

RECUPERAÇÃO DE EMISSORES OBSTRUÍDOS POR DEPÓSITOS DE CaCO_3 UTILIZANDO ÁCIDO CÍTRICO

GUSTAVO L. MUNIZ¹, DIEGO J. S. PEREIRA², NICOLAS D. CANO³, JONESMAR DE OLIVEIRA⁴, ANTONIO P. CAMARGO⁵

¹ Eng. Agrícola e Ambiental, Doutorando em Engenharia Agrícola, Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, Campinas – SP, Fone: (019) 3521-1019, gustavo.l.muniz@feagri.unicamp.br

² Eng. Agrícola e Ambiental, Doutorando em Engenharia de Biossistemas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da USP, Piracicaba - SP

³ Eng. Agrícola, Doutorando em Engenharia Agrícola, Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, Campinas - SP

⁴ Estudante de Engenharia Agrícola, Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, Campinas - SP

⁵ Eng. Agrônomo, Professor doutor, Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, Campinas - SP

Apresentado no
L Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2021
08 a 10 de novembro de 2021 - Congresso On-line

RESUMO: Neste estudo, um composto orgânico com propriedades ácidas foi aplicado a fim de avaliar seu desempenho na recuperação da vazão de emissores obstruídos por depósitos de CaCO_3 . Quinze protótipos de emissores construídos em placas de acrílico e com características geométricas dos labirintos semelhantes a emissores comerciais foram estudados. Nove protótipos apresentam características geométricas que permitem a formação de zonas de vórtice no labirinto durante o escoamento e seis protótipos apresentam escoamento uniforme com zonas mínimas de vórtice. Ácido cítrico nas concentrações de $6,25 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ e $1,25 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$ foi utilizado em sucessivas aplicações na tentativa de dissolução do precipitado químico. Foi constatado que o ácido cítrico é eficiente na recuperação da vazão dos emissores que não se encontravam completamente obstruídos. Os emissores que se encontravam completamente obstruídos, isto é, que apresentavam vazão relativa $< 1\%$ não foram sensíveis à aplicação do ácido, não sendo possível recuperar a vazão desses emissores.

PALAVRAS-CHAVE: obstrução de gotejadores, irrigação por gotejamento, incrustação

RECLAMATION OF CLOGGED EMITTERS BY CaCO_3 SCALE USING CITRIC ACID

ABSTRACT: In this study, an organic compound with acidic properties was applied to evaluate its performance on reclamation of clogged emitters by CaCO_3 scale. Fifteen prototypes of emitters made of acrylic sheets and of geometric characteristics similar to commercial emitters were studied. Nine prototypes have geometric characteristics that allow vortex formation zones in labyrinth during the flow and six prototypes have uniform flow with minimal vortex zones. Citric acid at concentrations of $6.25 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ and $1.25 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$ was used in successive applications in an attempt to dissolve chemical precipitate. It was found that citric acid is efficient on reclamation of emitters that were not completely clogged. Emitters that were completely clogged, that is, that had a relative discharge $< 1\%$, were not sensitive to the application of acid, and it was not possible to reclamation these emitters.

KEYWORDS: clogging emitters, trickle irrigation, fouling

INTRODUÇÃO: Em diversas regiões, é comum o uso de águas subterrâneas alcalinas, com alta dureza carbonato, em sistemas de irrigação por gotejamento. O uso de água dessa natureza pode comprometer o funcionamento dos emissores devido à precipitação do carbonato de cálcio (CaCO_3) no interior do canal (ZHOU et al., 2019). A recuperação de emissores obstruídos por precipitados químicos é prática comum entre os irrigantes e, normalmente, ácidos inorgânicos tem sido os mais utilizados. Entretanto, os ácidos inorgânicos podem corroer tubulações e equipamentos; comprometer seriamente o meio ambiente com problemas advindos durante o transporte, manipulação e estocagem; adicionar outros elementos tóxicos ao solo e à cultura; além de ser inadequado para uso em cultivos orgânicos (PITTS; HAMAN; SMAJSTRIA, 1990). Como forma alternativa, ácidos orgânicos poderiam ser empregados visando atenuar tais problemas. Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho do ácido cítrico na recuperação da vazão de emissores obstruídos por depósitos de CaCO_3 .

