Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Susceptibilidade ao entupimento de gotejadores de alta vazão arrastados sobre
o solo na irrigação por gotejamento móvel

Alex Nunes de Almeida

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas
Agrícolas

Piracicaba
2022

Alex Nunes de Almeida
Engenheiro Agrônomo

**Susceptibilidade ao entupimento de gotejadores de alta vazão arrastados sobre o solo
na irrigação por gotejamento móvel**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **RUBENS DUARTE COELHO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas
Agrícolas

Piracicaba
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Almeida, Alex Nunes de

Susceptibilidade ao entupimento de gotejadores de alta vazão arrastados sobre o solo na irrigação por gotejamento móvel / Alex Nunes de Almeida. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2022.

67 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Irrigação 2. Eficiência de irrigação 3. Entupimento de emissores 4. Pivô central I. Título

DEDICATÓRIA

Dedico,

A minha avó D. Maria,

À memória de meu avô Francisco (Sr. Caboclo),

À memória de minha avó Celestina.

Aos meus pais Antonio e Lúcia, por terem me tornando a pessoa que sou hoje.

A minha irmã Mirelle, meu cunhado Lúcio Mário e meus sobrinhos Millena e Lucas, pelo apoio dado durante este período que estive em São Paulo.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter possibilitado minha vida e pela força de vontade que Ele me proporcionou em todos os momentos de minha vida.

Ao professor Dr. Rubens Duarte Coelho, meu orientador, pela confiança depositada em mim, aos ensinamentos dados tenham sido no âmbito científico ou pessoal.

A CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela bolsa concedida.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pelo apoio por meio do Projeto 2018/09729-7.

Agradecimentos especiais aos Engenheiros Laercio Pereira da Costa Miranda (*Drip-Plan Indústria e Comércio de Equipamentos para Irrigação Ltda*) e Luiz Carlos Fernandes (*Irritec do Brasil Indústria Comércio de Equipamentos para Irrigação Ltda*) pelo fornecimento dos emissores especiais de alta vazão utilizados nestes ensaios.

Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas ESALQ/USP, e as pessoas que o fazem, pela oportunidade de realização deste curso de mestrado e também de fazer parte desta equipe.

Ao técnico Aureo auxílio com a parte eletro-eletrônica do primeiro experimento.

Aos meus amigos e colegas Pós-graduação: José Eustáquio (Junior) e Diego, que me auxiliaram em algumas atividades do segundo experimento.

Aos professores e amigos: Patrícia, Fernando, e Sérgio, pelos momentos e oportunidade de aprender um pouco com a ajuda de seus conhecimentos.

A todos os amigos de Pós-graduação que fiz no ESA, que de alguma forma possam ter contribuído com a minha formação: acadêmica, profissional e/ou pessoal.

Aos amigos: César, Aline (compadres), Aparecida Leonir, Prof. Pedro Marques e José Alissom, sem os quais não teria conseguido passar por certos momentos.

Aos amigos que fiz em Piracicaba e no trabalho: ao casal Gabriel e Cássia, minha amiga Magali, aos colegas de trabalho: João Botão, Haroldo Torres, Letícia e Kevin. A todos pelas ótimas conversas e companhias.

A minha família, a qual sempre me apoiou em minhas escolhas.

E por fim a todos que, eu ingratamente posso não ter lembrado o nome, que de alguma me ajudaram nesta jornada.

A todos vocês meu sincero, obrigado!

EPÍGRAFE

*Ele unificou,
Não aceitou opinião,
Manteve em mente aquilo tudo em identificação,
Problemas aqueles, reais, assustadores?
Observou, mexeu essa desordem oposta.
Então notou que para fazer sentido, não precisa ser real.*

Alex Nunes

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	13
1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	17
2.1. Objetivos principais	17
2.2. Objetivos específicos	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1. Panorama da irrigação mundial e brasileira	19
3.2. Irrigação aspersão – pivô central	20
3.3. Irrigação localizada – gotejamento	21
3.4. Gotejamento móvel	21
3.5. Fertirrigação	23
3.6. Obstrução de emissores	24
Referências	26
4. DESENVOLVIMENTO DE MÉTODO E ESTRUTURA PARA ENSAIO DE TUBOGOTEJADORES NA CONDIÇÃO DE ARRASTE SOBRE O SOLO (GOTEJAMENTO MÓVEL)	31
Resumo	31
Abstract	31
4.1. Introdução	32
4.2. Material e Métodos	33
4.3. Resultados e Discussão	36
4.4. Considerações Finais	43
4.5. Conclusão	44
Referências	44
5. SUSCEPTIBILIDADE DE OBSTRUÇÃO DE TUBOGOTEJADORES DE ALTA VAZÃO UTILIZADOS NA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO MÓVEL	47
Resumo	47
Abstract	47

5.1. Introdução	48
5.2. Material e Métodos	49
5.3. Resultados e Discussão.....	54
5.4. Conclusão	60
Referências	61
APÊNDICES	64

RESUMO

Susceptibilidade de gotejadores de alta vazão acoplados ao sistema de irrigação Pivô Central

O uso da irrigação tem se tornando cada vez mais popular entre os agricultores no intuito de alcançar-se maiores produtividades das culturas, porém essa prática pode apresentar honerações ao irrigante, que por sua vez precisa buscar cada vez mais, sistemas de irrigação que possam apresentar-se eficientes e com baixo custo de operação. Um sistema que tem chamado a atenção é a *Irrigação por Gotejamento Móvel (IRGMO)*, esse método usa a junção de dois sistemas conhecidos, o gotejamento (marcado por grande eficiência no uso da água) e o pivô central (marcado por sua versatilidade), em resumo, o sistema conta com a troca dos aspersores do pivô central, por linhas de gotejo, as quais são arrastadas sobre o solo a partir da movimentação do pivô, dessa forma é reduzida a ocorrência de evaporação, deriva ao vento e escoamento superficial (situação que pode ocorrer na aspersão), mesmo que com emissores de vazão superior a 4 L.h⁻¹. Contudo ainda há pouca informação sobre o arraste de tubogotejadores sobre o solo e características esperadas quanto a danos externos, além informações quanto a necessidade de filtragem para esse sistema e obstrução dos emissores. Este trabalho dividido em dois experimentos: 1) teste de arraste de dois emissores (7,4 e 6,4 L.h⁻¹, A e B respectivamente) sobre diferentes tipos de solos, utilizando de mecanismo para arraste das mangueiras de forma contínua; 2) teste de susceptibilidade de dois emissores (4,0 e 6,4 L.h⁻¹, C e B respectivamente) a obstrução de por partículas de areia (0,045-0,125; 0,125-0,212; 0,212-0,500; e 0,500-1,000 mm) em relacionado a orientação do pré-filtro do emissor. Para o experimento 1, observou-se que os solos testados não ofereceram problemas as mangueiras, exceto condições de solos mais argilosos onde o sistema possa ficar parado no campo sem operar por muitos dias. No caso do experimento 2, o emissor A quando apresenta o pré-filtro voltado para baixo apresenta maior ocorrência de problemas com obstrução, enquanto o emissor B não apresentou grandes problemas com obstrução, demonstrando que emissores de maior vazão podem apresentar menor problemas com obstrução.

Palavras-chave: Gotejamento, Eficiência de irrigação, Entupimento de emissores, Pivô central

ABSTRACT

Susceptibility of high flow drippers coupled to the Central Pivot irrigation system

The use of irrigation has become increasingly popular among farmers in order to increase crop yields, but this practice may present honeations to the irrigator, which in turn needs to seek more and more irrigation systems that can be efficient and with low cost of operation. One system that has drawn attention is Mobile Drip Irrigation (IRGMO), this method uses the junction of two known systems, the drip (marked by great efficiency in water use) and the central pivot (marked by its versatility), in summary, the system relies on the exchange of sprinklers of the central pivot, by drip lines, which are dragged on the ground from the pivot movement, thus the occurrence of evaporation, drift to wind and surface flow (situation that can occur in the sperage) is reduced, even with flow emitters greater than 4 L.h⁻¹. However, there is still little information about the drag of leakers over the soil and expected characteristics for external damage, in addition to information on the need for filtering for this system and obstruction of the emitters. This work divided into two experiments: 1) tests two emisores (7.4 and 6.4 L.h⁻¹, A and B respectively) on different types of soils, using a mechanism to drag the hoses continuously; 2) verifies the susceptibility of two emitters (4.0 and 6.4 L.h⁻¹, C and B respectively) to the obstruction of sand particles (0.045-0.125; 0.125-0.212; 0.212-0.500; and 0.500-1.000 mm) in connection with the orientation of the emitter prefilter. For experiment 1, it was observed that the soils tested did not offer problems to the hoses, except for conditions of more claysoils where the system can be without operating for many days. In the case of experiment 2, emitter A when presenting the prefilter facing down presents higher occurrence of problems with obstruction, while emitter B did not present major problems with obstruction, demsontrando that higher flow emitters may present lower problems with obstruction.

Keywords: Drip, Irrigation efficiency, Clogging emitters, Center pivot

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Evolução da área agricultável no mundo.....	19
Figura 2. Evolução da área irrigada no mundo.....	19
Figura 3. Esquema de um sistema IRGMO. Ri – raio inicial; Rmed – raio médio do pivô; Rmax+CB – raio máximo do pivô com balanço; DUT – Distância até a última torre; CB – comprimento do balanço; DSM – Distância entre saídas de mangueira; CLi – comprimento de tubo gotejador da primeira linha; CLf – comprimento de tubo gotejador da última linha; LFM – largura da faixa molhada do emissor; Emi – espaçamento entre emissores no tubo gotejador. Fonte: ALMEIDA (2016).....	22
Figura 4. Projeto final da bancada de arraste. Partes fixas: (A) Estrutura metálica de apoio, (B) suporte para os trilhos em “v”, (F) cremalheira, (G) motor. Partes móveis: (C) roldanas com trilho em “v”, (D) “gaveta” estrutura metálica para acoplamento dos tubos, (E) hastes para fixação das mangueiras na gaveta, e (H) calhas.	33
Figura 5. Estrutura móvel da bancada, “gaveta” em processo de pintura e acabamento (A) e gaveta instalada sobre trilho para movimentação lateral (B).	34
Figura 6. Bancada financiada pelo Projeto FAPESP 2000/12863-1. Armazenagem de material de ensaio (A); Módulos para aulas práticas (B e C); Módulo de ensaio para arraste (D); Módulos para ensaio de obstrução (E e F).	34
Figura 7. Tubulação flexível anti-torção (azul) para irrigação nos momentos necessários, esse sistema possibilita o arraste contínuo dos tubos, independente da irrigação (A e B), início de linhas do sistema, as hastes brancas permitem regular a altura dos tubos acima do solo (C), a luva (parte branca) foi posteriormente substituída por uma bifurcação, para a adição de uma segunda linha por calha.....	35
Figura 8. Sistema de movimentação: placas metálicas de parada (A); motor 12V (B); sensor indutivo PNP (C); Fonte de 12V (D); regulador tensão 5V (E); Arduino UNO (F); e sistema de “Ponte H” (G).	36
Figura 9. Vista das calhas com irrigação (A), solo irrigado (B), solo irrigado após três segundos de passagem do emissor (C), drenagem da calha (D).....	37
Figura 10. Acomodação dos solos em suas respectivas calhas [em B da direita para esquerda Solo 1 e Solo 2] (A e B), primeiros sinais da redução de drenagem, formação de espelho d’água [Solo 3] (C), e formação de bloco argiloso com a acomodação das partículas devido ao arraste do tubogotejadores [Solo 1] (D).	38
Figura 11. Representação do labirinto dos emissores testados. Esquerda – Emissor A 7,5 L.h ⁻¹ , Direita – Emissor B 6,4 L.h ⁻¹ . Legenda: linhas azuis - pré-filtro; linhas vermelhas – labirinto; linhas amarelas – zona de transição; linhas laranja – câmara de saída. Sentido de escoamento das linhas azuis para laranja.....	38

Figura 12 Emissores obstruídos após secagem externa do solo (linha tracejada) e emissores em funcionamento normal (linha contínua).	40
Figura 13 Grau de entupimento por tipo de solo e posição do emissor. Superior Emissor A, inferior Emissor B.	41
Figura 14 Emissores que apresentaram acúmulo de partículas na câmara de saída. Nomenclatura: S + número – solo; Letra maiúscula – Emissor; Número em sequência – Número do emissor.	42
Figura 15 Emissores que apresentaram acúmulo de partículas no labirinto. Nomenclatura: S + número – solo; Letra maiúscula – Emissor; Número em sequência – Número do emissor.	42
Figura 16 Regiões de acúmulo de partículas, áreas verdes regiões onde se encontram os orifícios de saída (2 para cada) áreas vermelhas – transição entre labirinto e câmara de saída. À esquerda Emissor “A”, à direita Emissor “B”.	43
Figura 17 Identificação do pré-filtro no tubo, para o emissor A: verde e vermelho (vertical) e branco (horizontal).	50
Figura 18 Diagrama da relação entre pré-filtro (vermelho), e orifício de saída (amarelo). * O furo na mangueira é apenas para representação de instalação (o furo verdadeiro ficaria sobre o emissor). 1 a 3 Emissor B, 4 a 6 emissor C.	50
Figura 19 Esquema da bancada de ensaios, adaptado de Lavanholi (2016) e Pereira (2019).	51
Figura 20 A - Início da floculação e sedimentação do material no recipiente; B - Material sedimentado no fundo do recipiente e restos orgânicos “flutuando”, a região clara é parcialmente sifonada.	52
Figura 21 Vão inicial da bancada de ensaios (A) e vão final (B), coletores posicionados abaixo (linhas vermelhas) dos segmentos 1 a 12 e 13 a 23 (direita para esquerda).	53
Figura 22 Variação de temperatura da água no início da leitura (máxima) e no final das leituras (mínima).	54
Figura 23 Variação da condutividade elétrica e pH da água durante o ensaio.	55
Figura 24 Emissores obstruídos por contaminação de partículas plásticas (A e B) e agrupamento de fios de algodão (C). Na imagem a seta indica a direção de fluxo.	55
Figura 25 Grau de entupimento (%) para o emissor C. Superior limite de 75%, central limite de 50%, inferior 25%.	56
Figura 26 Grau de entupimento (%) para o emissor B. Superior limite de 75%, centro limite de 50%, inferior limite de 25%.	57
Figura 27 Dados médios observados de vazão durante o ensaio: Fase 1 (0,045-0,125 mm); Fase 2 (0,125-0,250 mm); Fase 3 (0,250-0,512 mm); Fase 4 (0,512-1,000 mm); e, Fase 5 (Final de linha fechado).	58
Figura 28 Box-plot com as variações de vazão para os emissores C e B, ao longo das Fases 3 e 4.	59

