeiro e da palma forrageira com água salina a 3,6 dS m⁻¹.

Foi observado, em geral, a ocorrência de redução da vazão e do CUD ao longo dos ciclos operacionais. Esta redução do CUD ao longo da vida útil das fitas gotejadoras foi verificada por Busato & Soares (2010), e Dantas et al. (2014), na condição de utilização de água de baixa qualidade química e biológica.

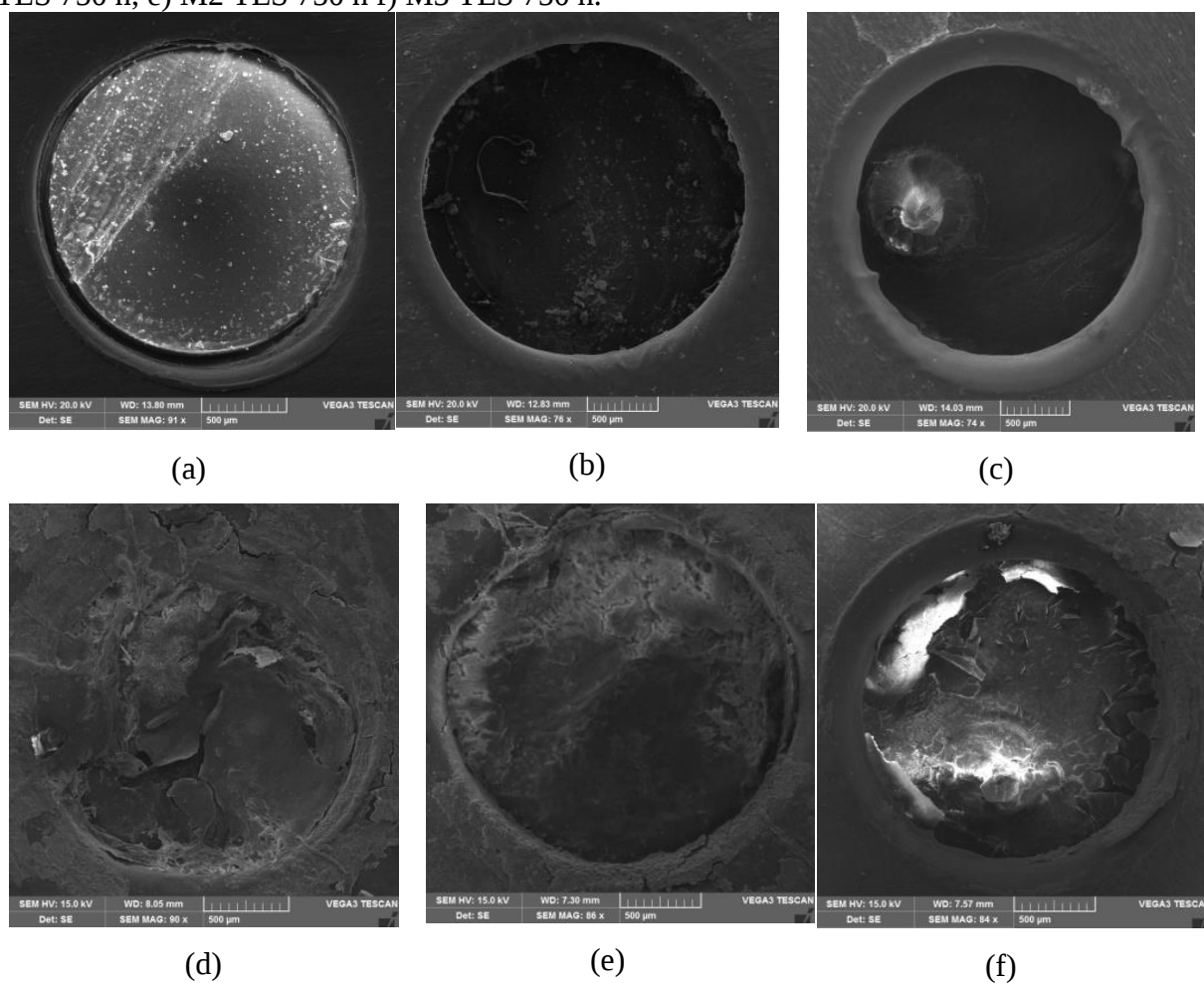
Após a conclusão ciclo de operação de 750 h as fitas gotejadoras submetidas aos tratamentos testemunha (TES) e tratamento I (TR I) apresentaram decréscimo progressivo com algumas pequenas oscilações da vazão dos emissores, indicando a ocorrência do processo de