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento foi conduzido no laboratório de Hidráulica e Irrigação da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp. Foram utilizados protótipos de labirintos de emissores projetados e construídos em placas de acrílico que apresentam características geométricas semelhantes às de gotejadores comerciais. Os protótipos foram projetados a partir de sólidos tridimensionais desenhados em ambiente CAD (*Computer Aided Design*), simulados utilizando o *CFD Module* do aplicativo *COMSOL Multiphysics* e fabricados utilizando fresagem, em placas de acrílico, com auxílio de uma máquina com Comando Numérico Computadorizado (CNC). Foram estudados 15 protótipos, com distintas características geométricas (Tabela 1), sendo que, 6 protótipos apresentam escoamento uniforme no canal, e 9 protótipos caracterizam-se por apresentar zonas de formação de vórtices durante o escoamento (LAVANHOLI et al., 2020).

TABELA 1. Características geométricas dos protótipos de labirintos: largura do canal (W), profundidade do canal (D), área da seção de fluxo (A), altura do dente (H), ângulo do dente (α), coeficiente de perda de carga (φ), número de defletores (N) e comprimento do labirinto (L).

Protótipo	W (mm)	D (mm)	A (mm ²)	H (mm ²)	α (°)	φ	N	L(mm)
1	0,7	0,8	0,49	0,70	75	17,71	23	33,33
2	0,7	0,8	0,49	0,84	75	21,21	19	27,54
3	0,7	0,8	0,49	1,12	75	25,32	16	23,19
4	1,0	0,8	1,00	1,00	75	18,82	44	91,10
5	1,0	0,8	1,00	1,20	75	24,58	34	70,40
6	1,0	0,8	1,00	1,60	75	30,09	28	58,00
7	1,3	0,8	1,69	1,30	75	20,97	67	177,65
8	1,3	0,8	1,69	1,56	75	28,84	49	131,89
9	1,3	0,8	1,69	2,08	75	31,84	45	118,43
10	0,5	0,5	0,25	0,97	75	8,04	10	15,18
11	0,5	0,5	0,25	0,87	60	4,42	18	36,00
12	0,5	0,5	0,25	0,71	45	2,23	37	89,32
13	0,8	0,8	0,64	1,13	45	2,31	230	888,42
14	0,8	0,8	0,64	1,39	60	3,99	133	425,60
15	0,8	0,8	0,64	1,55	75	7,28	73	177,26

Foi utilizada uma bancada de ensaios constituindo um circuito hidráulicamente fechado, composto por um reservatório de 80 L para armazenamento da água utilizada nos ensaios; uma motobomba com rotor e carcaça em aço inoxidável; uma calha plástica, que foi responsável por coletar e retornar a água ao reservatório; manômetro digital para controle da pressão (1 bar) na