- Figura 29 Emissores obstruídos durante o ensaio: A – Emissor C – pbaixo (52) obstruído na Fase 2; B – Emissor B – diag (147) obstruído na Fase 3; C – Emissor B – vert (82) obstruído na Fase 3. 59
- Figura 30 Emissores obstruídos durante o ensaio: A Emissor B – pbaixo (82) obstruído na Fase 3; B – Emissor B – (102) obstruído na Fase 3; C – Emissor B – diag (102) obstruído na Fase 3..... 59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Texturas dos solos utilizados	37
Tabela 2 Vazões observadas para dois tipos de emissores e três tipos de solo no Ensaio 01 de Arraste dos Tubogotejadores	39
Tabela 3 ANOVA: fator único	39
Tabela 4 Vazões observadas para dois tipos de emissores e três tipos de solo no Ensaio 02 de Arraste dos Tubogotejadores após trinta dias com o sistema parado	40
Tabela 5 Caracterização dos emissores ensaiados.....	49
Tabela 6 Distribuição de partículas para as quatro faixas granulométricas.....	52
Tabela 7 Duração das fases.....	53

1. INTRODUÇÃO

Uma das práticas mais antigas utilizada na agricultura é a irrigação, ela permite que cultivos possam atingir maior potencial produtivo em períodos em que a precipitação local não dá suporte a necessidade hídrica da cultura, dessa forma assegurando a produção e viabilidade econômica da cultura.

Ao longo do tempo diversos métodos de irrigação foram criados, adaptados e/ou desenvolvidos, sejam eles de forma intencional ou para nichos específicos, dentre esses métodos os mais populares são: irrigação por superfície (sulcos), aspersão convencional, autopropelido, pivô central ou linear, microirrigação dividindo-se entre microaspersão e localizado. Todos esses sistemas possuem suas características, que as podem tornar o melhor sistema para a situação, porém há os sistemas que se destacam em ser eficientes no uso da água (aspersão e microirrigação) e aqueles que o custo de operação é relativamente baixo (superfície), a escolha entre cada um deles é comumente atrelada há alguns fatores principais: topografia, solo, clima, cultura e disponibilidade hídrica para irrigação.

Ao falar de eficiência e popularidade, o pivô-central é o sistema que tem ganhado bastante espaço entre os irrigantes, justamente pelas características de: irrigar grandes áreas, não necessita de linhas de derivação (os aspersores realizam esse papel, partir do movimento das torres).

Do outro lado o gotejamento tem a limitação de ser fixo ao campo e exigir, em alguns casos, malhas hidráulicas complexas e de custo elevado, porém aplica a água diretamente no solo, reduzindo limitações que poderiam prejudicar a sua eficiência, como o caso do pivô. Contudo seu desempenho pode ser prejudicado por um dos principais problemas ligados a este sistema, a obstrução dos emissores, que ocorre por um ou mais de três fatores (físicos, químicos e biológicos), podendo provocar a desuniformidade de aplicação da água por esse sistema.

Há aproximadamente três décadas a união desses dois sistemas (pivô central e gotejamento) deu origem a Irrigação por Gotejamento Móvel (IRGMO), onde a movimentação do pivô central permite que linhas de gotejo (substituem os aspersores do pivô ou usa-se sistema misto) sejam arrastadas sobre o solo, reduzindo a possibilidade de problemas que podem ser apresentados no pivô com a vantagem de aplicar a água diretamente no solo, sem necessidade de ter uma malha hidráulica grande.

Neste trabalho dividido em dois experimentos; 1) desenvolveu-se uma máquina para arraste de tubogotejadores em condição de laboratório e avaliou-se a ação do arraste de diferentes modelos em diferentes tipos de solo, simulando condições que um sistema IRGMO poderia encontrar em campo; 2) avaliou-se a susceptibilidade de emissores do tipo cilíndrico com vazão superior a 4 L.h^{-1} a obstrução por partículas sólidas (areia), em quatro grupos de faixas granulométricas que vão de 0,045 a 1,00 mm, relacionando com a posição de instalação do pré-filtro de cada emissor.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivos principais

- Avaliar a resistência ao entupimento tubogotejadores de alta vazão ao movimento de arraste sobre diferentes solos, relacionando com obstrução por causas externas.
- Avaliar as características geométricas dos emissores quanto a sua resistência ao entupimento físico.
- Observar o processo de entupimento no intuito de encontrar formas de evitá-lo e/ou minimizar suas ações.
- Estudar a viabilidade do uso de gotejamento móvel na irrigação por pivô.

2.2. Objetivos específicos

- Comparar a susceptibilidade ao entupimento por partículas sólidas de emissores de alta vazão (gotejamento móvel) com ensaios de literatura de emissores de média e baixa vazão (gotejamento fixo).
- Observar o comportamento de partículas de areia maiores que 0,5 mm no entupimento de emissores de alta vazão.
- Averiguar, na ocorrência, partes do emissor cilíndrico onde ocorre o acúmulo de partículas e como o mesmo acontece.
- Desenvolver um mecanismo capaz de simular uma situação de campo para o arraste de emissores.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Panorama da irrigação mundial e brasileira

Entre os anos 1960 e 2000 a área agrícola mundial apresentou um crescimento linear (Figura 1) (FAOSTAT, 2021) atingindo um valor máximo de aproximadamente 4,80 bilhões de hectares. A partir dos anos 2000 com os avanços biotecnológicos na agricultura a área agrícola mundial diminuiu devido à adoção de inúmeras tecnologias que melhoram a produtividade por unidade de área. Por outro lado, as áreas irrigadas no globo apresentam crescimento linear constante entre 1960 e 2020, de aproximadamente 3,35 milhões de hectares ao ano (Figura 2).

Figura 1. Evolução da área agricultável no mundo.

Figura 2. Evolução da área irrigada no mundo.

A extensão territorial do Brasil é de 851,6 milhões de hectares, dentre estes entre os anos 2018/2019¹ havia uma área estimada em 75,4 milhões de hectares destinados a lavouras no país, com uma expansão estimada de 10,3 milhões hectares nos próximos 10 anos. A Embrapa (2018) sugere uma área de 180,3 milhões de hectares como áreas de pastagens (naturais e plantadas). Somadas elas representam cerca de 33% do território brasileiro. Apesar da

¹ Em dez anos, área plantada será ampliada em 10,3 milhões de hectares no Brasil — Português (Brasil) (www.gov.br)

dimensão da área de agropecuária, áreas agrícolas com equipamentos irrigação instalados representam aproximadamente 8,5 milhões de hectares que são responsáveis por cerca de 50% da retirada total de água em bacias hidrográficas no Brasil (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (BRASIL), 2020), o que representa 1.038 m³/s da vazão outorgada nacional, sendo o consumo total de 743 m³/s.

Deve-se salientar que a disponibilidade hídrica e a qualidade da água, são fatores que devem ser bem analisados para tornar essa “operação agrícola” viável e sustentável. Numa situação ideal a fonte de água deveria ser ilimitada durante o ciclo da cultura e em especial nas fases mais críticas para cultura, além de sua localização apresentar dispêndio e o custo de utilização o menor possível, em acréscimo devem ser respeitados regulamentos que tratem dessa temática (FAO, 2017).

Diferentes métodos de irrigação são usados em todo mundo, incluindo: inundação, sulco, aspersão, subirrigação, microaspersão e gotejamento, sendo os dois últimos os mais preferíveis atualmente por seu alto nível de eficiência em relação aos demais. No Brasil os métodos de irrigação mais populares são: aspersão, inundação, localizado e sulcos (ANA, 2016; CARVALHO et al., 2020).

3.2. Irrigação aspersão – pivô central

Os sistemas pivô central ou sistema linear, são equipamentos mecanizados (autopropelidos) de irrigação que apresentam uma linha lateral a qual apresenta um conjunto de aspersores, o movimento desses sistemas pode ser realizado a partir sistemas hidráulicos ou eletromecânicos (FRIZZONE et al., 2018). A tubulação da linha lateral é suportada por torres, dotadas de rodas, em uma estrutura tipo “tesoura invertida”, o equipamento pode estar ancorado em um ponto no caso do pivô central (ele gira em torno de si) onde a velocidade da última torre determina a lâmina aplicada, demais torres movimentam a partir do desalinhamento com a última torre (ao ponto que linha atinge certo ângulo o moto da torre é acionado ou desligado) ou em alguns casos um inversor de frequência pode ser utilizado para padronizar a velocidade de todas as torres, já no caso do sistema linear todas as torres se movimentam na mesma velocidade, movimentando continuamente ou de forma intermitente (DERBALA, 2003; BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006a; MARTIN; KINCAID; LYLE, 2007; FRIZZONE et al., 2018).

De acordo com Carvalho et al (2020) o Brasil apresentava uma área equipada com pivôs central de aproximadamente 1,4 milhões de hectares em 2017, um aumento de aproximadamente 200 mil hectares, quando comparado ao ano de 2014 (ANA, 2016).

Apesar de sua versatilidade, o sistema pivô central é visto com uma certa cautela na questão de outorgas do uso da água, em função das perdas por evaporação, deriva e retenção foliar no dossel das plantas que proporciona. Junior et al (2010) conclui que a interceptação foliar da água de irrigação pode representar perdas médias de até 2,5% da lâmina total aplicada na cultura do feijão. Teixeira et al (2012) concluem para o cultivo de cana de açúcar, as interceptações de água pelo dossel variam de 14 a 31%, a depender do índice de área foliar da cultura e da lâmina total de irrigação por ciclo de molhamento.

3.3. Irrigação localizada – gotejamento

Segundo Mantovani et al (2009, p 227) “o sistema de irrigação por gotejamento é composto por emissores, através dos quais a água escoar após ocorrer uma dissipação de pressão ao longo dos micros labirintos. As vazões são usualmente pequenas, de 2 a 20 L.h⁻¹”.

De acordo com Mantovani (2009) e Andrade e Brito (2006), estes sistemas possibilitam a redução do gasto de água com a sua alta eficiência de aplicação, usando menos energia, desde que dimensionado corretamente, permite fertirrigação apresentando redução nas perdas por escoamento superficial e percolação profunda, além de otimizar o uso de fertilizantes e não interfere em tratamentos fitossanitários (auxiliando também na redução de incidência de pragas e doenças e do desenvolvimento de plantas daninhas), também possui facilidade para automação do sistema.

Sinha, Buttar e Brar (2017) concluem que o uso desse sistema combinado com fertirrigação é mais viável que sistemas por sulcos para aplicação de até 60% da dose nutrientes para reposição de até 60% da evapotranspiração de cultura.

Mas como não há um método de irrigação perfeito, a irrigação por gotejamento pode apresentar algumas desvantagens ao considerarmos certos fatores: no que diz respeito a qualidade da água; o uso desse sistema pode ser inviável com águas que apresentem altos níveis de ferro e carbonato (devido a precipitação química), águas com maior quantidade de partículas (biológicas, químicas ou físicas [areia]) requerem sistemas de filtragem mais eficientes que podem onerar o custo final do sistema de irrigação; em respeito aos emissores, alguns apresentaram características construtivas que podem “facilitar” a deposição/parada de partículas no interior do labirinto ocasionando problemas com obstrução; em fatores operacionais o sistema requer mão de obra mais avançada que outros sistemas, a manutenção deve ser realizada de forma frequente e preventiva (MANTOVANI, 2009). Além desses fatores o custo de implantação pode ser um fator desfavorável, uma vez que é comumente maior que outros sistemas, além disso para modelos onde as mangueiras ficam expostas ao sol e/ou animais pode haver um desgaste mais rápido do material.

3.4. Gotejamento móvel

O sistema de irrigação por gotejamento móvel (IRGMO), é basicamente a junção de um sistema de irrigação por aspersão mecanizada do tipo pivô central a um sistema de irrigação por gotejamento (ALMEIDA, 2016), onde neste caso a tubulação principal do pivô central serve como linha de derivação e os tubogotejadores como linhas laterais no campo. Esse sistema alinha a versatilidade de movimento autopropelido do pivô central, com a alta eficiência no uso de água.

Almeida (2016), Hezarjaribi e Sourell (2011) comentam que o uso deste sistema usa até 2% da quantidade de mangueiras de gotejamento necessárias para um sistema de gotejamento convencional (sistema fixo). Quantidade esta que possibilita uma grande economia na aquisição e implantação de um sistema de irrigação por gotejamento.