obstrução dos orifícios, condizentes com os valores obtidos por Busato & Soares (2010), que avaliaram as bactérias causadoras de entupimento em água com pH próximo a 7,0 após 700 h de irrigação.

3.3. Análises das imagens na MEV

Foi observado na Figura 5, (a), (b), (c), (d), (e), e (f), correspondentes respectivamente aos orifícios das fitas gotejadoras virgens e ao tratamento testemunha pós o ciclo de 750 h a formação de lâminas que obstruem o fluxo de água provocadas pela proliferação de colônias de bactérias que desenvolveram-se com água a 20 °C. Dados similares foram observados por Li et al. (2012), na condição de utilização de águas residuárias tratadas, em que muitas bactérias formam colônias que, se aderirem às paredes dos tubos gotejadores, podem propiciar o surgimento de agregados de vários tamanhos que alteram as entranhas dos orifícios e canais dos gotejadores, através da formação de lâminas.

Figura 5. Orifícios das fitas gotejadoras a) M1 virgem, b) M2 virgem, c) M3 virgem, d) M1 TES 750 h, e) M2 TES 750 h f) M3 TES 750 h.

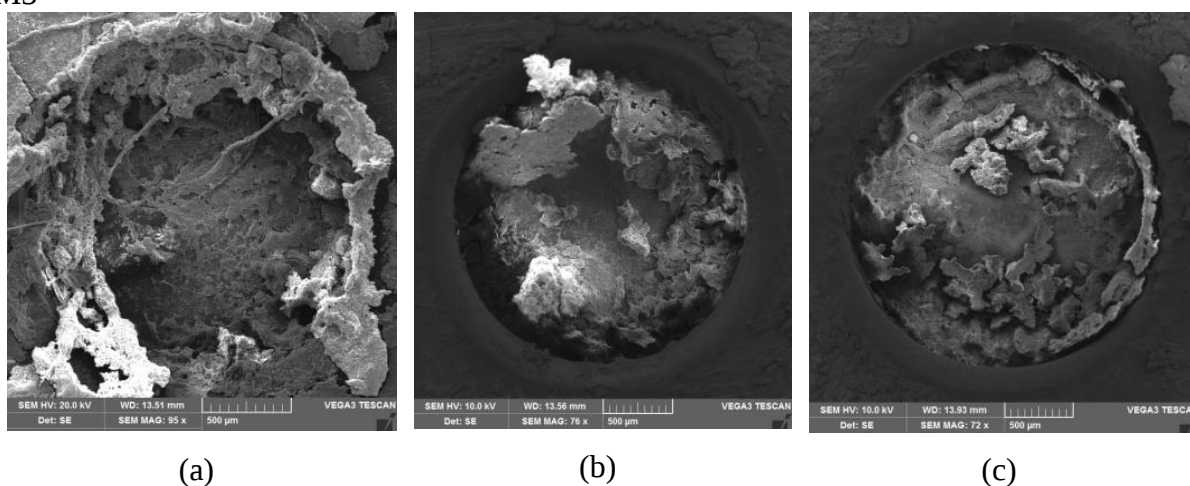


Fonte: Pesquisador (2017).

As consequências do surgimento de colônias de bactérias e algas estão associadas à obstrução parcial dos orifícios observado na Figura 5 (d), (e) e (f), condições semelhantes foram observadas por Batista et al. (2013), na utilização da água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro, onde ocorreu a formação de biofilme resultante de bactérias e algas está associado ao entupimento parcial ou total dos gotejadores.