linha; e, uma peneira no final da calha para retenção de possíveis contaminantes. A velocidade de escoamento na linha foi de, aproximadamente, 1 m s^{-1} , sendo controlada por um bocal de diâmetro apropriado instalado no final da linha lateral. Inicialmente, os emissores foram obstruídos numa etapa preliminar, para isso, foi utilizada água calcária sintética com dureza de 300 mg L^{-1} em CaCO_3 . A água calcária foi preparada a partir de água deionizada adicionando reagentes puramente analíticos, cloreto de cálcio dihidratado ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e bicarbonato de sódio (NaHCO_3). Os protótipos de emissores foram ensaiados simultaneamente durante 200 h para que houvesse a obstrução dos mesmos. Nesta etapa, os ensaios foram realizados em ciclos de 12 h, com 10 h operando e 2 h em repouso, totalizando 10 dias. No final do dia 10, a vazão dos emissores foi determinada e calculou-se a vazão relativa de cada modelo. Ao final dos ensaios de obstrução foi verificado que todos os modelos mais sensíveis haviam sido obstruídos, considerando que um emissor estava obstruído quando apresentasse $\pm 25\%$ de variação de vazão, em relação à vazão inicial (ZHANG et al., 2017). Os modelos que não haviam sido obstruídos são considerados emissores resistentes e, dificilmente, iriam obstruir nas condições testadas. Nos ensaios de desobstrução foi utilizado ácido cítrico de pureza analítica em duas concentrações. Foram feitas sete aplicações de ácido, sendo que, nas quatro primeiras aplicações, a concentração de ácido cítrico no tanque foi de $6,25 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$. A partir da quinta aplicação, a concentração de ácido cítrico foi duplicada no tanque ($1,25 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$), uma vez que, em alguns emissores, não havia indícios de dissolução do CaCO_3 . O ácido foi dosado diretamente no reservatório contendo água deionizada e o pH permaneceu em 4,0 na concentração inicial e em 3,2 quando foi utilizada a segunda concentração. Após estabilização do pH, o sistema foi ligado e a água foi recirculada nos emissores durante 1 h. Após 1 h de funcionamento o sistema foi desligado e permaneceu durante 2 h em repouso, a fim de garantir tempo suficiente para que a reação ocorresse. Após esse tempo, a vazão dos protótipos era aferida por determinação de massa de água.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: O comportamento da QR dos emissores ao longo das aplicações é mostrado na Figura 1.

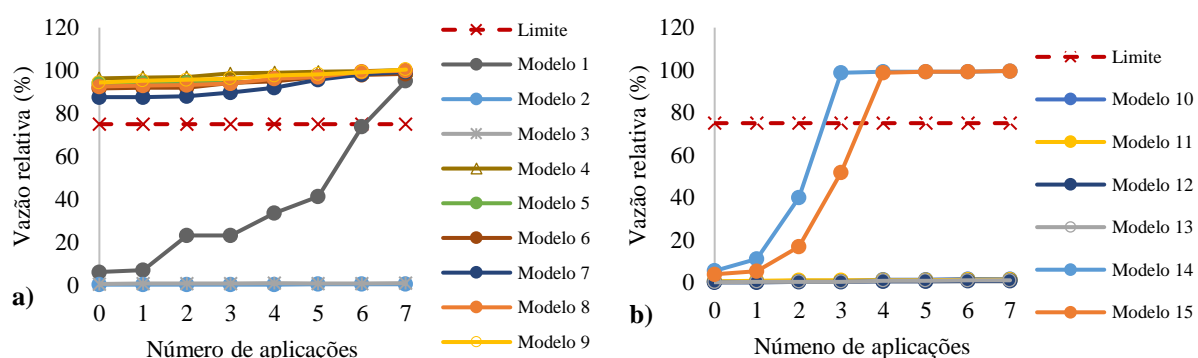


FIGURA 1. Variação da vazão relativa (QR) dos emissores em função das aplicações de ácido. (a) emissores de escoamento com vórtice, (b) emissores de escoamento uniforme.

Dentre os emissores de escoamento com vórtices (Figura 1a), apenas os modelos 1, 2 e 3 haviam sido obstruídos, os demais modelos tiveram apenas redução na vazão, entretanto, a redução observada não foi suficiente para classificá-los como obstruídos mediante o critério adotado. No início dos experimentos de desobstrução, a QR dos modelos 1, 2 e 3 era de 6,1%, 0,2% e 0,5%. Os demais modelos de escoamento com vórtices apresentavam QR entre 87% e 96%. Em relação aos emissores de escoamento uniforme, no início dos testes todos encontravam-se completamente obstruídos, apresentando QR menor que 1%, com exceção dos Modelos 14 e 15, cujas QR eram de 5,4% e 3,8%, respectivamente. Na primeira aplicação de ácido não foram

