

MONITORAMENTO DA BIOINCRUSTAÇÃO EM FITAS GOTEJADORAS APLICANDO ÁGUA COM DISTINTAS TEMPERATURAS E SALINIDADES*

**JORGE LUIZ DE OLIVEIRA CUNHA¹; SUEDÊMIO DE LIMA SILVA²; RAFAEL
OLIVEIRA BATISTA²; BLAKE CHARLES DINIZ MARQUES²; DANIELA DA
COSTA LEITE COELHO² E KETSON BRUNO SILVA¹**

¹ *Doutores em Manejo de Solo e Água, Departamento de Ciências Agrônômicas e Florestais, Universidade Federal Rural do Semi-Árido - campus Mossoró- RN, Avenida Francisco Mota, n° 572, Bairro Costa e Silva, Mossoró - RN, CEP: 59.625-900, Brasil, jorgeluz@ufersa.edu.br; ketsonbruno@hotmail.com.*

² *Professores do Departamento de Engenharia e Ciências Ambientais, Universidade Federal Rural do Semi-Árido - campus Mossoró- RN, Avenida Francisco Mota, n° 572, Bairro Costa e Silva, Mossoró - RN, CEP: 59.625-900, Brasil, suedemio@ufersa.edu.br; rafaelbatista@ufersa.edu.br; charles@ufersa.edu.br; daniela.coelho@ufersa.edu.br.*

*O artigo foi gerado a partir da tese do primeiro autor.

1 RESUMO

No campo, as fitas gotejadoras são expostas a agentes físico-químicos e microbiológicos da água de irrigação que potencializam a redução do ciclo operacional pelo processo de bioincrustação nos emissores. Objetivou-se com este trabalho analisar o nível de contribuição da temperatura e salinidade da água subterrânea, na evolução da bioincrustação em emissores de fitas gotejadoras, utilizando-se o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), vazão dos emissores (Q) e imagens da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Para isso, montou-se uma bancada experimental visando o ensaio de três tipos de fitas gotejadoras (MI, MII e MIII) que operaram em quatro ciclos de operação (100, 250, 500 e 750h). As fitas gotejadoras aplicaram água com temperaturas de 20 e 30°C e salinidades que variaram de 0,52 a 2,56 dS m⁻¹. Após o término de cada ciclo de operação, os valores de CUD e Q foram calculados, e coletaram-se amostras das fitas gotejadoras para monitoramento da bioincrustação utilizando-se o MEV. O aumento nos valores de temperatura e salinidade da água não acarretou elevação dos níveis de entupimento. Porém, a fita gotejadora MI, de menor comprimento do emissor e vazão nominal, foi a mais suscetível à bioincrustação, resultante da combinação de mucilagens bacterianas e precipitados químicos.

Palavras-chave: qualidade da água, entupimento químico e biológico, vida útil.

**CUNHA, J. L. O.; SILVA, S. L.; BATISTA, R. O.; MARQUES, B. C. D.; COELHO, D.
C. L.; SILVA, K. B.**

**MONITORING BIOFOULING IN DRIP TAPES BY APPLYING WATER WITH
DIFFERENT TEMPERATURES AND SALINITIES**

2 ABSTRACT

In the field, drip tapes are exposed to physical-chemical and microbiological agents in irrigation water that enhance the reduction of the operational cycle by the biofouling process at the emitters. The objective of this work was to analyze the level of contribution of

groundwater temperature and salinity in the evolution of biofouling of drip tape emitters, using the distribution uniformity coefficient (DU), emitters flow rate (FR) and Scanning Electron Microscopy (SEM) images. To this end, an experimental bench was set up to test three types of drip tapes (MI, MII and MIII) that operated in four operating cycles (100, 250, 500 and 750h). The drip tapes applied water with temperatures of 20 and 30°C and salinities ranging from 0.52 to 2.56 dS m⁻¹. After the end of each operation cycle, DU and FR values were determined, and samples of the drip tapes were collected to monitor bio-encrustation using SEM. The increase in temperature and salinity values of the water did not increase the levels of clogging. However, drip tape MI, with the shortest emitter length and nominal flow, was the most susceptible to biofouling, resulting from the combination of bacterial mucilage and chemical precipitates.

Keywords: water quality, chemical and biological clogging, service life.

3 INTRODUÇÃO

A vida útil do sistema de irrigação localizada está associada a problemas com o entupimento de emissores, que por sua vez são influenciadas pelas características químicas da água de irrigação. Camargo et al. (2014) constataram que o entupimento dos emissores é resultado da ação individual ou combinada de agentes físicos, químicos e biológicos presentes na água de irrigação.

As fitas gotejadoras representam um dos tipos de sistemas de irrigação localizada, sendo fabricadas com polietileno de baixa densidade, em que sua durabilidade está limitada pelo grau de exposição aos agentes de degradação tais como temperatura e radiação solar, tendo vida útil de dois anos ou 2.000 h de operação no campo (BISCARO et al., 2013).