A Figura 5 (d), (e) e (f), em comparação a Figura 6, (a), (b) e (c) demonstram que o aumento da temperatura de 20 °C para 30 °C, utilizado nos tratamentos testemunha e tratamento I (TR I), respectivamente, proporcionaram incrustações no formato de nódulos oriundo da precipitação de sais presente em águas subterrâneas.

Figura 6. Orifício das fitas gotejadoras do tratamento I após 750h de ensaio: a) M1 b) M2 c) M3



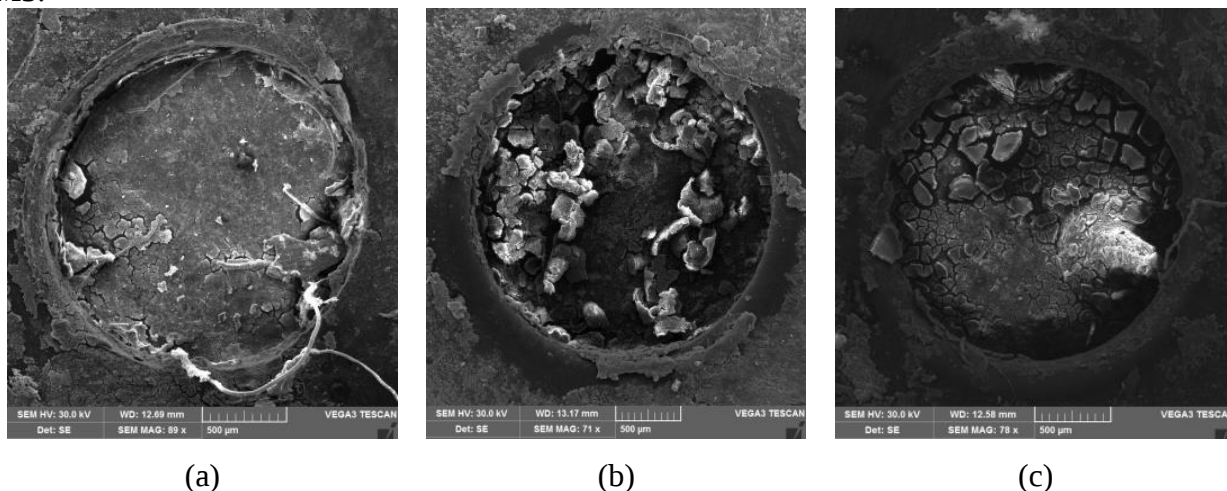
Fonte: Pesquisador (2017).

As incrustações observadas na Figura 6, (a), (b) e (c) são condizentes com os observados por Haman (2014), que o entupimento químico dos orifícios e labirintos das fitas gotejadoras que operam com águas subterrâneas ricas em carbonato e bicarbonato de cálcio é susceptível a ocorrência da precipitação destas substâncias formando incrustações que podem bloquear parcial ou completamente o fluxo de água através do emissor. A precipitação de carbonatos de cálcio dessas águas sofre influência da temperatura e variação do pH quando este é maior que 7, pois o aumento de uma destas variáveis provoca a redução da solubilidade do cálcio na água e resulta na precipitação do mineral.

Foi observado que a Figura 7, referente ao tratamento II (TR II) apresentou obstrução por nódulos de precipitados de cálcio, carbonatos e bicarbonatos similares a Figura 6, do Tratamento I, condizentes com o aumento do Índice de Saturação de Langelier, que ao aproxima-se do valor de 1 potencializa-se a formação dessas incrustações. Observou-se que o tratamento I (TR I) atingiu o valor máximo de ISL de 0,61 após 750 h de operação,

demonstrando uma tendência a incrustações, porém as análises das imagens captadas dos emissores apresentam-se uma formação preponderante de biofilme em detrimento a formação de precipitados de cálcio.

Figura 7. Orifício das fitas gotejadoras do tratamento II após 750 h de ensaio: a) M1 b) M2 c) M3.