Esse sistema conforme apontado por Almeida (2016), Craig (2015), Derbala (2003) e Oker (2021) apresenta diversas vantagens, como: redução e/ou eliminação de problemas com trilha dos rodados, uma vez que as mangueiras de gotejamento são arrastadas pelo pivô fazendo que os rodas percorram por solo seco, reduzindo efeitos de compactação pelo rodado; há menor interferência na eficiência de aplicação da água por fatores de deriva ao vento e evaporação, já que a água é aplicada diretamente no solo, a retenção foliar de água também é menor; ainda

que haja uma intensidade de aplicação alta pelo conjunto de emissores, devido a relação espacial o risco de escoamento superficial é reduzido, assim como a erosão do solo.

Ao comparar um pivô central com um sistema de gotejamento que irriguem a mesma quantidade de área em um mesmo período, um sistema do tipo IRGMO, possivelmente apresentará um gasto energético menor que um sistema de gotejamento convencional. Outro aspecto a ser considerando é que esses sistemas são mais indicados quando se tem o sistema de pivô central e deseja-se aumentar a eficiência dele, a depender do caso sairia mais barato implementar um gotejamento convencional do que implantar um pivô central com o objetivo de usar o sistema IRGMO.

Só no estado de São Paulo, há mais 3500 pivôs centrais instalados, irrigando uma área próximo a 180 mil hectares (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006b; MARTIN; KINCAID; LYLE, 2007), estes sistemas podem estar operando com desempenho de uniformidade entre 80 a 95%, caso estes sistemas estivessem operando com sistemas IRGMO, essa mesma uniformidade poderia ser superior a 95%, de tal forma apresentando uma redução no uso de água.

De acordo com Derbala (2003) a ideia de usar um sistema IRGMO permite conectar as vantagens de ambos os sistemas, onde os aspersores do pivô central são substituídos por linhas de gotejamento, conforme pode ser observado na Figura 3.

Figura 3. Esquema de um sistema IRGMO. R_i – raio inicial; R_{med} – raio médio do pivô; R_{max+CB} – raio máximo do pivô com balanço; DUT – Distância até a última torre; CB – comprimento do balanço; DSM – Distância entre saídas de mangueira; CL_i – comprimento de tubo gotejador da primeira linha; CL_f – comprimento de tubo gotejador da última linha; LFM – largura da faixa molhada do emissor; Emi – espaçamento entre emissores no tubo gotejador. Fonte: ALMEIDA (2016).

Alguns trabalhos relatam que o uso desse sistema minimiza o uso da água em certas culturas irrigadas, mantendo a produtividade por unidade de área constante (KISEKKA et al., 2016, 2017; OKER et al., 2018; ZHANG et al., 2021). Em locais onde a água é limitada, o uso desses sistemas possibilitaria a ampliação de área, uma vez que mais recurso ficaria mais disponível. Reynolds et al. (2020) concluem que culturas de alto valor e uso de água

possibilitam a conversão deste sistema de forma mais viável, entretanto o período de retorno pode ser maior quando a cultura usa mais água, uma vez que o custo variável total aumenta com o aumento da eficiência de irrigação.

Apesar de toda sua “tecnologia” o sistema possui suas problemáticas: Oker et al. (2021) relatam a necessidade das linhas de gotejo estarem centralizadas entre as linhas de cultivo, para aumentar a uniformidade de aplicação (plantio circular na área irrigada por pivô central), porém, essa condição nem sempre é disponível a nível de área irrigada.

3.5. Fertirrigação

A fertirrigação é o processo pelo qual se aproveita o sistema de irrigação para aplicar fertilizantes solúveis em água. Atualmente é recurso bastante utilizado por inúmeros produtores por diminuir os gastos por aplicação, além de reduzir a quantidade de fertilizante necessária por área (VILLAS BÔAS; BULL; FERNADES, 1999; MANTOVANI; ZINATO; SIMÃO, 2003; ALMEIDA et al., 2011).

Vale salientar que não apenas fertilizantes podem ser aplicados via irrigação, mas que também pode-se usar o sistema de irrigação para aplicar no momento certo e doses requeridas pela cultura de inseticidas, fungicidas, herbicidas, reguladores de crescimento entre outros usos, possibilitando melhor aproveitamento do equipamento de irrigação com economia em mão de obra e maquinário, causando menos impactos no que pode ser dizer a respeito da compactação do solo e até mesmos danos físicos as culturas (levando em conta que o uso de máquinas na área é reduzido para essas operações), da mesma forma há uma maior eficiência no uso da água e fertilizantes, assim como a economia no custo de aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas (ALCARDE; GUIDOLIN; LOPES, 1998; ANDRADE; BRITO, 2006; LANDAU et al., 2013).

Na literatura há algumas limitações sobre a fertirrigação que interferem em sua utilização, caso não se observe os aspectos técnicos relacionados a: nutrição de plantas, química e física de solo, fisiologia vegetal, água, clima e a própria prática da irrigação, uso de fertirrigação requer que conhecimento técnico sobre adubos e dos cálculos das dosagens, além disso é necessário que o operador do sistema possua treinamento apropriado para manuseio dos adubos e injetores dos mesmos, o não cuidado com esses aspectos pode ocasionar danos ambientais com a contaminação de fontes de água, além de possibilitar a ocorrência de problemas com de corrosão dos equipamentos de irrigação (VILLAS BÔAS; BULL; FERNADES, 1999; CLARK et al., 2007; SEGARS, 2008; ALMEIDA et al., 2011; MOSTAFA et al., 2021).

Alguns fertilizantes e/ou misturas podem expor o operador/agricultor a substâncias nocivas a sua saúde, e para aplicações na forma de aerossóis (aspersão) a folhagem pode ser afetada negativamente, principalmente se o fertilizante utilizado não for correto para o momento/indicação de uso, ressaltando se assim a importância de conhecimento técnico para uso dessa técnica.

A técnica de fertirrigação requer de aparelhos simples como um venturi para aplicação de fertilizantes a estações de fertirrigação mais complexas e automatizadas, podendo onerar o custo inicial de implantação do sistema de irrigação ou a própria fertirrigação, neste último caso considerando que a aparelhagem para uso da técnica venha a ser instalada posterior ao sistema de irrigação. Porém caso não se tenha conhecimento técnico, determinadas combinações de fertilizantes podem resultar em precipitação química de compostos insolúveis e assim contribuir para o entupimento dos gotejadores no campo (MALAVOLTA, 1981; VILLAS BÔAS; BULL; FERNADES, 1999).

3.6. Obstrução de emissores

Na irrigação por gotejamento um dos maiores desafios é o monitoramento e controle do entupimento dos emissores no campo, uma vez que diversos fatores contribuem para esta problemática, onde os principais são a qualidade da água e as características do próprio emissor, além dos fertilizantes escolhidos, quando usar-se fertirrigação (COSTA; CAMPOS; FARIA, 2010; FARIA, 2013; FENG et al., 2019). Para Salassier (2006a) o entupimento é uma das limitações da irrigação por gotejamento, pois uma vez entupido o emissor, dificilmente ele será recuperado, medidas preventivas devem sempre ser tomadas para reduzir as chances de o problema ocorrer.

A característica de apresentar orifícios reduzidos pode ocasionar problemas como o entupimento, assim de acordo com esse é uma das limitações para o uso da irrigação por gotejamento, pois uma vez entupido o emissor, dificilmente será recuperado (OLIVEIRA et al., 2000; ALMEIDA, 2009; TESTEZLAF, 2011).

Faria (2000) comenta mesmo que se utilize água de qualidade e sistemas de filtragem, ainda pode ocorrer à precipitação de sais presentes na água de irrigação e/ou sedimentação de partículas de silte e argila que possam estar em suspensão. Em acréscimo a isto, Baeza e Contreras (2020) concluem que o tipo de inserção na tubulação e até mesmo a forma como a compensação de pressão dos emissores é realizada podem afetar a uniformidade da irrigação e o entupimento dos emissores.

A obstrução dos emissores é o principal problema do sistema de irrigação por gotejamento (OLITTA, 1977; ALMEIDA et al., 2011). Isso ocorre devido os gotejadores possuírem orifícios com pequenos diâmetros (em geral entre 0,75 e 1,40 mm). Em relação a este fato, se faz necessário avaliar algumas características de qualidade da água a ser utilizada na irrigação, como condutividade elétrica, pH, íons (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^-). Deve-se também avaliar um pequeno grupo de componentes que em geral não causam danos às plantas nem ao solo, mas podem causar problemas em tubulações e entupimento de emissores como é o caso do ferro e o manganês (ALMEIDA, 2010; SILVA et al., 2011). Além de possíveis componentes biológicos e/ou em suspensão que possam estar na água utilizada.

A pressão de serviço é um aspecto que deve ser observado, em certas condições reduzir a pressão de serviço pode reduzir os gastos energéticos, por outro lado, essa redução pode possibilitar que mecanismos ante entupimento dos emissores possam ser prejudicados, assim ocasionando o problema (LIU et al., 2019).

3.6.1. Obstrução física

Dentre os tipos de entupimento, o físico pode ser considerado o mais fácil de resolver, caso alguns cuidados sejam tomados as possibilidades de o sistema apresentar algum entupimento deste tipo serão baixas. A montagem do sistema é um dos pontos chave, quando a montagem é realizada com pouco cuidado, há a possibilidade de partículas plásticas resultantes da perfuração e do corte das tubulações de PVC no campo assim com partículas de solo, ficarem aprisionadas dentro da malha hidráulica após o sistema de filtragem, sendo que estas partículas poderão bloquear parte da seção de escoamento dos gotejadores e promover o acúmulo de outras partículas sólidas menores em seu entorno, obstruindo os emissores com o passar do tempo (ADIN; SACKS, 1991; PERBONI, 2016; FENG et al., 2019).

Com relação à água utilizada, quanto maior a quantidade de partículas em suspensão maiores poderão ser os problemas por entupimento. Brauer (2010) afirma que o entupimento por fatores físicos pode ser causado por partículas inorgânicas em suspensão (areia, silte ou argila) e por partículas orgânicas (fragmentos vegetais e animais,

larvas, dentre outros). A areia, silte e outros resíduos introduzidos nas linhas laterais, durante a instalação, podem causar problemas e devem ser retirados do sistema, antes da colocação dos emissores nas mangueiras.

3.6.2. Obstrução química

Sólidos dissolvidos na água de irrigação passam a ser um problema quando sob determinadas condições, precipitam como um mineral sólido ou tornam-se uma fonte de nutrientes para as algas e biofilmes. Processos de entupimento lentos e uma eventual obstrução de emissores por precipitados e depósitos orgânicos são problemas que não podem ser resolvidos somente por meio de filtração da água (KELLER; BLIENSER, 1990).

O entupimento químico pode ocorrer devido a mudanças no pH, na temperatura, na concentração de oxigênio dissolvido e na concentração relativa de outras substâncias na solução causando obstruções que são formadas gradualmente, o que as torna mais difíceis de serem detectadas (D.J.; D.Z.; A.G., 1990). Este tipo de entupimento pode se formar quando as características físico-químicas da água ou da solução de fertirrigação favorecem a formação de precipitados (SILVA et al., 2011).

Mélo (2007) cita que Langelier em 1936 “desenvolveu um índice de saturação (ISL), para ser utilizado em água com valores de pH entre 6,5 e 9,5, o que permite predizer se em uma determinada água haverá ou não precipitação de carbonato de cálcio”, valores positivos deste índice indicam que haverá precipitação, enquanto em valores negativos o carbonato permanecerá em solução. Cunha et al. (2020) concluem que valores médios de pH entre 8,1 a 8,5 e em adição de valores do ISL de 0,71 a 1,01, podem evidenciar elevado risco de obstrução química dos emissores.

Dias et al. (2004) observaram que tubogotejadores submetidos a irrigação com água contendo CaSO_4 a 100% de solubilidade, apresentaram redução da vazão nominal para o período de exposição de 96h. Eles ainda ressaltam que o “entupimento em emissores pode se dar em três situações: no orifício de entrada, no caminho percorrido pela água no emissor e no orifício de saída”.

As formas de entupimento químicos mais comuns são: precipitação por ferro (quando há certa concentração deste elemento dissolvido na água utilizada) e precipitação de carbonatos (crosta que se forma no interior de tubos). O maior problema que há com o ferro é que ele geralmente fornece condições favoráveis para que algumas ferro-bactérias possam se desenvolver dentro das tubulações, produzindo uma massa gelatinosa de cor avermelhada, que obstrui a passagem da água. Utilizar de águas com teor de ferro maior que $1,5 \text{ mg L}^{-1}$, em sistemas de irrigação por gotejamento, deve ser evitado por apresentar alto risco de entupimento de gotejadores (BUCKS; NAKAYAMA; GILBERT, 1979).

Em águas utilizadas para irrigação concentrações baixas de ferro (a partir de $0,09 \text{ mg L}^{-1}$) são suficientes para que se produza depósitos visíveis de hidróxidos férricos, essas mesmas concentrações passam a ser problemáticas a partir de $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ (PIZARRO, 1996).

Liu et al. (2021) comentam sobre a presença não só de fertilizantes fosfatados e silicatos não dissolvidos como substâncias de obstrução, mas também a presença de carbonato e fosfatados gerados por reações químicas, uma vez que a fonte de água apresentava alta concentração de Ca^{2+} , gerando um maior teor de CaCO_3 . Almeida (2009) relata que se a concentração de Ca for superior a $6,0 \text{ meq L}^{-1}$, os fertilizantes fosfatados podem provocar o entupimento nos emissores de água. Do mesmo modo, concentrações de bicarbonato acima de $5,0 \text{ meq L}^{-1}$ geram problemas ainda mais graves.