A bioincrustação, resultante da interação entre microrganismos e precipitados químicos, é uma grande vulnerabilidade para a manutenção do desempenho adequado dos emissores de fitas gotejadoras. Além disso, Bastos (1999) relata que nos sistemas de irrigação por gotejamento, o entupimento dos emissores ocorre em detrimento da formação de precipitados químicos,

biofilmes e depósitos de partículas inorgânicas.

Segundo Oliver, Hewa e Pezzaniti (2016), a variação na vazão dos emissores provém de uma gama de fontes, incluindo a variação térmica local que afeta a temperatura da água provocando alterações dimensionais do elastômetro dos emissores.

Sabe-se que os emissores de fitas gotejadoras são suscetíveis ao processo de bioincrustação tanto pela formação de precipitados químicos quanto pelo desenvolvimento de biofilme; sendo esse processo potencializado pela elevação de temperatura e concentração de sais na água de irrigação. Neste contexto, objetivou-se com este estudo analisar o efeito da temperatura e salinidade da água subterrânea, no processo de bioincrustação de emissores de fitas gotejadoras, empregando-se a obtenção do coeficiente de uniformidade de distribuição, a vazão dos emissores e imagens da Microscopia Eletrônica de Varredura.

4 MATERIAL E MÉTODOS

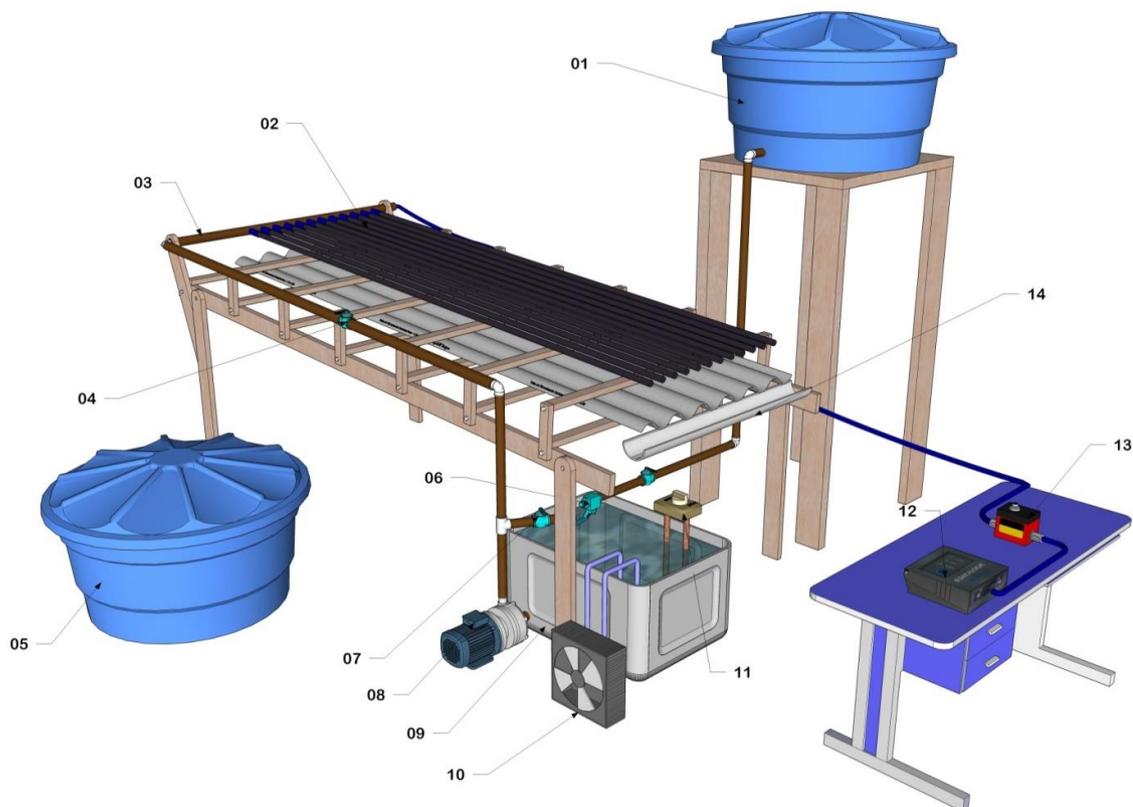
O presente estudo foi realizado, no período de dezembro de 2015 a março de 2017, no Laboratório de Instrumentação de Máquinas e Mecanização Agrícola

(LIMMA) pertencente ao curso de Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, RN.

Para a realização dos ensaios, uma bancada experimental foi construída nas dimensões 1,50 m x 3,50 m e alturas de 1,00m e 1,20m (altura do ponto mais baixo e do ponto mais elevado, respectivamente). Sobre essa bancada foram fixadas quatro

telhas de fibrocimento que ocuparam área de 2,70m² (0,90 m de largura x 3,00 m de comprimento) e tendo declividade de 8%. Na sua base foi inserida uma calha coletora conectada a um reservatório térreo de 0,10m³, para permitir a recirculação da água dos ensaios. Na Figura 1 está apresentada a ilustração esquemática da bancada experimental.