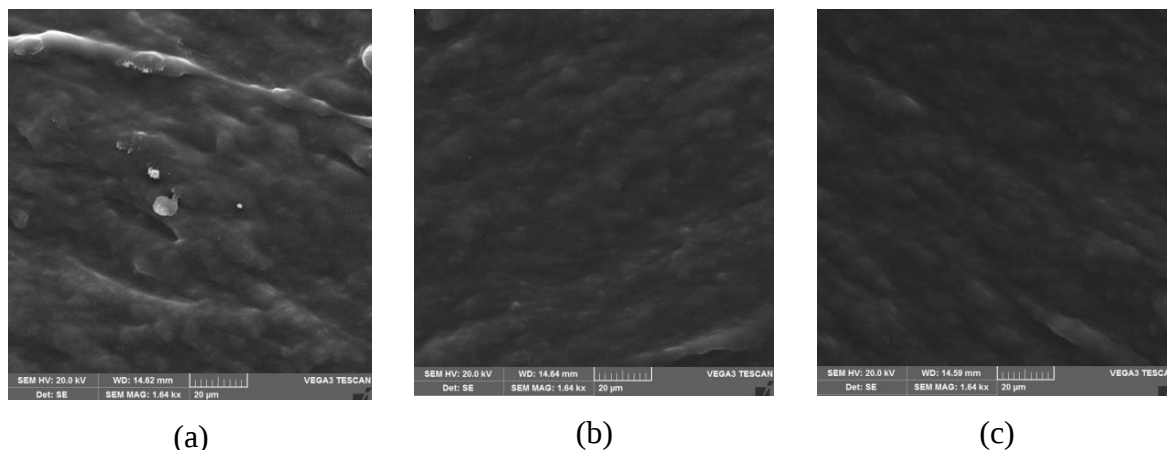
Fonte: Pesquisador (2017).

As Figuras 5 (d), (e) e (f), 6 e 7 demonstram associação de biofilme e precipitados como agentes obstruidores das fitas gotejadoras na faixa de ISL de -0,02 a 1,08, e que esta preponderância de atuação entre eles é influenciada pela variação da temperatura da água.

Considerando que o tratamento testemunha e o tratamento I foram realizados com a temperatura da água do experimento de 20 e 30 °C respectivamente, a constatação da presença de bactérias presentes nos emissores das fitas gotejadoras deve-se ao fato que os tratamentos foram realizados na faixa de temperaturas propícia para o desenvolvimento de bactérias, segundo Pizarro (1996).

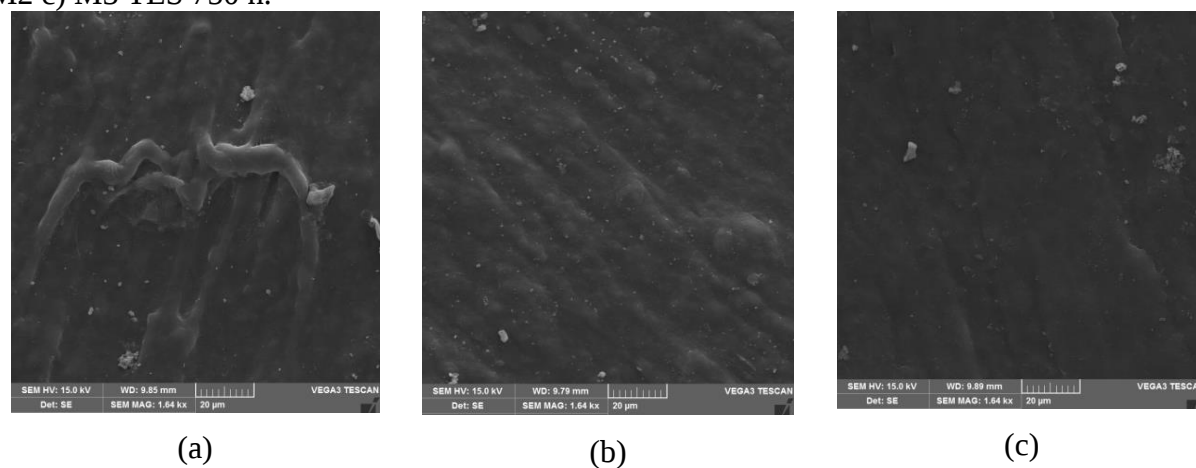
Observou-se que as paredes internas das fitas gotejadoras, Figura 9, submetidas ao tratamento testemunha (TES) após 750 h de operação, apresentavam pequenos nódulos de precipitados de cálcio aderidos na face interna da parede em relação a Figura 8, que retratam as paredes internas das fitas gotejadoras virgens. As paredes internas das fitas gotejadoras, submetidas ao tratamento I (TR I) após 750 h de operação (Figura 10), apresentaram maior quantidade de precipitados aderidos a sua face interna, assim como foi constatada a presença de atividade biológica com a formação de filamentos de microrganismo com destaque para a Figura 10 (b).