Em suas conclusões Muhammad et al. (2021) comentam o acúmulo significativo de substâncias de obstrução e suas partículas primárias (carbonatos, quartzo e silicatos) logo após a aplicação de fertilizante fosfatados.

Gilbert e Ford (1986) afirmam que a salinidade da água usada na irrigação não contribui para o entupimento de gotejadores, a menos que os íons dissolvidos interajam entre si para formar precipitados ou promover o crescimento de limo.

3.6.3. Obstrução biológica

Certas bactérias podem provocar precipitação suficiente de manganês, enxofre e compostos de ferro para causar entupimento do emissor. Isso é causado pelo lodo formado pela combinação de partículas minerais na água que formam agregados grandes o suficiente para entupir os emissores. Além disso, as algas podem ser transportadas para o sistema de irrigação e criar condições que possam promover a formação de agregados (D.J.; D.Z.; A.G., 1990; LEQUETTE; AIT-MOUHEB; WÉRY, 2020; ZHANG et al., 2020).

Sánchez e Sironi (1993) definem os entupimentos biológicos como sendo aqueles produzidos pela acumulação de massas de macro e microrganismos. Frequentemente obstruções por causa biológica são associadas a caracóis, larvas, algas, mucilagens, fungos e bactérias, as mucilagens branco-gelatinosas de enxofre, formados pelas sulfo-bactérias, e as originadas pelas ferro-bactérias filamentosas são realmente problemáticas, essa situação pode se agravar no caso em que na água existam substâncias orgânicas adstringentes (que inibem as secreções dos tecidos), como taninos, que sirvam de alimentos para estas bactérias (ALMEIDA, 2009; SONG et al., 2017; ZHOU et al., 2017; RIBEIRO et al., 2018).

Gilbert e Ford (1986) afirmam que o ferro solúvel é de certeza uma fonte primária de energia para bactérias que possuem a capacidade de precipitar o ferro dissolvido na água utilizada.

Busato e Soares (2010) também relatam que a potencialidade do ferro em criar problemas de obstrução é mais difícil de avaliar porque, frequentemente, este elemento contribui para a formação de mucilagens produzidas pelas ferro-bactérias.

Referências

- ADIN, A.; SACKS, M. Dripper-Clogging Factors in Wastewater Irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 117, n. 6, p. 813–826, nov. 1991. Disponível em: <[http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1991\)117:6\(813\)](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-9437(1991)117:6(813))>.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (BRASIL). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020: informe anual. Brasília: ANA, 2020.
- ALCARDE, J. C.; GUIDOLIN, J. A.; LOPES, A. S. Os adubos e a eficiência das adubações. 3. ed. São Paulo: ANDA, 1998.
- ALMEIDA, A. N. De. Dimensionamento do sistema de Irrigação por Gotejamento Móvel (IRGMO): metodologia de cálculo e software. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.
- ALMEIDA, O. Á. de. Entupimento de emissores em irrigação localizada. 1. ed. Cruz das Almas: Embrapa, 2009.
- ALMEIDA, O. Á. de. Qualidade da Água de Irrigação. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010.

- ALMEIDA, O. Á. de et al. Métodos e equipamentos para fertirrigação. In: SOUSA, V. F. DE et al. (Ed.). Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2011. p. 771.
- ANA, A. N. de Á. Levantamento Da Agricultura Irrigada Por Pivôs Centrais No Brasil - 2014. Brasília: ANA, 2016.
- ANDRADE, C. de L. T. de; BRITO, R. A. L. Métodos de Irrigação e Quimigação 86. [s.l: s.n.].
- BAEZA, R.; CONTRERAS, J. I. Evaluation of Thirty-Eight Models of Drippers Using Reclaimed Water: Effect on Distribution Uniformity and Emitter Clogging. *Water*, v. 12, n. 5, p. 1463, 20 maio 2020. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2073-4441/12/5/1463>>.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Irrigação localizada. In: Manual de Irrigação. 8. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2006a. p. 625.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Irrigação por aspersão. In: Manual de Irrigação. 8. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2006b. p. 361–482.
- BRAUER, R. L. Dinâmica de entupimento de gotejadores em função da aplicação de água rica em ferro. 2010. Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp, São Paulo, Brasil, 2010.
- BUCKS, D. A.; NAKAYAMA, F. S.; GILBERT, R. G. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. *Agricultural Water Management*, v. 2, n. 2, p. 149–162, jun. 1979. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0378377479900283>>. Acesso em: 15 jan. 2019.
- BUSATO, C. C. M.; SOARES, A. A. Desempenho de gotejadores, utilizando água de baixa qualidade química e biológica. *Biosci. J.*, v. 26, n. 5, p. 739–746, 2010.
- CARVALHO, D. F. de et al. Evolution and current scenario of irrigated area in Brazil: Systematic data analysis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 24, n. 8, p. 505–511, 1 ago. 2020. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br>>. Acesso em: 8 mar. 2021.
- CARVALHO, L. C. C. de. Clogging dynamics of driplines under the application of soluble iron, suspended solids and fitoplankton. Universidade de São Paulo, 1 out. 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-10112009-085341/>>. Acesso em: 2 mar. 2018.
- CLARK, G. A. et al. 5. General system design principles. In: *Developments in Agricultural Engineering*. Developments in Agricultural Engineering. [s.l.] Elsevier, 2007. 13p. 161–220.
- COSTA, C. C. da; CAMPOS, C. M. M.; FARIA, M. A. De. Vulnerabilidade de tubos gotejadores ao entupimento por precipitados químicos de ferro. *REVISTA AGROGEOAMBIENTAL*, p. 10, 2010.
- CRAIG, J. PMDI - Precision Mobile Drip Irrigation. Disponível em: <<http://www.depts.ttu.edu/tawc/documents/2015FD/PMDI.pdf>>. Acesso em: 21 abr. 2018.
- CUNHA, J. L. D. O. et al. MONITORAMENTO DA BIOINCRUSTAÇÃO EM FITAS GOTEJADORAS APLICANDO ÁGUA COM DISTINTAS TEMPERATURAS E SALINIDADES*. *IRRIGA*, v. 25, n. 1, p. 1–13, 19 mar. 2020. Disponível em: <<http://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/2754>>.
- D.J., P.; D.Z., H.; A.G., S. Causes and prevention of emitter plugging in micro irrigation systems. *Bulletin - Florida Cooperative Extension Service*, 1990. .
- DERBALA, A. A. A. Development and evaluation of mobile drip irrigation with centre pivot irrigation machines. 2003. Braunschweig: Bundesforschungsanst. für Landwirtschaft, Brunsvique, Deutschland, 2003. Disponível em: <<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:253-200909-zi030161-9>>.
- DIAS, N. S.; OLIVEIRA, M. V. A. M.; COELHO, R. D. Resistência de diferentes tipos de tubogotejadores ao entupimento por precipitação química de cálcio. *Irriga*, v. 9, p. 115–125, 2004.

- FAO, - Food and Agriculture Organization. Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil: Identificação de Áreas Prioritárias. [s.l: s.n.]
- FAOSTAT, – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS STATISTICS. Land Use. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/RL/visualize>>. Acesso em: 5 abr. 2021.
- FARIA, M. A. de. Irrigação por gotejamento e microaspersão. Lavras: UFLA / FAEPE, 2000.
- FARIA, L. do A. Proposta de Norma Técnica de Ensaio para Tubogotejadores de Irrigação: Resistência ao Entupimento por Particulados Sólidos em Suspensão. 2013. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-19022013-100010/>>. Acesso em: 21 fev. 2018.
- FENG, J. et al. Composite clogging characteristics of emitters in drip irrigation systems. *Irrigation Science*, v. 37, n. 2, p. 105–122, 24 mar. 2019. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00271-018-0605-9>>. Acesso em: 12 maio. 2020.
- FRIZZONE, J. A. et al. Irrigação por aspersão: sistema pivô central. 1. ed. Maringá: Eduem, 2018.
- GILBERT, R. G.; FORD, H. W. Trickle Irrigation for Crop Production - Design, Operation and Management. In: *Developments in Agricultural Engineering*. Developments in Agricultural Engineering. [s.l.] Elsevier, 1986. 9p. 142–163.
- HEZARJARIBI, A.; SOURELL, H. Development and evaluation of mobile drip irrigation. (21st International Congress on Irrigation and Drainage of ICID, Ed.) In: 8th International Micro-irrigation Congress, ICID., Tehran. Anais... Tehran: 2011. Disponível em: <http://irncid.org/english/GetFileArticles.aspx?FilePrm=7335_16237.pdf>.
- JUNIOR, J. A. J. A. J. A. et al. Retenção de água pelo dossel do feijoeiro irrigado por aspersão. *Irriga*, v. 15, n. 1, p. 90–97, 3 set. 2010. Disponível em: <<http://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/9>>. Acesso em: 11 mar. 2018.
- KELLER, J.; BLIENSER, R. D. Sprinkle and trickle irrigation. New York: New York Van Nostrand Reinhold, 1990.
- KISEKKA, I. et al. Mobile Drip Irrigation Evaluation in Corn. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports*, v. 2, n. 7, p. 13, 1 jan. 2016. Disponível em: <<https://newprairiepress.org/kaesrr/vol2/iss7/8>>.
- KISEKKA, I. et al. Revisiting precision mobile drip irrigation under limited water. *Irrigation Science*, v. 35, n. 6, p. 483–500, 4 nov. 2017. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00271-017-0555-7>>.
- LANDAU, E. C. et al. Concentração Geográfica de Pivôs Centrais no Brasil. 1. ed. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2013.
- LEQUETTE, K.; AIT-MOUHEB, N.; WÉRY, N. Hydrodynamic effect on biofouling of milli-labyrinth channel and bacterial communities in drip irrigation systems fed with reclaimed wastewater. *Science of The Total Environment*, v. 738, p. 139778, out. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139778>>.
- LIU, C. et al. Effect of fertilizer solution concentrations on filter clogging in drip fertigation systems. *Agricultural Water Management*, v. 250, n. March 2020, p. 106829, maio 2021. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378377421000949>>.
- LIU, Z. et al. Influence of operating pressure on emitter anti-clogging performance of drip irrigation system with high-sediment water. *Agricultural Water Management*, v. 213, n. September 2018, p. 174–184, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.017>>.
- MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola adubos e adubação. 3. ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1981.

- MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. Irrigação Localizada. In: Irrigação: princípios e métodos. Viçosa: Ed. UFV, 2009. p. 227–262.
- MANTOVANI, E. C.; ZINATO, C. E.; SIMÃO, F. R. Manejo de irrigação e fertirrigação na cultura da goiabeira. In: ROZANE, D. E.; NATALE, F. A. A. (Ed.). Cultura da goiabeira: tecnologia e mercado. 1. ed. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora, 2003.
- MARTIN, D. L.; KINCAID, D. C.; LYLE, W. M. Chapter 16. Design and Operation of Sprinkler Systems. In: Design and Operation of Farm Irrigation Systems, 2nd Edition. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2007. p. 557–631.
- MÉLO, R. F. de. Dinâmica e controle do entupimento de gotejadores em função de precipitados químicos e fitoplâncton. 2007. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-29112007-095439/>>. Acesso em: 2 fev. 2018.
- MOSTAFA, H. et al. Effects of fertigation on emitter clogging and soil infiltration rate. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, v. 23, n. 1, p. 92–99, 2021.
- MUHAMMAD, T. et al. Effects of phosphorus-fertigation on emitter clogging in drip irrigation system with saline water. *Agricultural Water Management*, v. 243, n. July 2020, p. 106392, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106392>>.
- OKER, T. E. et al. Evaluation of maize production under mobile drip irrigation. *Agricultural Water Management*, v. 210, n. August, p. 11–21, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.07.047>>.
- OKER, T. E. et al. Evaluating Soil Water Redistribution under Mobile Drip Irrigation, Low-Elevation Spray Application, and Low-Energy Precision Application Using HYDRUS. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 147, n. 6, p. 4021016, 2021. Disponível em: <<https://orcid.org/0000-0002-2460-7777>>. Acesso em: 3 abr. 2021.
- OLITTA, A. F. L. Os métodos de irrigação. São Paulo: Nobel, 1977.
- OLIVEIRA, A. M. de S. et al. Caracterização hidráulica do tubo gotejador Hidrodrip II. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 4, n. 3, p. 483–486, dez. 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-4366200000300028&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 27 out. 2014.
- PERBONI, A. Sensibilidade de gotejadores à obstrução por partículas de areia. 2016. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2016.
- PIZARRO, F. C. Riegos Localizados de Alta Freqüência. 3. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1996.
- REYNOLDS, S. et al. Economic feasibility of conversion to mobile drip irrigation in the Central Ogallala region. *Irrigation Science*, v. 38, n. 5–6, p. 569–575, 2 nov. 2020. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00271-020-00667-2>>.
- RIBEIRO, M. D. et al. Optical microscopy and sem for identifying clogging material in a drip irrigation system. *Revista Caatinga*, v. 31, n. 4, p. 997–1007, 2018.
- SÁNCHEZ, L.R.; SIRONI, J. . Las obturaciones. Su prevención en los riegoslocalizados de alta frecuencia. In: Hortofruticultura 2. Madrid: Edagrícola España S.A, 1993. p. 34–42.
- SEGARS, B. Efficient Fertilizer Use — Fertigation : [s.l: s.n.].
- SILVA, Í. N. et al. Qualidade de água na irrigação. *Agropecuária Científica no Semi-Árido*, v. 7, n. 3, p. 1–15, 2011. Disponível em: <<http://150.165.111.246/ojs-patos/index.php/ACSA/article/viewFile/134/pdf>>.