Figura 1. Esquema e detalhamento da bancada experimental para ensaios das fitas gotejadoras aplicando águas subterrâneas com distintas temperaturas e salinidades



Nota: 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.

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 manterem a temperatura da água dentro do valor previamente definido para cada ensaio. O sistema de monitoramento, armazenamento de dados e automação utilizado foi da

marca *Campbell Scientific Inc.*, modelo CR23X.

Esta bancada experimental foi montada com três tipos de fitas

gotejadoras, onde suas informações técnicas e do fabricante estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Informações técnicas dos três tipos de fitas gotejadoras utilizadas nos ensaios experimentais, especificando o modelo de fita gotejadora (MF), fabricante (F), vazão nominal (Qn), pressão de operação (PO), espaçamento entre emissores (EE), diâmetro interno da linha lateral (Di) e comprimento do emissor (CE)⁽¹⁾

MF	F	Qn (L h ⁻¹)	PO (kPa)	EE (m)	DI (mm)	CE ⁽¹⁾ (mm)
MI	Netafim Streamline 16100	1,60	100	0,30	0,25	20,33
MII	Naandanjain/modelo Taldrip	1,70	100	0,30	0,25	35,18
MIII	Amanco/modelo Drip	1,60	100	0,30	0,25	25,37

Nota: ⁽¹⁾ Dimensão medida com paquímetro digital, tendo 0,05mm de precisão; as demais informações foram extraídas do catálogo dos fabricantes.

O experimento foi montado no delineamento inteiramente casualizado e com quatro repetições. As fitas gotejadoras foram submetidas à quatro ciclos de operação de 100, 250, 500 e 750 h, utilizando-se os seguintes tratamentos:

1) Tratamento testemunha (TES) - Água a temperatura de 20 °C, tendo condutividade elétrica no intervalo de 0,52 a 0,81 dS m⁻¹, extraída de poço à 870 m de profundidade, da Fazenda Experimental Rafael Fernandes e resfriada artificialmente em laboratório;

2) Tratamento I (TR I) - Água a temperatura de 30 °C, tendo condutividade elétrica no intervalo de 0,56 a 1,09 dS m⁻¹, extraída de poço à 870 m de profundidade, da Fazenda Experimental Rafael Fernandes e resfriada artificialmente em laboratório; e

3) Tratamento II (TR II) - Água a temperatura de 30 °C, condutividade elétrica no intervalo de 1,46 a 2,56 dS m⁻¹, extraída de poço raso à 70 m de profundidade, do Sítio Cumarú.

Deve-se ressaltar que a água do poço da Fazenda Experimental Rafael Fernandes passou por dois períodos distintos de resfriamento para obter as temperaturas de 20 e 30°C. Esses valores de temperatura da água simulam a

condição de irrigação na fruticultura do Oeste Potiguar.

As águas dos poços foram transportadas e armazenadas em reservatórios auxiliares no LIMMA/UFERSA, a fim de abastecer a bancada ao longo do período experimental. Foram determinados, em laboratório, os atributos físico-químicos das águas subterrâneas (pH, condutividade elétrica, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, CO₃²⁻ e HCO₃⁻).

As análises químicas, das águas com distintas temperaturas e salinidades, foram realizadas logo após o término de cada ciclo de operação. 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 químicas 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 no mesmo. Com os valores de Ca²⁺ e Mg²⁺ determinou-se, também, a dureza das águas subterrâneas.

No monitoramento da obstrução dos emissores das fitas gotejadoras, quanto à incrustação por sais das águas subterrâneas, utilizou-se o Índice de

Saturação de Langelier (ISL) apresentado na Equação 1 (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 - $(pK_d - pK_s) + pCa + p(Alk)$.

Segundo López et al. (1992), o ISL permite determinar a tendência de incrustação ($ISL > 0$), corrosão ($ISL < 0$) ou equilíbrio químico ($ISL = 0$) da água subterrânea.

As temperaturas de realização dos ensaios foram de $20 \pm 0,5^\circ C$ e $30 \pm 2^\circ C$. A escolha da primeira faixa é 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 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

A escolha da segunda faixa de temperatura de $30 \pm 2^\circ C$ foi em decorrência da representação média da temperatura do espelho d'água na região de Mossoró-RN.

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

Seguindo as recomendações de Capra e Scicolone (1998), utilizou-se a coleta de água em dezesseis gotejadores para a avaliação do desempenho hidráulico de 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 em dezesseis emissores, durante três minutos. Estes volumes foram quantificado em proveta de 250 mL, tendo 2 mL de precisão. O CUD foi determinado antes do primeiro ciclo operacional de 100 h 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.

No cálculo do CUD foi utilizada a Equação 2, proposta por Keller e Karmeli (1975), sendo os seus valores classificados pelo critério de Merriam e Keller (1978), onde valor de CUD: $> 90\%$ é excelente; entre 80 e 90% é bom; entre 70 e 80% é regular; e $< 70\%$ é ruim.

$$CUD = \frac{Q_{25}}{Q} \cdot 100 \quad (2)$$

Em que:

CUD - Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (%)

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

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

Para a realização das imagens de verificação da presença de microrganismos e precipitados químicos aderidos aos orifícios dos emissores utilizou-se a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Esta análise foi efetuada 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 TES, TR I e TR II.