observados incrementos significativos na vazão dos emissores, procedendo-se com uma segunda aplicação. A partir de então, verificou-se alterações nas vazões dos modelos 3, 14 e 15, que foram aumentando gradativamente à medida que o ácido foi sendo aplicado. Três aplicações de ácido foram suficientes para recuperar a vazão do modelo 14 e, quatro aplicações foram necessárias para que o modelo 15 voltasse a operar com 100% da vazão inicial. Quanto aos modelos com vórtices, o modelo 3 recuperou 100% da vazão apenas na sétima aplicação, enquanto que os modelos 1 e 2 não foram sensíveis à aplicação do ácido cítrico. Os demais modelos voltaram a operar com 100% da vazão inicial, indicando que o ácido cítrico foi efetivo para os modelos que não se encontravam completamente obstruídos. Os modelos que apresentavam QR menor que 1% não foram sensíveis à aplicação de ácido. Desse modo, optou-se por duplicar a concentração de ácido cítrico no tanque a partir da quinta aplicação. Ainda assim, nas medições subseqüentes não foram identificadas alterações nas vazões desses emissores, desse modo, suspendeu-se as aplicações de ácido pois não havia indícios de que a concentração do ácido ou o número de aplicações fosse um fator crítico para esses emissores. Os emissores que foram desobstruídos apresentavam vazão relativa > 5%, assim, mesmo que a vazão fosse baixa, existia escoamento no interior do canal, o que facilitou o contato do ácido com os depósitos de CaCO_3 , promovendo sua dissolução. Diferente dos ácidos inorgânicos que se dissociam em água liberando íon hidroxônio (H^+) com facilidade, reduzindo o pH, a redução do pH com ácidos orgânicos é atribuída a um grupo orgânico específico do composto que, no caso do ácido cítrico, são os três grupos carboxilas $-\text{COOH}$, que podem perder um próton em soluções e, como consequência, forma-se um íon citrato que reage dissolvendo o sal (CaCO_3) formando citrato de cálcio (CANABADY-ROCHELLE et al., 2010). Nas condições estudadas, os resultados observados sugerem que, no caso de aplicação de ácido cítrico para a dissolução de precipitados, é indicado que a aplicação seja feita antes do emissor obstruir-se por completo, pois isso facilitaria o contato do produto com os depósitos de CaCO_3 . Tal fato reforça as necessidades de manutenção e avaliação periódicas do desempenho dos sistemas de irrigação, pois isso evitaria, por exemplo, que um emissor se obstrua por completo não permitindo mais sua recuperação.

CONCLUSÕES: A aplicação de ácido cítrico foi efetiva para recuperar a vazão de emissores que se encontravam parcialmente obstruídos ou que apenas sofreram redução na vazão devido a depósitos de CaCO_3 no labirinto. Na condição testada, não foi possível recuperar a vazão de emissores completamente obstruídos com aplicação de ácido cítrico.

REFERÊNCIAS:

- CANABADY-ROCHELLE, L. S. et al. Calcium carbonate-hydrolyzed soy protein complexation in the presence of citric acid. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 345, n. 1, p. 88–95, 1 maio 2010.
- LAVANHOLI, R. et al. Prediction of Pressure–Discharge Curves of Trapezoidal Labyrinth Channels from Nonlinear Regression and Artificial Neural Networks. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 146, n. 8, p. 04020018, 20 ago. 2020.
- PITTS, D. J.; HAMAN, D. Z.; SMAJSTRIA, A. G. Causes and prevention of emitter plugging in micro irrigation systems. **Bulletin-Florida Cooperative**, n. 258, p. 1–20, 1990.
- ZHANG, L. et al. Effect of pulsating pressure on labyrinth emitter clogging. **Irrigation Science**, v. 35, n. 4, p. 267–274, jul. 2017.
- ZHOU, H. et al. Different operation patterns on mineral components of emitters clogging substances in drip phosphorus fertigation system. **Irrigation Science**, p. 1–17, 15 jun. 2019.