- SINHA, I.; BUTTAR, G. S.; BRAR, A. S. Drip irrigation and fertigation improve economics, water and energy productivity of spring sunflower (*Helianthus annuus* L.) in Indian Punjab. *Agricultural Water Management*, v. 185, p. 58–64, 1 maio 2017.
- SONG, P. et al. Controlling mechanism of chlorination on emitter bio-clogging for drip irrigation using reclaimed water. *Agricultural Water Management*, v. 184, p. 36–45, 2017. Disponível em: <http://ac-els-cdn-com.ez67.periodicos.capes.gov.br/S0378377416305145/1-s2.0-S0378377416305145-main.pdf?_tid=44170f82-5b38-11e7-b28d-00000aabb0f01&acdnt=1498568467_81dc981d586e69cf24f36c9d6adb8b41>. Acesso em: 27 jun. 2017.
- TEIXEIRA, E. N. E. N. et al. Interceptação de água pelo dossel da cana-de-açúcar. *IRRIGA*, v. 17, n. 1, p. 71–84, 16 abr. 2012. Disponível em: <<http://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/388>>. Acesso em: 9 mar. 2015.
- TESTEZLAF, R. Irrigação: Métodos, Sistemas e Aplicações. [s.l.] Faculdade de Engenharia Agrícola Unicamp - FEAGRI, 2011.
- VILLAS BÔAS, R. L.; BULL, L. T.; FERNANDES, D. M. Fertilizantes em Fertirrigação. In: *Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças*. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 460.
- ZHANG, T. et al. Comparison of different irrigation methods to synergistically improve maize's yield, water productivity and economic benefits in an arid irrigation area. *Agricultural Water Management*, v. 243, 1 jan. 2021.
- ZHANG, W. et al. Lateral inner environment changes and effects on emitter clogging risk for different irrigation times. *Agricultural Water Management*, v. 233, n. December 2019, p. 106069, abr. 2020. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378377419313186>>.
- ZHOU, B. et al. Effects of microbial community variation on bio-clogging in drip irrigation emitters using reclaimed water. *Agricultural Water Management*, v. 194, p. 139–149, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.09.006>>.

4. DESENVOLVIMENTO DE MÉTODO E ESTRUTURA PARA ENSAIO DE TUBOGOTEJADORES NA CONDIÇÃO DE ARRASTE SOBRE O SOLO (GOTEJAMENTO MÓVEL)

Resumo

Há três décadas os primeiros estudos sobre a irrigação por gotejamento móvel foram publicados, abordando os benefícios e as limitações encontradas nesse sistema de irrigação, contudo estudos sobre os efeitos do arraste de tubogotejadores sobre o solo não estão disponíveis na literatura. Sendo assim esse trabalho além de desenvolver uma bancada de ensaio que permite a simulação do arraste dos tubos em laboratório, tem como objetivo apresentar uma metodologia para este tipo de estudo. Foi desenvolvida uma bancada automatizada, onde um microcontrolador é responsável por fazer a reversão de movimento da parte móvel que sustenta os tubos e permite seu contato com o solo contido em calhas, enquanto um timer faz o acionamento do sistema de irrigação permitindo a saturação do solo em intervalos de tempo padronizados. Foram testados dois emissores com vazões de 6,4 e 7,4 L.h⁻¹, os quais foram arrastados sobre três tipos de solos, por 500 h. Durante esse intervalo de tempo, nenhum emissor, em nenhum dos solos analisados apresentou problema de obstrução de fluxo de água ou danos mecânicos na superfície externa dos tubos devido ao atrito com o solo. Num segundo experimento, os tubogotejadores envolvidos pela lama dos solos foram deixados secar por 30 dias; com essa ação, verificou-se que em dois solos alguns emissores apresentaram redução significativa de vazão, enquanto no terceiro solo, com maior proporção de matéria orgânica, observou-se menos problemas com a obstrução. Assim concluiu-se que os tubogotejadores submetidos ao arraste sobre três tipos de solo na bancada desenvolvida, não apresentaram problemas de entupimento durante o período em que estão operando no campo, ao contrário de quando ficam com a presença de lama seca envolvendo os tubogotejadores, abrindo a possibilidade de problemas com entupimento dos emissores nesta situação, em que o equipamento fica parado no campo durante um período considerável.

Palavras-chave: gotejamento móvel, pivô-central, eficiência

Abstract

For three decades, the first studies on mobile drip irrigation were published, addressing the benefits and limitations found in this irrigation system, however studies on the effects of pipe drag on soil are not available in the literature, so this work is in addition to developing a test bench that allows the simulation of the drag of tubes in the laboratory, with the objective of presenting a methodology for this type of study. An automated bench was developed, where a microcontroller is responsible for reversing the movement of the moving part that supports the pipes and allows its contact with the soil contained in gutters, while a timer drives the irrigation system allowing the saturation of the soil at standardized time intervals. Two emitters with flows of 6.4 and 7.4 L.h⁻¹ were tested, which were dragged over three types of soils for 500 h. During this time interval, no emitter, in any of the analyzed soils presented a problem of water flow obstruction or mechanical damage to the external surface of the pipes due to friction with the soil. In a second experiment, the tubes wrapped in soil mud were left to dry for 30 days; with this action, it was verified that in two soils some emitters presented significant reduction of flow, while in the third soil, with a higher proportion of organic matter, fewer problems with obstruction were observed. Thus, it was concluded that the tubes subjected to drag on three types of soil on the developed bench, did not present clogging problems during the period in which they are operating in the field, unlike when they are with the presence of dry mud involving the tubes, opening the possibility of problems with clogging of the emitters in this situation in which the equipment is still in the field for a considerable period of time.

Keywords: mobile drip irrigation, central pivot, efficiency

4.1. Introdução

A irrigação por pivô central com base em emissores convencionais tem sua eficiência de aplicação de água reduzida em função das inevitáveis perdas de água por deriva, evaporação, retenção foliar e escoamento superficial, decorrentes da ação do vento, do déficit de pressão de vapor na atmosfera, da arquitetura foliar das plantas, da velocidade de infiltração de água no solo, da declividade do terreno e da intensidade de aplicação de água dos emissores, de modo tal, que para o cálculo da lâmina bruta de irrigação seja necessário aumentar a lâmina líquida entre 5 e 30 %, para que se infiltre no solo, a quantidade de água requerida pela cultura, visando elevar a produtividade da área ao potencial produtivo esperado no ambiente de produção disponível.

Uma forma de minimizar os problemas com deriva por vento, evaporação, retenção foliar e escoamento superficial sobre o terreno pode ser a irrigação por gotejamento móvel que substitui os kits de emissores do tipo aspersão em sistemas de pivô central por tubogotejadores arrastados sobre a superfície do terreno, os quais permitem a aplicação de água diretamente no solo, sem o molhamento da folhagem das plantas, combinando-se também o uso de outras técnicas difundidas da irrigação por gotejamento fixo, tais como a fertirrigação e a quimigação.

Deve-se ressaltar que uma diferença marcante entre o sistema de irrigação por gotejamento móvel e o sistema de irrigação por gotejamento fixo é a diferença de vazão dos emissores utilizados em ambas as tecnologias. Na irrigação por gotejamento fixo, busca-se o aprimoramento dos emissores com a menor vazão possível (0,3 a 1,0 L/h), enquanto na irrigação por gotejamento móvel, busca-se utilizar emissores com a maior vazão possível (6 a 12 L/h). É de se esperar que os problemas de entupimento de emissores, sejam bem menores no sistema de irrigação por gotejamento móvel em função da elevada vazão dos emissores.

Embora existam diversos trabalhos apresentando o sistema de irrigação por gotejamento móvel acoplado ao equipamento pivô central na literatura (HOWELL; PHENE, 1983; AMIR; DAG, 1993; DERBALA, 2003; OLSON; ROGERS, 2008; HEZARJARIBI; SOURELL, 2011; ALMEIDA, 2016; KISEKKA et al., 2016, 2017; ALMEIDA et al., 2017), não estão disponíveis informações a respeito de danos aos tubos que são arrastados sobre o solo pelo sistema de irrigação móvel, tal como a possibilidade do entupimento dos emissores por fatores externos como a entrada de partículas de solo nos orifícios de saída da água dos gotejadores e danos mecânicos pela ação abrasiva do solo decorrentes do arraste contínuo das mangueiras sobre o terreno, assim como por fatores internos como a presença de partículas sólidas, precipitados químicos e microbiologia relacionados com a qualidade da água de irrigação.

Este capítulo tem por objetivo descrever o desenvolvimento de uma bancada de ensaio de laboratório capaz de simular o arraste de tubogotejadores sobre o solo, em condição de ambiente controlado, de modo tal que permita uma análise mais detalhada da performance dos tubogotejadores na irrigação por gotejamento móvel a nível de ensaio laboratorial.

Este trabalho é inédito na literatura, pois até o presente momento, estudos da dinâmica de entupimento dos emissores gotejadores acoplados ao sistema pivô central não estão disponíveis na literatura nacional e nem internacional, o que evidencia a importância da metodologia e dos resultados aqui apresentados.

4.2. Material e Métodos

O desenvolvimento do experimento teve apoio financeiro da FAPESP (Projeto 2018/09729-7), no qual foi previsto o desenvolvimento de uma bancada de ensaios para testes de arraste de tubogotejadores sobre diferentes tipos de solos.

4.2.1. Desenvolvimento da estrutura

A bancada de ensaios foi desenvolvida no Laboratório de Engenharia de Irrigação da *Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*. Para projeção da máquina para arraste dos tubogotejadores, tomou-se como ponto partida, um equipamento capaz de fazer a reversão do sentido de movimento tubos automaticamente, e o movimento de parada e reversão apresentasse o mínimo de tração possível para que não houvesse danos aos tubos, ao mesmo tempo que tornasse possível a realização de irrigações sem a necessidade de parada do equipamento.

Inicialmente foi criado um modelo tridimensional da proposta (Figura 4), utilizando o software *Google Sketchup* no intuito de identificar o melhor arranjo do equipamento, para isso analisou-se uma seção de espaço disponível na bancada em estrutura metálica financiada por um Projeto FAPESP anterior (2000/12863-1) (Figura 6), com 11,0 m de comprimento, 2,0 m de largura e 2,0 m de altura, dividindo-se em duas partes fixas e móveis, sendo a primeira referente aos itens fixados na seção da bancada, e a segunda aqueles que realizam movimento e/ou estão fixadas as estas partes. O projeto digital permitiu a visualização de problemas que poderiam ocorrer, tal como ajustes necessários, assim como apresentado na imagem a seguir, a estrutura montada seguiu as mesmas linhas.

Figura 4. Projeto final da bancada de arraste. Partes fixas: (A) Estrutura metálica de apoio, (B) suporte para os trilhos em "V", (F) cremalheira, (G) motor. Partes móveis: (C) roldanas com trilho em "V", (D) "gaveta" estrutura metálica para acoplamento dos tubos, (E) hastes para fixação das mangueiras na gaveta, e (H) calhas.

A “gaveta” é um retângulo de 6 x 1 m fabricado em aço do tipo metalon, sua função é sustentar os tubos e permitir o arraste das mangueiras sobre o solo acondicionado numa geometria retangular dentro de cada calha. Por estar sujeita ao contato direto com a água de irrigação a gaveta recebeu tratamento de “*primer*” (Figura 5 A) e em seguida pintura com tinta tipo esmalte específica para proteção à oxidação e corrosão. A esta estrutura foi adicionado um conjunto de oito roldanas em formato “v” para rolamento lateral da estrutura, onde estas últimas deslizam sobre um par de trilhos (11 m cada) espaçados a 0,98 m (Figura 5 B).

Figura 5. Estrutura móvel da bancada, “gaveta” em processo de pintura e acabamento (A) e gaveta instalada sobre trilho para movimentação lateral (B).

Figura 6. Bancada financiada pelo Projeto FAPESP 2000/12863-1. Armazenagem de material de ensaio (A); Módulos para aulas práticas (B e C); Módulo de ensaio para arraste (D); Módulos para ensaio de obstrução (E e F).

Para que o a irrigação pudesse ser acionada durante o avanço das mangueiras sobre as calhas com solo, foi desenvolvido um sistema de bombeamento com mangueiras flexíveis anti-torção (Figura 7 A e B), fixadas de um ponto mais alto da estrutura móvel (o avanço refere-se a distância desse ponto), separando-o em três linhas ligadas a cada umas das hastes de acoplamento (Figura 4 E), a partir das hastes há uma bifurcação que permite o uso de duas mangueiras por calha para se aumentar o número de repetições simultâneas em operação na bancada. Os finais de linha também bifurcados (Figura 7 C) são fechados tendo um registro de gaveta ao final de cada linha, impedindo a influência de vazão entre linhas por meio de circulação. A tomada de pressão fica localizada na altura das linhas de gotejamento e antes da bifurcação. O funcionamento desse sistema pode ser visto no link²: <https://youtu.be/7CIUHb1XtR4>.

Figura 7. Tubulação flexível anti-torção (azul) para irrigação nos momentos necessários, esse sistema possibilita o arraste contínuo dos tubos, independente da irrigação (A e B), início de linhas do sistema, as hastes brancas permitem regular a altura dos tubos acima do solo (C), a luva (parte branca) foi posteriormente substituída por uma bifurcação, para a adição de uma segunda linha por calha.