Figura 8. Paredes internas das fitas gotejadoras a) M1 virgem, b) M2 virgem, c) M3 virgem.



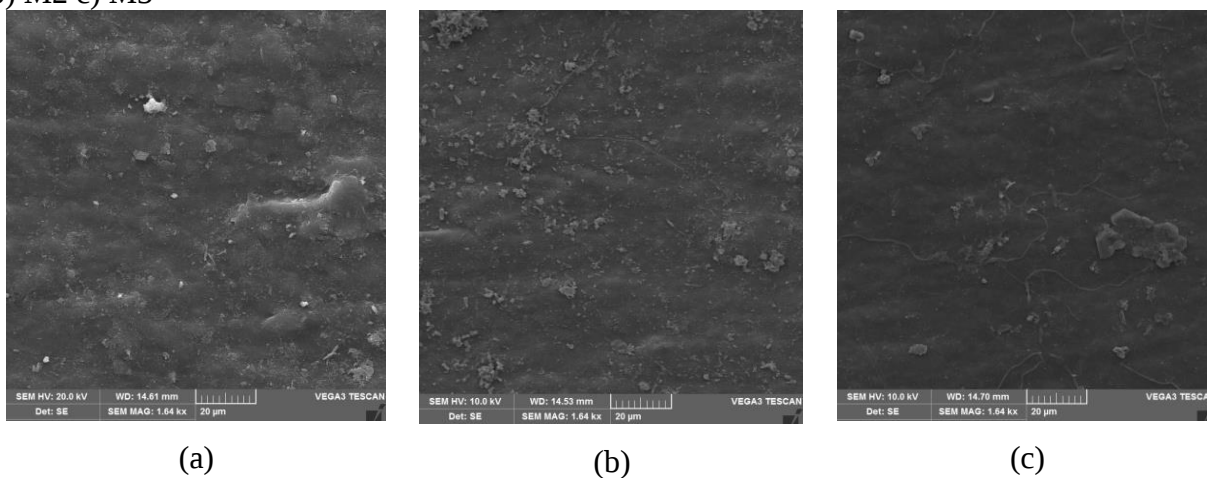
Fonte: Pesquisador (2017).

Figura 9. Paredes internas das fitas gotejadoras da testemunha após 750 h de ensaio: a) M1, b) M2 c) M3 TES 750 h.



Fonte: Pesquisador (2017).