Foram recortadas amostras dos orifícios das fitas gotejadoras com bioincrustação. Na preparação das amostras de emissores, as mesmas foram colocadas em porta amostras do microscópio (*stub*), as quais permaneceram por 12 h em dessecador de sílica. Após secagem, as 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 8×10^{-2} mBAR.

Os registros fotográficos realizados pelo MEV foram da face interna da parede das fitas gotejadoras. Para isso, utilizou-se a distância de trabalho de 9,79 mm a 14,70 mm, com aumento de 1,64X a 1,65X, e escala fixa de 20 μ m. Para as fotos dos

orifícios, utilizou-se à distância de trabalho de 7,30 mm a 14,03 mm, com aumento de 71X a 95X, e escala fixa de 500 μ m, de forma a permitir a máxima resolução das imagens.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análises químicas das águas subterrâneas

Na Tabela 2 estão apresentados os atributos químicos das águas subterrâneas utilizadas nos quatro ciclos de operação dos três tipos de fitas gotejadoras, bem como os riscos de obstrução de emissores de cada atributo avaliado.

Tabela 2. Análises químicas das águas subterrâneas relacionadas aos respectivos tratamentos e ciclos de operação, bem como a classificação do risco de obstrução dos emissores

TR	CO H	L	pH	CE dSm ⁻¹	Dr mgL ⁻¹	Ca ²⁺ -----mmol _e L ⁻¹ -----	Mg ²⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃	ISL
TES	100	FR	7,50	0,81	240	1,70	3,10	0,80	2,80	-0,19
	250		8,20	0,78	170	1,40	2,00	0,40	3,60	0,51
	500		7,70	0,52	205	2,80	1,30	0,60	3,10	0,21
	750		8,10	0,71	190	2,10	1,70	1,70	3,10	0,61
Média			7,90	0,70	201	2,00	2,00	0,90	3,20	0,29
Classificação			S ⁽²⁾	B ⁽¹⁾	M ⁽²⁾	B ⁽¹⁾	M ⁽¹⁾	MaI ⁽³⁾	MeI ⁽³⁾	I ⁽⁴⁾
TR I	100	FR	8,60	0,84	155	1,60	1,50	1,20	4,10	0,89
	250		8,60	0,94	205	1,90	2,20	1,20	4,50	0,89
	500		8,20	1,09	290	1,90	3,90	1,20	4,10	0,38
	750		8,40	0,97	245	1,50	3,40	1,60	4,80	0,69
Média			8,50	1,00	224	1,70	2,80	1,30	4,40	0,71
Classificação			S ⁽²⁾	M ⁽¹⁾	M ⁽²⁾	B ⁽¹⁾	M ⁽¹⁾	MaI ⁽³⁾	MeI ⁽³⁾	I ⁽⁴⁾
TR II	100	SC	8,00	1,74	600	9,10	2,90	1,60	5,40	0,99
	250		8,10	2,17	750	9,00	6,00	1,80	4,60	0,98
	500		8,10	2,56	910	11,2	7,00	2,20	4,30	1,08
	750		8,20	2,17	790	8,60	7,20	1,60	4,10	1,00
Média			8,10	2,20	762	9,50	5,80	1,80	4,60	1,01
Classificação			S ⁽²⁾	M ⁽¹⁾	S ⁽²⁾	B ⁽¹⁾	M ⁽¹⁾	MaI ⁽³⁾	MeI ⁽³⁾	I ⁽⁴⁾

Nota: TR - Tratamento; TES - Tratamento testemunha com água subterrânea a 20°C e salinidade variando de 0,52 a 0,81 dS m⁻¹; TR I - Tratamento com água subterrânea a 30°C e salinidade variando de 0,56 a 1,09 dS m⁻¹; TR II - Tratamento com água subterrânea a 30°C e salinidade variando de 1,46 a 2,56 dS m⁻¹; CO - Ciclo de operação; L - Local; FR - Fazenda Experimental Rafael Fernandes; SC - Sítio Cumaru; CE - condutividade elétrica; Dr - Dureza; e ISL - Índice de Saturação de Langelier; Classificação do risco de obstrução de emissores como baixo (B), moderado (M) e severo (S) segundo: ⁽¹⁾ Capra e Scicolone (1998) e ⁽²⁾ Haman (2017). Risco de incrustação apresentado por Almeida⁽³⁾: Maior risco de incrustação (MaI) e Menor risco de incrustação (MeI).

Risco de precipitação de CaCO_3 nos emissores, onde $\text{ISL} > 0$ indica problema de incrustação (I), segundo López et al. (1992)⁽⁴⁾.