A distância de percurso foi estabelecida em 58 cm, para que apenas os tubogotejadores “entrassem” na área das calhas, devido ao fato de as conexões nas extremidades de cada linha poderem jogar solo para fora da calha ou até mesmo enroscar em suas bordas bloqueando o movimento do motor, como mostrado na Figura 4 C. Para calcular a distância total percorrida utilizou-se a Equação 1:

$$Percurso\ Total = \frac{\left(\frac{T}{\Delta t} \times \Delta x\right)}{1000}$$

Em que,

Percurso Total -, km

T - tempo total, s

Δt - tempo do deslocamento médio de um ciclo de percurso, s

Δx - distância de percurso, m

O sentido e a velocidade de arraste foram controlados a partir de um conjunto eletroeletrônico (Figura 8) utilizando um microcontrolador Arduino, esse por sua vez sempre que recebe um sinal do sensor indutivo PNP (ao encontrar umas das placas metálicas nas extremidades da cremalheira), determina o sentido da corrente e polaridade da tensão por meio de um circuito “Ponte H”, fazendo que o motor altere seu sentido de giro. O motor utilizado tem tensão nominal 12V DC, porém ao usar essa tensão o número de rotações por minuto (rpm) é alto, assim foi utilizado um regulador de tensão de 5V com o objetivo de realizar a dimerização (redução eletrônica de velocidade) do motor, obtendo a velocidade adequada para ensaio, todos os outros componentes são alimentados por uma fonte

² Caso o link não estiver funcionando corretamente entrar em contato com o autor da tese.

de alimentação chaveada (12V 5A 60W). É possível ver o funcionamento do sensor de reversão da bancada a partir do link²: <https://youtu.be/90i1KHOv8Zo>.

Figura 8. Sistema de movimentação: placas metálicas de parada (A); motor 12V (B); sensor indutivo PNP (C); Fonte de 12V (D); regulador tensão 5V (E); Arduino UNO (F); e sistema de “Ponte H” (G).

4.3. Resultados e Discussão

4.3.1. Deslocamento

O percurso total de arraste simulado dos tubogotejadores foi estimado em 40,1 km, considerando a redução de rpm e sob condições de solo levemente úmido o tempo de deslocamento médio para os três tipos de solo foi de 26 segundos, acrescido do tempo de deslocamento contínuo de 500 horas. Em outras condições com solo saturado ou parcialmente drenado os tempos médios de deslocamento foram de aproximadamente: 21 e 32 segundos, respectivamente.

4.3.2. Acomodação do solo

Antes da utilização de duas linhas de gotejamento por linha foi realizada algumas irrigações iniciais para acomodação do solo e para teste de funcionamento do sistema de recalque e drenagem das calhas. Na Figura 9, pode ser observado a irrigação ocorrendo normalmente para ambos os solos (A), a rápida drenagem do solo A (B e C, 3 segundos entre imagens [movimentação da esquerda para direita]) e em D a drenagem no final da calha. Os três segmentos de tubos utilizados na acomodação foram trocados por novos, após essa etapa. O vídeo disponível³ em: <https://youtu.be/kmDBU-YfGIY> permite melhor entendimento da Figura 9.

³ Caso o link não estiver funcionando corretamente entrar em contato com o autor da tese.

Figura 9. Vista das calhas com irrigação (A), solo irrigado (B), solo irrigado após três segundos de passagem do emissor (C), drenagem da calha (D).

4.3.3. Irrigações

Nas primeiras 125 h todas as irrigações foram manuais, sendo uma irrigação com duração de 30 minutos a cada 8 h, após verificar que ao final de 8 horas o solo permanecia com pouca umidade e que o mesmo tornava-se mais pesado para o arraste, foi instalado um timer digital, o qual permitia irrigações a cada 2 horas por cinco minutos (tempo necessário para total umidificação do solo), esta ação foi realizada até o somatório de 375 h, após este período as irrigações ficaram menos frequentes e com um tempo de irrigação de 1 minuto até que se completasse 500 h de arraste. Contudo o período total acumulado de irrigação foi próximo a 20 horas.

4.3.4. Problemas com drenagem

Inicialmente a drenagem através da manta *bidim* ocorria sem problemas, com o passar do tempo a capacidade de drenagem foi reduzindo gradativamente por entupimento da manta, a principal hipótese para problemas da drenagem está nas texturas dos solos utilizados (Tabela 1), acredita-se que uma vez que os solos foram desagregados (Figura 10 A), para sua posterior acomodação nas calhas Figura 10 B), esta ação pode ter possibilitado o desmembramento de partículas menores de silte e argila fazendo que a malha da manta *bidim* geotêxtil agisse como um elemento filtrante, onde ocorreu o acúmulo de partículas sólidas na sua superfície, reduzindo a condutividade hidráulica da manta.

A partir de 300 h de funcionamento notou-se a perda da capacidade de drenagem das calhas (Figura 10 C), isto foi melhor entendido ao final das 500 h, quando o solo contido nas calhas foi removido, a manta instalada estava com uma densa camada de argila em seu interior impedindo a passagem da água por sua malha (como um filtro entupido pela sujeira acumulada), dessa forma, rapidamente o solo encharcava, além disso o atrito das mangueiras sobre o solo e o próprio deslocamento de partículas permitiu o adensamento do solo criando uma espécie de bloco argiloso (Figura 10 D).

Tabela 1 Texturas dos solos utilizados

Código	Textura	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
Solo 1	Franco Argiloso Arenoso	33	10	57
Solo 2	Franco Arenoso	18	0	82
Solo 3	Argila	49	12	39

Figura 10. Acomodação dos solos em suas respectivas calhas [em B da direita para esquerda Solo 1 e Solo 2] (A e B), primeiros sinais da redução de drenagem, formação de espelho d'água [Solo 3] (C), e formação de bloco argiloso com a acomodação das partículas devido ao arraste do tubogotejadores [Solo 1] (D).

4.3.5. Avaliação de vazão

Durante as 500 h de deslocamento no Ensaio 1 de Arraste dos Tubogotejadores, foram realizadas irrigações para elevação da saturação do solo de forma intermitente, onde o período total acumulado de irrigação foi de aproximadamente 20 horas, as primeiras irrigações apresentavam 10 a 15 minutos para total saturação, após o acumulado de 400 horas de deslocamento o tempo reduziu a 1 a 2 minutos para saturação do solo, devido problemas de drenagem, não foram observadas mudanças de vazão que alterassem a eficiência de irrigação, conforme os resultados apresentados na Tabela 2. Dois modelos de tubogotejadores com emissores integrados cilíndricos não compensantes foram utilizados nos ensaios, ambos com diâmetro nominal de 16 mm e com seus emissores espaçados a 0,20 m, com pressão de serviço de 98 kPa apresentando vazão de 7,4 e 6,4 L.h⁻¹, denominados como Emissor A e B respectivamente.

A Figura 11 permite a observação do caminho percorrido pela água no interior de cada emissor. Destaca-se que os emissores são cilíndricos e sua representação não é proporcional ao tamanho real.

Figura 11. Representação do labirinto dos emissores testados. Esquerda – Emissor A 7,5 L.h⁻¹, Direita – Emissor B 6,4 L.h⁻¹. Legenda: linhas azuis - pré-filtro; linhas vermelhas – labirinto; linhas amarelas – zona de transição; linhas laranja – câmara de saída. Sentido de escoamento das linhas azuis para laranja.

Tabela 2 Vazões observadas para dois tipos de emissores e três tipos de solo no *Ensaio 01 de Arraste dos Tubogotejadores*

Leituras	Emissor A (L.h ⁻¹)			Emissor B (L.h ⁻¹)		
	Solo 1	Solo 2	Solo 3	Solo 1	Solo 2	Solo 3
Início	7,4	7,4	7,4	6,5	6,4	6,5
125 h	7,3	7,3	7,3	6,4	6,5	6,5
250 h	7,3	7,4	7,4	6,4	6,4	6,4
375 h	7,3	7,4	7,3	6,4	6,5	6,4
500 h	7,4	7,4	7,4	6,5	6,5	6,5
Média período	7,33	7,37	7,37	6,45	6,46	6,47
Desvio Padrão	0,055	0,063	0,082	0,092	0,045	0,043
Erro Padrão	0,005	0,006	0,008	0,009	0,005	0,004
Coeficiente de variação	0,0609	0,0437	0,1358	0,0739	0,0366	0,0271

Destaca-se que não se observou nenhum tipo de entupimento dos emissores até o final das 500 horas de operação do sistema (Tabela 3), para nenhum dos dois tipos de emissores avaliados, em nenhum dos três solos ensaiados. As mangueiras ficaram sendo arrastadas gotejando dentro de uma “lama” que se formou na calha de suporte do solo ensaiado, a qual empregava completamente o tubogotejador de maneira bastante íntima, sendo uma condição de operação bastante propícia à intrusão de partículas sólidas pelo orifício de saída de água.

Tabela 3 ANOVA: fator único

ANOVA – Emissor A						
Fonte da variação	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Solos	0,123741	2	0,06187	0,771501	0,463243	3,026153
Leituras	23,81784	297	0,080195			
Total	23,94158	299				
ANOVA - Emissor B						
Fonte da variação	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Solos	0,02112	2	0,01056	0,230073	0,794617	3,026153
Leituras	13,63208	297	0,045899			
Total	13,6532	299				

Provavelmente a nível de campo esta condição de contato íntimo dos tubogotejadores com a “lama” de solo não ocorra de maneira tão contínua e intensa quanto no experimento aqui conduzido, em função da presença de restos vegetais sobre a superfície do terreno e do crescimento do dossel das plantas. A massa fluída de solo não conseguiu obstruir a saída de água dos gotejadores, em função da contrapressão do fluxo de água que estaria saindo periodicamente pelo gotejador, a qual repeliu qualquer possibilidade de intrusão de partículas mais profundamente para dentro do labirinto dos emissores de maneira mais obstrutiva ao fluxo de água regulado.

Para simular uma outra condição de operação em campo onde o sistema seria arrastado sobre o solo úmido dentro da lama e posteriormente ficaria alguns meses sem funcionar, decidiu-se pela realização do *Ensaio 02 de Arraste* aonde se deixariam os tubogotejadores em repouso prolongado: 30 dias exposto ao ar para secamento da lama sobre o tubogotejador, após um período de arraste dentro da lama na bancada de ensaio, com resíduos de solos por fora da tubulação para secagem e formação de uma crosta de solo seca externa aos tubogotejadores. Posteriormente com a finalização do período de secagem, todas as linhas foram submetidas aos testes de vazão.

Tabela 4 Vazões observadas para dois tipos de emissores e três tipos de solo no *Ensaio 02 de Arraste dos Tubogotejadores após trinta dias com o sistema parado*

	Emissor A (7,4 L.h ⁻¹)			Emissor B (6,4 L.h ⁻¹)		
	Solo 1	Solo 2	Solo 3	Solo 1	Solo 2	Solo 3
Média da vazão (L.h ⁻¹)	5,29	5,93	6,87	3,50	4,24	6,56
Vazão Relativa %	70,95	79,86	92,30	53,85	65,13	98,56
Erro padrão	0,61	0,46	0,07	0,71	0,71	0,07
Mediana	6,43	6,54	6,98	5,90	6,44	6,65
Desvio padrão	2,71	2,08	0,33	3,19	3,16	0,32
Variância da amostra	7,37	4,31	0,11	10,15	9,97	0,10
Mínimo	0,02	0,04	6,20	0,05	0,03	5,60
Máximo	7,26	7,40	7,34	6,49	6,64	6,92
Nível de confiança (95%)	1,27	0,97	0,16	1,49	1,48	0,15
Grau de entupimento (%)	28,0	19	7	46	34	0

Ambos os emissores nos solos 1 e 2 apresentaram valores de obstrução de emissores no *Ensaio 02 de Arraste*. O barro retido na parte externa dos tubos impediu a funcionamento dos emissores, apenas o solo 3, que apesar de ter textura similar ao solo 1, apresentou pequeno potencial para obstrução externa dos emissores, uma hipótese para esse resultado é a elevada quantidade de matéria orgânica presente neste solo, como pode ser visto na Tabela 4.

Na Figura 12 A e B é possível ver o solo seco na parte externa dos tubos, como também alguns emissores que foram obstruídos. Destaca-se que obstruções parciais (quando a vazão é apenas reduzida) foram pouco observadas no caso do emissor B, assim maioria dos emissores obstruídos apresentaram redução total da vazão, enquanto o emissor A apresentou até 15% de grau de entupimento na maioria dos seus emissores, e outros 6 emissores apresentaram obstrução completas para os solos 1 e 2, conforme pode ser observado na Figura 13. Também é possível observar que os emissores sobre o solo 3 apresentaram grau de entupimento reduzido no emissor A, quando comparado aos outros dois solos, enquanto o Emissor B apresentou apenas dois emissores com até 20% de redução de vazão.

Figura 12 Emissores obstruídos após secagem externa do solo (linha tracejada) e emissores em funcionamento normal (linha contínua).

Figura 13 Grau de entupimento por tipo de solo e posição do emissor. Superior Emissor A, inferior Emissor B.

A Figura 14 mostra alguns emissores que apresentaram entupimento, considerando os 30 dias parados, a maioria dos casos havia acúmulo de partículas apenas na área de saída do gotejador, contudo deve-se lembrar que os dois modelos de gotejadores testados apresentavam quatro orifícios de saída cada, para cada emissor, assim havia a chance de uma saída torna-se a única funcionando como observado na Figura 12 A, permitindo que o emissor funcionasse normalmente, embora que apresentando um micro jato de água.