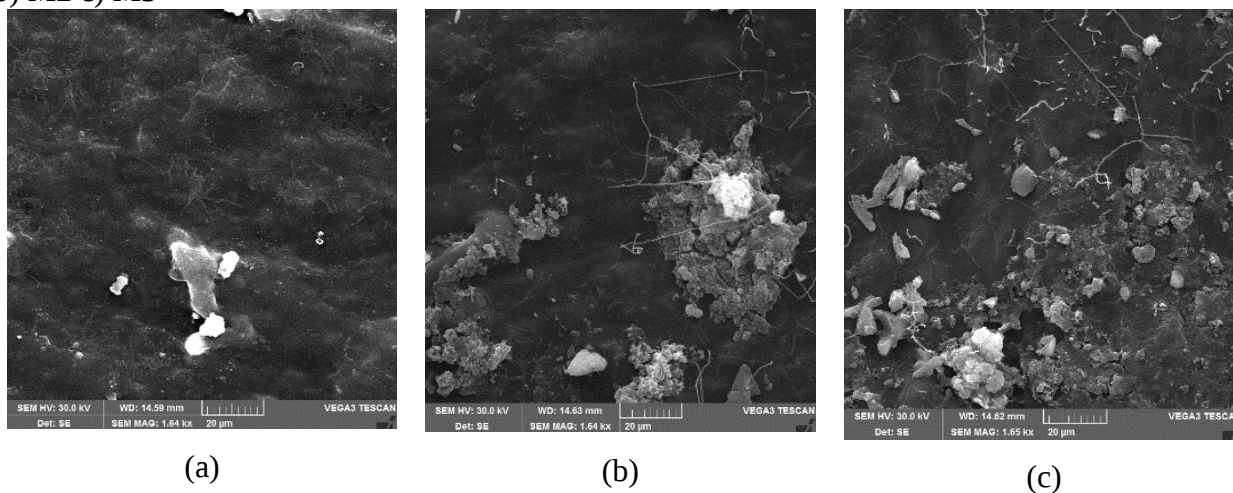
Figura 10. Paredes internas das fitas gotejadoras do tratamento I após 750 h de ensaio: a) M1, b) M2 c) M3



Fonte: Pesquisador (2017).

As fitas gotejadoras do tratamento II, Figura 11, após 750 h de operação apresentaram maior evidência de associação de atividade biológica e formação de precipitados. Estes dados são condizentes com Brito (2016), que observou a associação de microrganismo e o acúmulo de sais nas fitas gotejadoras.

Figura 11. Paredes internas das fitas gotejadoras do tratamento II após 750 h de ensaio: a) M1, b) M2 c) M3



Fonte: Pesquisador (2017).

O aumento da presença de nódulos de precipitados de sais entre o tratamento testemunha (TES) e os tratamentos I (TR I) e tratamento II (TR II) está associado ao aumento da temperatura. Segundo López et al. (1992), o aumento da temperatura pode propiciar a formação de precipitados CaCO_3 .

Os tratamentos I e II (TR I e TR II) foram ensaiados com temperatura de 30 °C e apresentaram maior presença de carbonato e bicarbonato (CO_3^{2-} e HCO_3^-) associado como o $\text{ISL} > 1$, indicando a susceptibilidade a precipitação de sais, tal fato evidencia-se ao observar a Figura 11. Estes dados são compatíveis com Zocoler et al. (2015), no seu estudo sobre o comportamento dos gotejadores operando com pressão de 59, 98, 137, 157 kPa e CEa de 0,6; 1,5; 2,5; 3,5 e 4,5 dS m^{-1} em que a salinidade da água de irrigação ocasionou o entupimento dos gotejadores graças a interação dos íons que promovem a precipitação química por íons contidos na água de irrigação como carbonatos de cálcio.

Os nódulos de precipitados de cálcio aderidos às paredes internas das fitas gotejadoras presentes principalmente nos tratamentos I e II, Figuras 10 e 11, ao se desprenderem das paredes dos tubos gotejadores podem provocar a obstrução parcial dos emissores e, em casos mais graves, ocasionar o entupimento total. Haman (2014), constatou que os precipitados de cálcio são dependentes do pH e temperatura, uma alteração nestes fatores resultaria na precipitação do mineral.

Considerando a ocorrência conjunta de microrganismos e precipitados de sais aderidos as paredes internas das fitas gotejadoras, que ao se desprenderem proporcionam o entupimento dos emissores, e a complexa interação dos fatores como temperatura e características físico-químicas das águas observadas nesta pesquisa, torna-se complexa a identificação do fator preponderante da redução da vida útil das fitas gotejadoras, conforme já relado por Ravina et al. (1992).