Em todos os tratamentos, os valores médios de pH foram superiores a 7,5, valor esse que representa risco severo de obstrução de emissores, conforme critério apresentado por Haman (2017). No entanto, analisando os valores médios de CE constatou-se que o risco de obstrução de emissores foi classificado como baixo para TES e moderado para TR I e TR II, segundo os critérios de Capra e Scicolone (1998).

Os valores médios do atributo Dr revelam que o risco de obstrução de emissores foi classificado como moderado para TES e TR I e severo para TR II, conforme o critério apresentado por Haman (2017). Por outro lado, os valores médios de Ca^{2+} em todos os tratamentos, apresentaram baixo risco de obstrução de emissores, conforme diretrizes propostas por Capra e Scicolone (1998). Em média, o risco de obstrução de emissores quanto ao atributo Mg^{2+} foi classificado como moderado em todos os tratamentos, conforme critério apresentado por Capra e Scicolone (1998).

De acordo com Almeida (2010), as águas subterrâneas de todos os tratamentos apresentam teores de CO_3^{2-} muito acima do

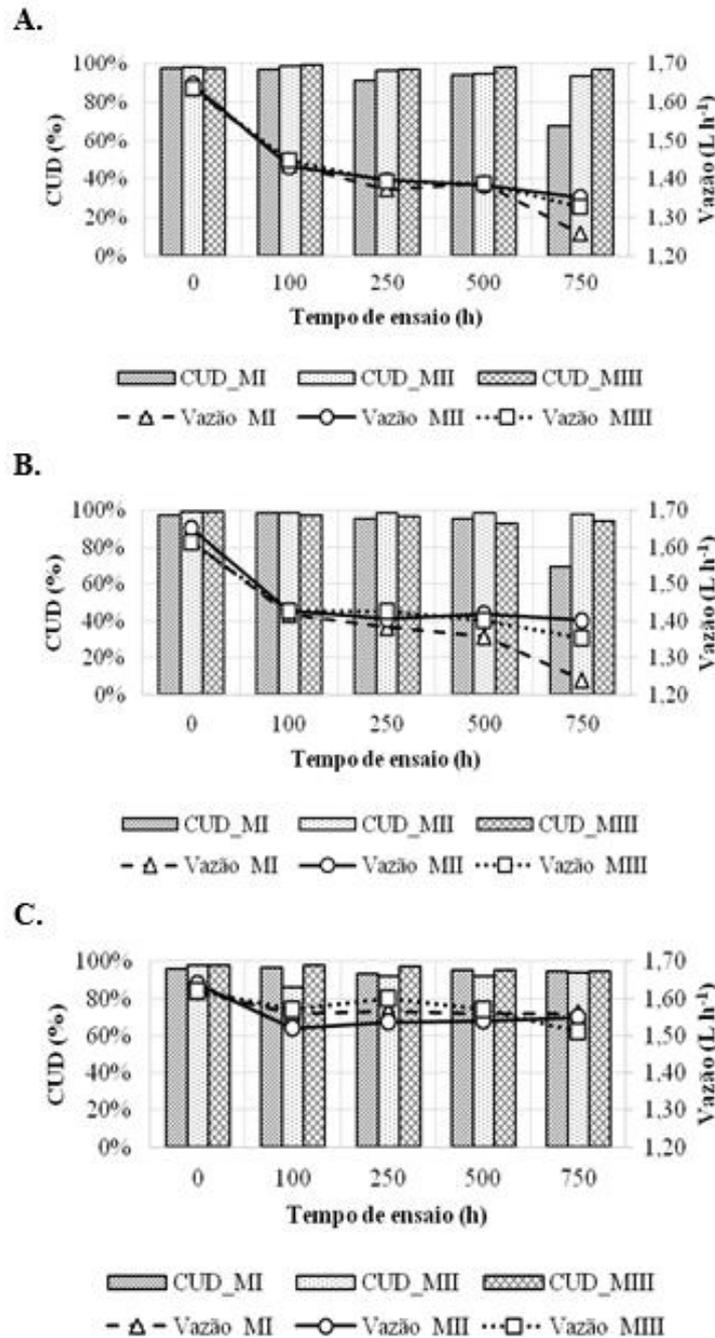
valor limite de $0,10 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ para fins de irrigação, apresentando maior risco de obstrução de emissores. Já em relação ao HCO_3^- , os valores médios em todos os tratamentos foram inferiores ao valor limite de $5,0 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ apresentado, também, por Almeida (2010), indicando menor risco de obstrução de emissores.

Os valores médios de ISL em todos os tratamentos foram maiores que zero, indicado risco de incrustação pela formação de CaCO_3 no interior dos emissores e das paredes das fitas gotejadoras, conforme critério apresentado por López et al. (1992). Nota-se, que TR II proporciona o maior risco de incrustação dentre os tratamentos testados.

5.2 Coeficiente de uniformidade de distribuição e vazão dos emissores das fitas gotejadoras

A Figura 2 representa o comportamento dos valores do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e vazão (Q) dos emissores das fitas gotejadoras, mediante os quatro ciclos de operação com as águas subterrâneas tendo distintas temperaturas e salinidades.