Figura 14 Emissores que apresentaram acúmulo de partículas na câmara de saída. Nomenclatura: S + número – solo; Letra maiúscula – Emissor; Número em sequência – Número do emissor.

Constatou-se que alguns emissores apresentaram partículas de solo no interior do labirinto (Figura 15), a presença dessas partículas foi considerada como contaminação uma vez que o além do filtro de disco de 120 mesh instalado após o recalque da motobomba (o filtro era limpo com frequência), o próprio bidim deveria agir como filtro, essas partículas no interior do labirinto não foram a causa do entupimento dos emissores em questão. Outro ponto que deve ser mencionado é que embora os labirintos tenham dimensões mínimas da seção de fluxo em torno de 1 mm (em ambos emissores), era visível em vários emissores que na zona de transição a parede de polietileno fundida aos emissores, apresentava-se abaulada sobre o labirinto (Figuras 15 e 16 - superfície externa côncava), o qual embora fosse largo, resultava pontos com altura no interior do canal menor que 1 mm (base do labirinto x parede do emissor), o que propiciou a deposição e o aglutinamento de partículas nessas regiões.

Figura 15 Emissores que apresentaram acúmulo de partículas no labirinto. Nomenclatura: S + número – solo; Letra maiúscula – Emissor; Número em sequência – Número do emissor.

A Figura 16 mostra as regiões onde ocorreram os acúmulos de partículas, ressalta-se que a deposição de partículas ocorreu nas regiões, mas não necessariamente no mesmo lugar para todos os emissores obstruídos, dados pelo fechamento parcial e/ou completo dos orifícios de saída dos emissores, as regiões em verde (hachura com pontos brancos) são as mesmas apresentadas na Figura 14 e as regiões na cor vermelha (hachura com pontos pretos) são apresentadas na Figura 15. Emissores que apresentaram partículas no interior do labirinto (linhas vermelhas), apresentaram também acúmulo na câmara de saída e zona de transição.

Figura 16 Regiões de acúmulo de partículas, áreas verdes regiões onde se encontram os orifícios de saída (2 para cada) áreas vermelhas – transição entre labirinto e câmara de saída. À esquerda Emissor “A”, à direita Emissor “B”.

Ressalta-se que o acúmulo de partículas em ambas as regiões hachuradas apresentadas na Figura 16, podem não ocorrer em sua totalidade e/ou em todas as regiões de um mesmo emissor, emissores com obstrução total apresentaram ambas as regiões verdes totalmente fechadas com pequenas partículas ou a região vermelha totalmente preenchida por partículas, sendo que neste último ambas as regiões verdes não eram obrigatoriamente obstruídas por completo também.

Esta abertura da malha do filtro, não evita a entrada de argila, silte e de parte da areia muito fina para dentro do tubogotejador. De tal modo, que o sistema de irrigação precisa estar apto a lidar com um certo tipo de sujeira na água de irrigação, que poderá ocorrer em condição de uso no campo, e cujo efeito irá se acentuar com períodos prolongados de parada do sistema, pela decantação desta argila e silte em suspensão dentro do labirinto e zonas de transição

4.4. Considerações Finais

O modo de acomodação do solo escolhido pode ter facilitado o encaminhamento de partículas menores de silte e argila para os poros da manta geotêxtil fazendo que ela tivesse sua capacidade de drenagem reduzida, assim um processo de acomodação do solo por um processo de ascensão (primeira irrigação partindo do fundo da calha para a superfície) seria o mais indicado em próximos trabalhos.

A utilização de um filtro de disco com 100 micrometros de abertura da malha (padrão utilizado em projetos de irrigação por gotejamento) permitiu que partículas de argila, silte e uma fração da areia muito fina passassem para dentro dos tubogotejadores, ocasionando assim a contaminação dos labirintos com essas partículas, situação essa que poderia ser evitada no teste realizado, não recirculando na bancada de ensaios a água drenada nas calhas com solo.

Uma maneira de minimizar o problema de entupimento dos emissores durante períodos prolongados de parada do equipamento no campo, seria acionar o conjunto motobomba com o sistema de irrigação parado na posição definitiva de descanso por período adequado, visando a limpeza completa da tubulação. Caso seja possível utilizar uma fonte de água de melhor qualidade neste procedimento de limpeza para posterior descanso prolongado do equipamento na área, acrescentando um tratamento químico com cloração à esta água, o problema com entupimento de emissores poderá ser minimizado no campo.

4.5. Conclusão

A bancada de ensaios desenvolvida foi capaz de simular em condição de laboratório o teste idealizado de arraste das mangueiras dentro da lama do solo, o que permitiu ensaiar os tubogotejadores na condição de irrigação por gotejamento móvel conforme idealizado inicialmente.

O Ensaio 01 de arraste dos tubogotejadores na lama em condição de irrigação, demonstrou não haver efeito de entupimento dos tubogotejadores por intrusão de partículas sólidas do solo, para nenhum dos emissores analisados, em nenhum dos três tipos de solo testados, o que torna o sistema de irrigação por gotejamento móvel atrativo aos agricultores irrigantes.

O Ensaio 02 de arraste dos tubogotejadores na lama com período posterior de secagem prolongado, demonstrou haver efeito de entupimento dos tubogotejadores por partículas sólidas do solo incrustadas nos gotejadores, para ambos os emissores analisados, nos três tipos de solo testados. Solos com quantidade de argila e silte em maior porcentagem, porém com menor teor de matéria orgânica, aumentaram a possibilidade de obstrução da câmara de saída do emissor pela secagem do solo no entorno da tubulação.

Não foram observados danos externos aos tubogotejadores por abrasão dos sobre o solo. A drenagem do solo nas calhas apresentou um momento limite em que houve obstrução parcial da manta de drenagem por partículas de solo, o que resultou em um escoamento superficial parcial da vazão aplicada sobre a calha.

Especial atenção deve ser dada ao manejo do sistema de irrigação por gotejamento móvel, em períodos prolongados de parada do equipamento no campo, quando o acúmulo de lama sobre os tubogotejadores e de partículas de solo que adentraram o labirinto podem sofrer um processo de incrustação do material particulado depositado nos emissores, promovendo um entupimento significativo do sistema.

Referências

- ALMEIDA, A. N. De. Dimensionamento do sistema de Irrigação por Gotejamento Móvel (IRGMO): metodologia de cálculo e software. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.
- ALMEIDA, A. N. De et al. Methodology for dimensioning of a center pivot irrigation system operating with dripper type emitter. *Engenharia Agrícola*, v. 37, n. 4, 2017.
- AMIR, I.; DAG, J. Lateral and longitudinal wetting patterns of very low energy moving emitters. *Irrigation Science*, v. 13, n. 4, mar. 1993. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/BF00190034>>.
- DERBALA, A. A. A. Development and evaluation of mobile drip irrigation with centre pivot irrigation machines. 2003. Braunschweig: Bundesforschungsanst. für Landwirtschaft, Brunsvique, Deutschland, 2003. Disponível em: <<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:253-200909-zi030161-9>>.
- HEZARJARIBI, A.; SOURELL, H. Development and evaluation of mobile drip irrigation. (21st International Congress on Irrigation and Drainage of ICID, Ed.) In: 8th International Micro-irrigation Congress, ICID., Tehran. Anais... Tehran: 2011. Disponível em: <http://irncid.org/english/GetFileArticles.aspx?FilePrm=7335_16237.pdf>.

- HOWELL, T. A.; PHENE, C. J. Distribution of Irrigation Water from a Low Pressure, Lateral-Moving Irrigation System. Transactions of the ASAE, v. 26, n. 5, p. 1422–1429, 1983. Disponível em: <<http://elibrary.asabe.org/abstract.asp??JID=3&AID=34144&CID=t1983&v=26&i=5&T=1>>.
- KISEKKA, I. et al. Mobile Drip Irrigation Evaluation in Corn. Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports, v. 2, n. 7, p. 13, 2016.
- KISEKKA, I. et al. Revisiting precision mobile drip irrigation under limited water. Irrigation Science, v. 35, n. 6, p. 483–500, 4 nov. 2017. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00271-017-0555-7>>.
- OLSON, B. L. S.; ROGERS, D. H. Comparing Drag Hoses Verses Sprinklers on Corn Irrigated by a Center Pivot. Applied Engineering in Agriculture, v. 24, n. 1, p. 41–45, 2008. Disponível em: <<http://elibrary.asabe.org/abstract.asp??JID=3&AID=24159&CID=aeaj2008&v=24&i=1&T=1>>.

5. SUSCEPTIBILIDADE DE OBSTRUÇÃO DE TUBOGOTEJADORES DE ALTA VAZÃO UTILIZADOS NA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO MÓVEL

Resumo

A obstrução de emissores é um problema comum na irrigação por gotejamento fixo, principalmente em gotejadores de baixa vazão, na ordem de 0,3 a 1,0 L.h⁻¹, sendo obrigatório a instalação de sistemas de filtragem eficientes para uma boa operação do equipamento no campo. Por outro lado, na irrigação por gotejamento móvel, embora as vazões de fluxo dos gotejadores sejam bem maiores (6 -12 L.h⁻¹), como os tubogotejadores são acoplados aos tradicionais sistemas pivô centrais, que normalmente não utilizam sistemas de filtragem quando operando com emissores convencionais tipos sprays fixos, rotativos e vibratórios, levanta-se a hipótese de que é necessário utilizar sistemas de filtragem na irrigação por gotejamento móvel mesmo como o uso de gotejadores de alta vazão. Os ensaios foram conduzidos em laboratório utilizando dois modelos de emissores indicados para o uso em sistemas de irrigação por gotejamento móvel de 4,0 e 6,5 L.h⁻¹, denominados como C e B, respectivamente, com orientação controlada dos pré-filtros em relação a posição de instalação, sendo três orientações para cada emissor: Emissor C – baixo, cima e horizontal e Emissor B – vertical, horizontal e diagonal. Após o sorteio de 25 emissores para cada orientação (150 no total), foi realizada a leitura da vazão do emissor novo de todos as repetições utilizando apenas água destilada e deionizada, em seguida os emissores foram submetidos a exposição por partículas sólidas agrupadas em 4 faixas granulométricas (0,045-0,125; 0,125-0,212; 0,212-0,500; e 0,500-1,000 mm), o sistema de manifold da bancada de ensaios permitia que houvesse uniformidade da quantidade de partículas por meio de bocais nos finais de cada linha, visando manter a velocidade de escoamento em 1 m.s⁻¹, leituras de vazão foram realizadas diariamente antes do final das 10 horas de exposição, a cada 100 horas de exposição um grupo de maior dimensão era adicionado ao sistema, após 400 de exposição os finais de linhas foram fechados e mais 10 ciclos de 8 horas foram avaliados. Resultados mostraram que o emissor C apresenta maiores problemas de obstrução quando o pré-filtro está voltado para baixo, já o emissor B demonstrou que partículas de 0,045 a 0,212 mm não apresentam efeitos que possam comprometer a qualidade de irrigação, porém ao ter-se a presença de partículas maiores (0,212 a 1,0 mm) e quando os pré-filtros estão orientados na horizontal problemas de obstrução são frequentes. Ao se comparar o ensaio realizado com similares na literatura para emissores de baixa vazão (gotejamento fixo), observa-se que os emissores utilizados na irrigação por gotejamento móvel são bem mais resistentes aos processos de obstrução por partículas sólidas. Confirmou-se a hipótese inicial do trabalho de que é preciso utilizar sistemas de filtragem mesmo com o uso de gotejadores de alta vazão na irrigação por gotejamento móvel acoplada ao sistema pivô central.

Palavras-chave: emissor, entupimento, irrigação localizada

Abstract

The obstruction of emitters is a common problem in drip irrigation, studies on the installation position of cylindrical type emitters with the orientation of the pre-filter are still restricted, so this study aims to study the relationship between the orientation of the emitter with obstruction by physical particles. The tests were conducted in the laboratory using two emitters of 4.0 and 6.5 L.h⁻¹, denominated as C and B, respectively, after identifying the orientation of the prefilters in relation to the installation position, with three orientations for each emitter (in C - low, up and horizontal and in B – vertical, horizontal and diagonal), after drawing 25 emitters for each orientation (150 in total), the flow reading of all emitters was performed using only distilled and deionized water, then the emitters were exposed by solid particles grouped into 4 groups (0.045-0.125; 0.125-0.212; 0.212-0.500; and 0.500-1,000 mm), the circulation system allowed uniformity of the amount of particles through nozzles at the end of the line to maintain flow speed at 1 m.s⁻¹, flow readings were performed daily before the end of the 10 hours of exposure, every 100 hours of exposure a larger group was added to the system, after 400 exposure the end of lines were closed and another 10 cycles of 8 hours were

evaluated. Results showed that emitter C presents major obstruction problems when the pre-filter is facing down, while emitter B showed that particles from 0.045 to 0.212 mm do not present effects that may compromise irrigation quality, but when the presence of larger particles (0.212 to 1.0 mm) is present, and when the prefilters are oriented horizontally obstruction problems can be easily noticed. When comparing the test performed with similar ones in the literature for low flow emitters (fixed drip), it is observed that the emitters used in mobile drip irrigation are much more resistant to the processes of obstruction by solid particles. The initial hypothesis of the work was confirmed that it is necessary to use filtration systems even with the use of high flow drippers in the mobile drip irrigation coupled to the central pivot system.