A determinação da causa da obstrução pode ser complexa pela interação simultânea dos vários agentes, sobretudo considerando-se a natureza dinâmica dos indicadores de qualidade da água.

4. CONCLUSÕES

O aumento da salinidade aferida a partir do Índice de Saturação de Langelier, associada ao aumento da temperatura da água de 20 °C para 30 °C, potencializam o desenvolvimento dos agentes causadores da obstrução como o biofilme e incrustações de sais nas paredes internas dos três tipos de fitas gotejadoras em todos os tratamentos realizados, com base nas análises realizadas através da Microscopia Eletrônica de Varredura.

O desprendimento de biofilme e incrustações de sais das paredes das fitas gotejadoras podem provocar a obstrução parcial dos emissores, ocasionando a redução de vazão e alteração da classificação do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição.

REFERÊNCIAS

- Araquam, W. W. C.; Campeche, L. F. de S. M. Avaliação da uniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação do perímetro irrigado Nilo Coelho em Petrolina-PE. *Revista Semiárido De Visu*, Petrolina, v.2, n.3, p.303-316, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11795: Tubos de polietileno para sistemas de irrigação localizada. Rio de Janeiro, 2008. 21 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 9261: Equipamentos de irrigação agrícola. Emissores e tubos emissores. Especificação e métodos de ensaio. São Paulo, 2006. 17 p.
- Augustinho, J. M. F. S. O aumento da rentabilidade do milho no Minho: eficiência do uso da água e redução dos custos associados à rega e à fertilização. *Revista de Ciências Agrárias*, Lisboa, v.34,n.1, p. 24-41, 2011.
- Ayers, R.S.; Westcot, D.W. Water quality for agriculture. Rome: FAO, 1976. 174 p. (Irrigation and Drainage Paper, 29, Rev. 1.)
- Batista, R. O.; Oliveira, R. A.; Santos, D. B. ; Oliveira, A. F. M. ; Azevedo, C. A. V. ; Medeiros, S. S. . Obstrução e uniformidade de aplicação em sistemas de irrigação por gotejamento aplicando-se efluente da suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Fortaleza, v. 17, n. 7, p. 698-705, 2013.
- Bastos, R. K. X. Fertirrigação com águas residuárias. In: FOLEGATT, M. V. (Coord.). *Fertirrigação – citrus, flores, hortaliças*. Guaíba: Agropecuária, p. 297- 291, 1999.
- Biscaro, G. A.; Missio, C.; Motomiya, A. V. de A.; Gomes, E. P.; Takara, J. G.; Silveira, B. L. R. Produtividade e análise econômica da cultura do espinafre em função de níveis de fertirrigação nitrogenada. *Irriga, Botucatu*, v. 18, n. 4, p. 587-596, 2013.
- Borssoi, A. L.; Vilas Boas, M. A.; Reisdorfer, M.; Hernández, R. H.; Follador, F. A. C. Water application uniformity and fertigation in a dripping irrigation *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.32, n.4, p.718-726, 2012
- Brito, C. F. B.; Fonseca, V. A.; Santos, M. R. Desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento com aplicação da água salina. *Revista Agrotecnologia*, Ipameri, v.7, n.1, p.10-17, 2016.
- Busato, C. C. M.; Soares. A. A. Desempenho de gotejadores, utilizando água de baixa qualidade química e biológica. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v.26, n.5, p.739-746, 2010.
- Capra, A.; Scicolone, B. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. *Journal of Agricultural Engineering Research*, London, v. 70, n. 4, p. 355-365, 1998.
- Camargo, A, P.; Molle, B.; Tomas, S.; Frizzone, J, A. Assessment of clogging effects on lateral hydraulics: proposing a monitoring and detection protocol. *Irrigation Science*, v. 32, n. 3, p. 181–191, 2014.
- Dantas, D. C.; França, E.; Silva, E. F.; Mélo, R. F.; Dantas, M. S. M.; Silva, G. F.; Silva, M. M. Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento utilizando efluente doméstico. *Irriga, Edição Especial* 01, p. 179-189, 2014.