Figura 2. Comportamento do desempenho hidráulico das fitas gotejadoras com emissores MI, MII e MIII submetido ao tratamentos TES (A), TR I (B) e TR II (C)



O comportamento da redução de Q demonstrou ser não linear, ao longo da execução do experimento, com destaque para a acentuada variação de Q , após o primeiro ciclo de operação (100 h) e relativa estabilização da redução entre 100 a 500 h de operação. Corroborando com as observações feitas por Zhang et al. (2011),

que realizaram pesquisas sobre a otimização dos labirintos de emissores, e consideram que o entupimento dos emissores são problemas comuns em sistema de irrigação e difíceis de serem descritos por modelos matemáticos.

O CUD da fita gotejadora MI, submetida à TES e TR I, apresenta

classificação excelente segundo o critério de Merriam e Keller (1978) até o ciclo de operação de 500 h. Após este ciclo, ambos os tratamentos apresentaram valores de CUD abaixo de 70%, recebendo a classificação ruim. Dados similares foram apresentados por Araquam e Campeche (2012) em sistemas de irrigação abastecidos com água superficial da Barragem de Sobradinho-BA.

A fita gotejadora MI apresentou menor oscilação nos valores do CUD, quando submetida à TR II, tendo o valor do CUD de todos os ciclos de operação classificado como excelente, conforme Merriam e Keller (1978). Corroborando com os resultados apresentados por Borssoi et al. (2012), nas condições de operação de fitas gotejadoras utilizadas para fertirrigação.

Os valores de CUD das fitas gotejadoras MII e MIII, quando submetidos à TR II, foram classificados como excelentes em todos os tratamentos e ciclos operacionais; exceto o CUD da fita gotejadora MII, submetida à TR II, no ciclo operacional de 100 h, onde o valor foi de 85% e sua classificação mudou para bom, segundo critério de Merriam e Keller (1978). As oscilações dos valores de CUD foram de 98 a 85%, condição essa também observada por Brito, Fonseca e Santos (2016) em seu estudo com abacaxizeiro e palma forrageira irrigados com água salina a $3,6\text{dS m}^{-1}$.

Em geral, nota-se que houve redução dos valores de Q e CUD, ao longo dos ciclos operacionais, em função do processo de bioincrustação dos emissores das fitas gotejadoras. Esta redução do

CUD, ao longo da vida útil das fitas gotejadoras, foi também constatada por Busato e Soares (2010) e Dantas et al. (2014) na condição de utilização de água de baixa qualidade química e biológica.

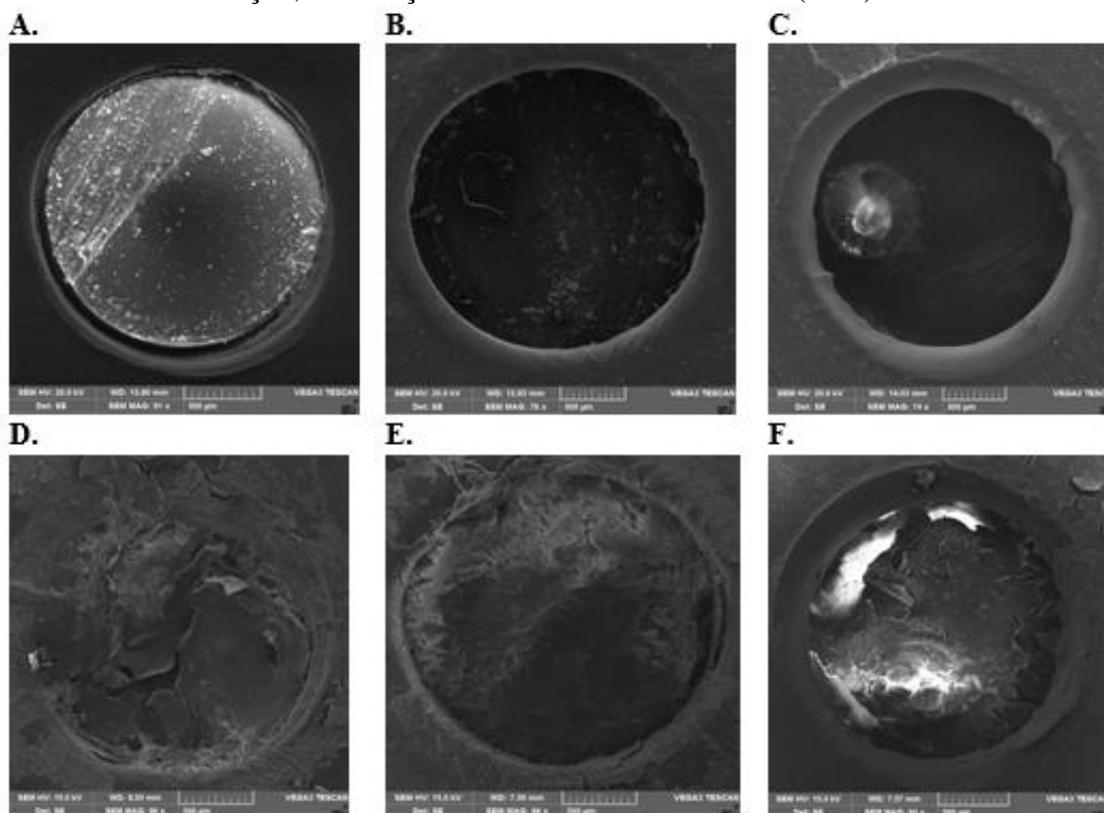
Ao final do ciclo de operação de 750h das fitas gotejadoras, constata-se que os níveis de obstrução e desuniformidade de distribuição de água foram maiores no TR I, quando comparado à TES e TR II. Este fato é devido, provavelmente, a maior atividade microbiológica na água subterrânea de TR I, que potencializou a bioincrustação. Em TR II, o risco de obstrução química é teoricamente maior que em TRI e TES, porém os níveis elevados de sais deste tratamento podem ter reduzido à atividade biológica e tornar o risco biológico em TR II menor que TR I e TES.

A fita gotejadora MI foi a mais suscetível ao entupimento em relação a MI e MIII, quando submetida a TRI e TES, em função do menor comprimento desse emissor e da menor vazão nominal que provavelmente foi mais prejudicada pela bioincrustação.

5.3 Análises da bioincrustação com imagens da microscopia eletrônica de varredura

Apresentam-se, na Figura 3, as imagens da microscopia eletrônica de varredura dos orifícios dos emissores MI, MII e MIII das fitas gotejadoras do tratamento testemunha (TES) sem e com a bioincrustação, após o encerramento do ciclo de 750h.

Figura 3. Imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura dos orifícios dos emissores das fitas gotejadoras MI (A, D), MII (B, E) e MIII (C, F) sem e com bioincrustação, em relação ao tratamento testemunha (TES)



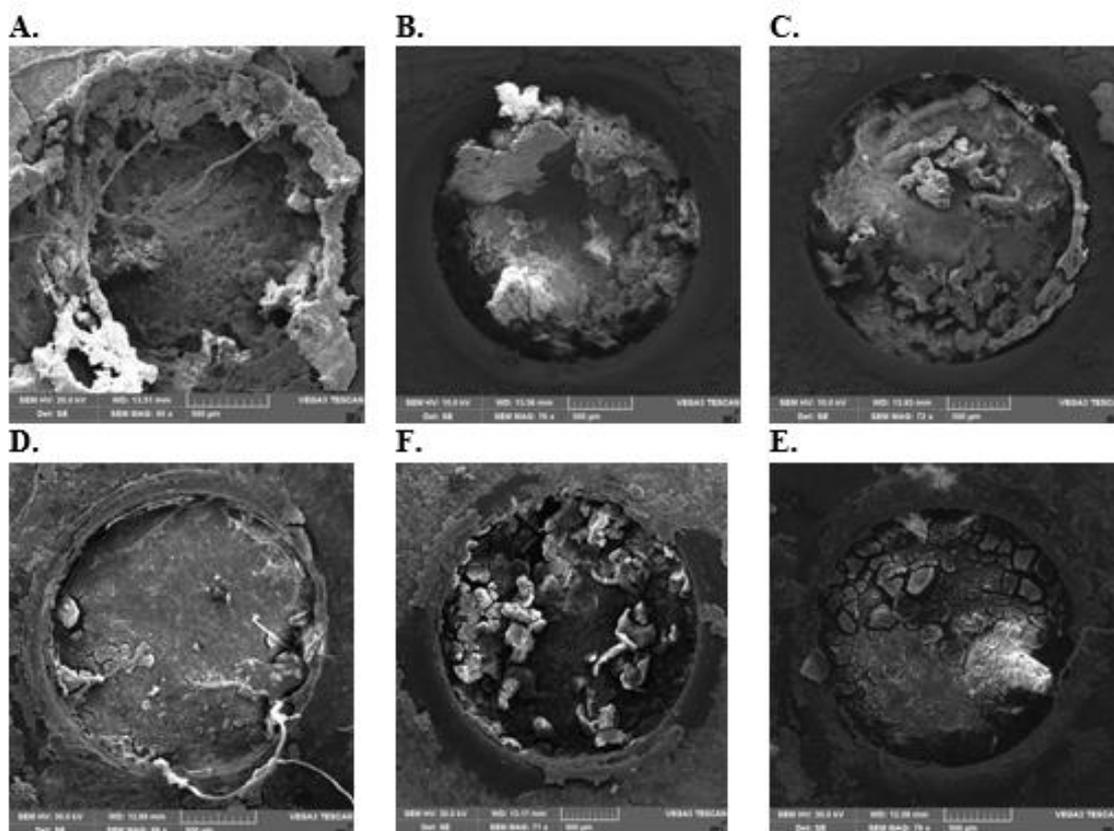
Nas Figuras 3 D, E e F notou-se a proliferação de colônias de bactérias que se desenvolveram, juntamente com a incrustação, na condição experimental de água subterrânea à 20°C, temperatura essa que provavelmente favoreceu o surgimento de muscilagens bacterianas que obstruiu o fluxo de água nos emissores. Fato similar foi informado por Li et al. (2012), porém em um estudo com gotejadores aplicando água residuária tratada, onde as bactérias do efluente aderiram e formaram colônias no interior dos emissores, impactando também no fluxo de efluente dos mesmos.