- Gilbert, R. G.; Ford, H. W. Operational principles/emitter clogging. In: NAKAYAMA, F. S.; BULKS, D. A. Trickle irrigation for crop production. Amsterdam: Elsevier, 1986. p. 142-63.
- Haman, Dorota Z. Causes and prevention of emitter plugging in microirrigation systems. séries: bul258, Agricultural and Biological Engineering Department, UF/IFAS Extension. October, 2014. 11 p.
- Keller, J.; Karmeli, D. Trickle irrigation desing. Glendora: Rain Bird Sprinkler Manufacturing, 1975. 133 p.
- Jordan, R. A.; Gomes, E. P.; Biscaro, G. A.; Motomiya, A. V. A.; Geisenhoff, L. Impacto energético da irrigação por gotejamento no cultivo de mamona. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 42, n. 4, p. 375-382, 2012.
- Lemos, M. de; Ferreira Neto, M. Nildo, S.; Sazonalidade e variabilidade espacial da qualidade da água na Lagoa do Apodi, RN. Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental. Campina Grande, v.14, n.2, p. 155-164, 2010.
- Li, Y. K.; Liu, Y. Z.; Li, G. B.; Xu, T. W.; Liu, H. S.; Ren, S. M.; Yan, D. Z.; Yang, P. L. Surface topographic characteristics of suspended particulates in reclaimed wastewater and effects on clogging in labyrinth drip irrigation emitters. Irrigation Science, v 30 p. 43-56, 2012.
- López, J. R.; Abreu, J. M. H.; Regalado, A. P., Hernandez, J. F. G. Riego localizado. Madrid: MAPA-YRIDA, Ediciones Mundi-Prensa, p. 405, 1992.
- Merriam, J. L.; Keller, J. Farm irrigation system evaluation: a guide for management. Logan: Utah State University. 1978. 271 p.
- Oliver, M. M. H.; Hewa, G. A.; Pezzaniti, D. Thermal variation and pressure compensated emitters. Agricultural Water Management. V. 176, p. 29-39, 2016.
- Pinto, M. F.; Camargo, A. P.; Almeida, A. C. S.; Alves, D. G.; Botrel, T. A. Desenvolvimento de um sistema para o controle do pH da água para microirrigação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, v.15, n.2, p.211–217, 2011.
- Pizarro, F. Riegos localizados de alta frecuencia. 3.ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1996. 513p.
- Ravina, I.; Paz, E.; Sofer, Z.; Marcu, A.; Schischa, A.; Sagi, G. Control of emitter clogging in drip irrigation with reclaimed wastewater. Irrigation Science, New York, v. 13, p. 129-139, 1992.
- Reche, M. H. L. R.; Pittol, M. & Fiuza, L. M.; Bactérias e bioindicadores de qualidade de águas de ecossistemas orizícolas da Região Sul do Brasil. Oecologia Australis, v. 14, n. 2, p. 452-463, 2010.
- Santos, M. A. L.; Santos, D. P.; Silva, D. S.; Silva, M. S.; Cavalcante, P. H. S. Avaliação da uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por gotejamento em inhame (*Dioscorea Cayennensis* Lam.). Ciência Agrícola, Rio Largo, v. 13, n. 1, p. 7-13, 2015.
- Softonic International. SketchUp Pro 2014. Disponível em: <<https://sketchup-pro-14.softonic.com.br/#app-softonic-review>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

- Zhang J.; Zhao W., T. Y.; Lu B. Structural optimization of labyrinth-channel emitters based on hydraulic and anti-clogging performances. *Irrigation Science*, v 29, n. 5, p. 351-357, 2011.
- Zocoler, J. L.; Ribeiro, P. H. P.; Silva, N. F.; Cunha, F. N.; Teixeira, M. B.; Soares, F. A. L. Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento com aplicação de água salina. *Irriga*, Botucatu, Edição Especial, 20 anos Irriga + 50 anos FCA, p. 234-247, 2015.