As consequências do surgimento de colônias de bactérias e algas estão

associadas à obstrução parcial dos orifícios observado nas Figuras 3 D, E e F. Nos trabalhos de Batista et al. (2013) e Batista et al. (2018) com unidades gotejadoras aplicando efluente de suínos, foi, também, detectada a presença de biofilme nos emissores obstruídos, resultante da interação de diversos agentes biológicos tais como bactérias, algas, fungos e protozoários.

Comparando as Figuras 3 e 4, nota-se que o aumento da temperatura de 20°C para 30°C proporcionou o surgimento de incrustações oriundas da precipitação de elementos químicos presentes nas águas subterrâneas.

Figura 4. Imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura do orifício dos emissores das fitas gotejadoras MI (A, D), MII (B, E) e MIII (C, F), submetidas aos tratamentos TR I e TR II, com bioincrustação



As incrustações apresentadas, na Figura 4, corrobora com o relato de Haman (2017), onde o entupimento de orifícios e labirintos de emissores que operam com águas subterrâneas ricas em CO_3^{2-} e HCO_3^- é potencializado pela formação de precipitados que podem bloquear parcial ou completamente o fluxo de água através do emissor. A precipitação de CaCO_3 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 no processo de precipitação química.

Considerando a ocorrência simultânea de microrganismos e precipitados químicos aderidos no interior das fitas gotejadoras, e que ao se desprenderem proporcionam o entupimento dos emissores, e a complexa

interação dos fatores como temperatura e características químicas e biológicas das águas observadas nesta pesquisa, torna-se complexa a identificação do fator preponderante de redução da vida útil das fitas gotejadoras, conforme relatado por Ravina et al. (1992). A determinação da causa da obstrução pode ser complexa pela interação simultânea dos vários agentes causadores de obstrução, sobretudo considerando-se a natureza dinâmica dos indicadores de qualidade da água.

6 CONCLUSÕES

Os valores médios do pH e ISL evidenciam elevado risco químico de obstrução dos emissores em todas as águas subterrâneas ensaiadas.

O aumento nos valores de temperatura e salinidade da água não acarretou elevação dos níveis de entupimento e nem da desuniformidade de distribuição de água.

A fita gotejadora MI, submetida aos tratamentos TR I e TES, apresentou as maiores reduções nos valores de Q e CUD, indicando maior suscetibilidade ao entupimento pela bioincrustação.

A ordenação dos níveis de redução de Q e CUD nos tratamentos ensaiados foi o seguinte: TR I > TES > TR II.

As imagens por microscopia eletrônica de varredura identificam, nos emissores obstruídos, a presença de mucilagens bacterianas juntamente com precipitados químicos, formando uma estrutura complexa denominada bioincrustação.

7 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. 1. ed. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010.

ARAQUAM, W. W. C.; CAMPECHE, L. F. 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. **ABNT NBR 11795**: Tubos de polietileno para sistemas de irrigação localizada. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Water quality for agriculture**. Rome: FAO, 1976. (Irrigation and Drainage Paper, 29).

BATISTA, R. O.; OLIVEIRA, R. A.; CUNHA, M. E.; CUNHA, R. R.; PORTELA, J. C.; GURGEL, M. T. Flow rate variation and biological agents that obstruct drippers of swine effluent. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 9, n. 2, p. 125-132, 2018.

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, 1999. p. 297-291.

BISCARO, G. A.; MISSIO, C.; MOTOMIYA, A. V. 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**, New York, 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**, Botucatu, p. 179-189, 2014. Edição Especial 1.
- HAMAN, D. Z. **Causes and prevention of emitter plugging in microirrigation systems**. Florida: University of Florida, 2017. (Bulletin, 258).
- KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation desing**. Glendora: Rain Bird Sprinkler Manufacturing, 1975.
- 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**, New York, v. 30, n. 1, p. 43-56, 2012.
- LÓPEZ, J. R.; ABREU, J. M. H.; REGALADO, A. P.; HERNANDEZ, J. F. G. **Riego localizado**. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1992.
- MERRIAM, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 1978.
- OLIVER, M. M. H.; HEWA, G. A.; PEZZANITI, D. Thermal variation and pressure compensated emitters. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 176, n. 1, p. 29-39, 2016.
- 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, n. 2/3, p. 129-139, 1992.
- ZHANG, J.; ZHAO, W. T. Y.; LU, B. Structural optimization of labyrinth-channel emitters based on hydraulic and anti-clogging performances. **Irrigation Science**, New York, v. 29, n. 5, p. 351-357, 2011.