Keywords: emitter, clogging, irrigation

5.1. Introdução

A irrigação é uma prática agrícola que, em regiões onde a precipitação é desuniforme e/ou insuficiente durante o ciclo da cultura, permite que culturas possam apresentar mais do seu potencial produtivo. Dentre os vários métodos de irrigação destaca-se a irrigação localizada, a qual a aplicação de pequenas quantidades de água e em maior frequência possibilita à cultura ter, na maior parte do tempo, água próxima a região radicular (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006; AYARS et al., 2007; WU; BARRAGAN; F. BRALTS, 2007).

Contudo a obstrução de emissores é um problema comum na irrigação por gotejamento, diversos estudos têm sido realizados ao longo dos anos, com intuito de entender melhor a formas como o problema ocorre, de forma a criar meios para evitá-lo (RAVINA et al., 1992, 1997; RESENDE; COELHO; PIEDADE, 2000; DE KREIJ; VAN DER BURG; RUNIA, 2003; CARVALHO, 2009; COSTA; CAMPOS; FARIA, 2010; DA SILVA et al., 2014; ZHOU et al., 2015), trabalhos como o de Faria (2013) sugerem que além de características do próprio emissor e qualidade da água a posição de instalação do emissor pode apresentar influência no processo de obstrução.

A irrigação por pivô central em território nacional está muito concentrada no uso de águas superficiais, captadas diretamente em rios e ribeirões, através de sistemas de bombeamento de grande porte, que normalmente promovem a sucção de quantidades consideráveis de areia, silte e argila para o interior das adutoras de abastecimento destes sistemas mecanizados de irrigação.

Emissores de tipo de pastilha integrados possuem uma característica de instalação que permite saber em qual posição o pré-filtro do emissor está instalado, por essa razão também indica-se instalar esses emissores com o orifício voltado para cima (FRIZZONE et al., 2012), no entanto durante o processo de integração de emissores de tipo cilíndrico e a parede do tubogotejador torna aleatória a posição do pré-filtro em relação ao orifício de saída, independente da instalação no campo ser com os orifícios do tubogotejador voltados para cima, tal característica faz que em um mesmo segmento de tubogotejador apresente pré-filtros voltados para todos os lados na parte interna do tubo gotejador. Assim neste trabalho tentamos entender melhor a dinâmica de entupimento de emissores cilíndricos de vazão superior a 4 L.h⁻¹ indicados para uso no sistema de irrigação por gotejamento fixo, sujeitos a partículas sólidas de diferentes tamanhos e relacionando a obstrução a posição de instalação do pré-filtro do emissor.

5.2. Material e Métodos

5.2.1. Embasamento metodológico

Utilizou-se a metodologia adotada por Lavanholi (2016) e Pereira (2019), com modificações específicas para esta pesquisa, tal como estruturas e materiais no Laboratório de Irrigação do Departamento de Engenharia de Biossistemas da Escola de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ-USP).

5.2.2. Gotejadores

Dois modelos de tubogotejadores com emissores cilíndricos integrados não compensantes foram utilizados nos ensaios, ambos com diâmetro nominal de 16 mm e com seus emissores espaçados a 0,20 m, trabalhando com pressão de serviço média de 98 kPa, as características destes emissores são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 Caracterização dos emissores ensaiados

Código	Comprimento do emissor (mm)	Diâmetro externo do cilindro (mm)	Diâmetro interno do cilindro (mm)	Espessura do cilindro (mm)	Profundidade do canal do labirinto (mm)	Vazão na pressão de serviço (L.h ⁻¹)
C	33,9	16,0	11,7	2,15	0,98	3,9
B	31,1	16,0	11,3	2,35	1,02	6,4

Ambos os emissores passaram por teste de curva vazão-pressão, com as seguintes constantes $C=3,9143$ e $B=0,4952$; e $C=6,4383$ e $B=0,5088$.

Previamente identificou-se a posição do pré-filtro de cada gotejador (Figura 17) colocando uma fita adesiva colorida ao lado de cada gotejador (branco, vermelho e verde) em relação aos orifícios de saída do tubo, após a instalação na bancada foram sorteados 25 emissores para cada posição/vazão conforme Quadro 1. Destaca-se que o emissor “C” (Figura 17) apresenta um único pré-filtro por emissor (para cima [vermelho], para baixo [verde] e horizontal [branco]), enquanto, no emissor “B”, apresenta dois pré-filtros perpendiculares (Figura 18).

MAPA CONDICIONAL																									
Nº	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
L1	0	1	2	2	3	1	1	1	1	3	2	3	3	3	1	2	3	1	1	3	1	1	1	2	1
L2	0	1	3	2	1	2	2	2	1	1	3	1	2	2	2	3	3	1	2	2	3	2	1	1	3
L3	0	2	3	1	1	1	3	3	1	1	2	1	3	2	3	1	3	3	2	1	1	3	2	3	2
L4	0	3	3	1	1	1	2	1	3	1	3	1	2	1	1	1	2	2	2	1	3	1	2	2	2
L5	0	2	3	3	3	2	2	1	1	1	2	3	3	1	2	3	2	1	3	1	2	1	2	1	2
L6	0	2	1	3	1	2	3	2	3	1	2	1	2	1	1	3	1	2	3	3	2	2	3	3	3
L7	0	1	3	2	2	3	1	3	1	1	2	3	3	2	2	2	1	2	1	2	1	2	1	3	2
L8	0	2	2	1	3	3	3	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	3	3	3	2	3	2	3	2

* L1-L4 = 4 L.h⁻¹; L5-L8 = 6,5 L.h⁻¹.

Quadro 1 Identificação da posição dos pré-filtros nos emissores

EMISSORES AVALIADOS																									
Nº	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
L1			2	2	3	1	1	1	1	3	2	3	3	3		2	3	1			1	1	1	2	
L2		1	3	2	1	2	2	2		1	3	1	2	2	2	3	3		2	2	3	2	1	1	
L3			3	1		1	3	3			2		3		3		3	3	2	1	1	3	2	3	
L4		3	3	1		1	2	1	3		3	1	2			1	2	2	2	1	3	1	2	2	
L5			3		3	2		1	1		2	3	3	1	2	3		1	3	1	2	1	2	1	
L6			1	3	1	2		2	3	1		1	2	1	1	3	1	2	3	3	2	2	3	3	
L7		1	3	2	2	3	1	3	1	1		3			2	2	1	2	1	2	1		1	3	
L8			2	1	3	3	3	2		2	2	1	2		1	2	2	3		3	2	3		3	

Quadro 2 Mapa de emissores avaliados

Figura 17 Identificação do pré-filtro no tubo, para o emissor A: verde e vermelho (vertical) e branco (horizontal).

Figura 18 Diagrama da relação entre pré-filtro (vermelho), e orifício de saída (amarelo). * O furo na mangueira é apenas para representação de instalação (o furo verdadeiro ficaria sobre o emissor). 1 a 3 Emissor B, 4 a 6 emissor C.

Ao contrário dos emissores planos onde há como saber a posição do pré-filtro em relação ao orifício de saída no tubo, os emissores cilíndricos não possuem essa “vantagem”, por essa razão as identificações de posição foram realizadas manualmente, no diagrama presente na

Figura 18 mostra o que foi observado no emissor B, o qual apresenta dois pré-filtros, já o emissor C seria o que é mostrado em C e B da mesma imagem, mas apenas com um pré-filtro.

5.2.3. Bancada de ensaios

A estrutura (Figura 19) utilizada para ensaios é a mesma que Lavanholi (2016) e Pereira (2019) realizaram suas pesquisas, composta por reservatório de polietileno de 250 L, tendo a ele acoplado um agitador e um conjunto motobomba (rotor e carcaça em inox), as vazões de recalque e retorno são controladas por dois registros instalados

logo após o filtro de tela (o qual não se utilizou), no início de umas das linhas de derivação havia um manômetro e ao final de cada linha um bocal para regular a velocidade de escoamento, uma peneira foi instalada no retorno do reservatório para reduzir a presença de possíveis contaminantes.

Figura 19 Esquema da bancada de ensaios, adaptado de Lavanholi (2016) e Pereira (2019).

Devido os ensaios utilizarem diferentes tamanhos de partícula optou-se por não utilizar elemento filtrante logo após o recalque, por essa razão utilizou-se uma peneira no retorno do reservatório, durante os ensaios utilizou-se quatro peneiras diferentes: abertura de 0,125; 0,212; 0,500 e 1,000 mm, estas aberturas estão relacionadas a maior partícula presente nos quatro grupos de faixas granulométricas utilizadas.

5.2.4. Partículas sólidas

As partículas utilizadas nos ensaios são provenientes de solo classificado como Latossolo Vermelho Amarelo, textura franco arenosa, para os ensaios utilizou-se apenas a porção de areia e silte, para isto uma série de procedimentos foram executados para a obtenção do material, esses procedimentos são os mesmos adotados por Pereira (2019):

1 – Inicialmente o solo é seco ao ar, destorroado e passado por uma peneira de abertura de 2 mm.

2 – Amostras com 40 g de solo são alocadas em béqueres, onde foram adicionados 60 mL de água e 60 mL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) a 30% para realização da destruição de matéria orgânica presente no solo, após 15 horas de reação, os béqueres são colocados em placa aquecedora à 60°C, permanecendo nesta até que se cesse as borbulhas da reação de decomposição do peróxido, o restante da matéria orgânica foi eliminado no procedimento seguinte.

3 – Na próxima etapa o conteúdo de cada béquer é transferido para um recipiente com tampa, com volume de 300 mL, para que ocorresse a floculação de minerais foram adicionados 50 mL de $CaCl_2$ a 1 mol L^{-1} e água destilada até completar um volume de 250 mL (Figura 20 A). Todo o sobrenadante era removido por meio de sifonamento após sedimentação das partículas (Figura 20 B), processo esse repetido até que a condutividade elétrica fosse inferior a 400 $\mu S\ cm^{-1}$.

4 – Na fase seguinte são adicionados 100 mL de solução contendo 33 g de hexametáfosfato de sódio ($NaPO_3$) e 7 g de carbonato de sódio ($NaCO_3$) dissolvidos em 1 L de água destilada para a dispersão dos minerais, os recipientes são tampados e levados para agitador por período de 18 horas.

5 – Na última fase o conteúdo dos recipientes é lavado com jato de água destilada, separando argila da areia (determinada parte de silte passa para ambas), por meio de uma peneira com abertura de 45 μm . Após esta etapa o material retido na peneira segue para secagem em estufa a 105°C, enquanto a argila (não utilizada neste trabalho), segue para estufa a 60°C. Após a secagem silte e areia, por meio de peneiras, foram separadas em 14 faixas granulométricas (Tabela 6).

Figura 20 A - Início da floculação e sedimentação do material no recipiente; B - Material sedimentado no fundo do recipiente e restos orgânicos “flutuando”, a região clara é parcialmente sifonada.

As composições de faixas granulométricas utilizadas foram baseadas nos trabalhos de Lavanholi (2016) e Pereira (2019), não foram utilizadas partículas menores que 0,045 mm, as duas próximas composições 0,212 – 0,125 mm e 0,500 – 0,212 mm, são as mesmas utilizadas nos trabalhos citados, neste trabalho os emissores apresentam características arquitetônicas maiores a emissores de vazões inferiores a 4 L.h⁻¹, por essa razão foi decidido utilizar partículas ainda maiores 0,500 a 1,00 mm, apresentando-se assim a quarta faixa granulométrica.

Tabela 6 Distribuição de partículas para as quatro faixas granulométricas

Faixa granulométrica (mm)	Tamanho da partícula (mm)	Massa (g.L ⁻¹)	Massa total no tanque (g) ^a
0,125 – 0,045	0,045 $\geq$ int. < 0,063	0,021	4,2
	0,063 $\geq$ int. < 0,074	0,023	4,6
	0,074 $\geq$ int. < 0,090	0,025	5,0
	0,090 $\geq$ int. < 0,106	0,027	5,4
	0,106 $\geq$ int. < 0,125	0,029	5,8
0,212 – 0,125	0,125 $\geq$ int. < 0,149	0,035	7,0
	0,149 $\geq$ int. < 0,180	0,043	8,5
	0,180 $\geq$ int. < 0,212	0,048	9,5
0,500 – 0,212	0,212 $\geq$ int. < 0,250	0,028	5,5
	0,250 $\geq$ int. < 0,297	0,030	6,0
	0,297 $\geq$ int. < 0,420	0,033	6,5
	0,420 $\geq$ int. < 0,500	0,035	7,0
1,000 – 0,500	0,500 $\geq$ int. < 0,590	0,060	12,0
	0,590 $\geq$ int. < 1,000	0,065	13,0

^a Caixa d'água com capacidade para 200L.

5.2.5. Rotina de ensaios

Diariamente duas horas antes do final do período de exposição, iniciava-se a coleta de vazão dos 150 emissores selecionados, operação que por limite de volume dos coletores, durava sete minutos para o emissor “C” e cinco minutos para o emissor “B”, para a coleta de vazão havia um intervalo de dez segundos entre cada seguimento (1-23, Figura 21), sendo a coleta simultânea nas linhas L1 a L4, onde coletores sobre placas de polietileno eram colocados sob os emissores a serem avaliados, a mesma ocorria nas linhas L5 a L8, após a conclusão do bloco anterior. Devido estarem muito próximos ao “*mainfold*” e bocal de final de linha, emissores dos segmentos 0 e 24 não foram utilizados.

Figura 21 Vão inicial da bancada de ensaios (A) e vão final (B), coletores posicionados abaixo (linhas vermelhas) dos segmentos 1 a 12 e 13 a 23 (direita para esquerda).

Desta forma o ensaio foi dividido em sete fases (Tabela 7), apresentando concentrações de partículas de 125 mg/L a 500 mg/L, durante a primeira fase de ensaio foram testados os modelos de gotejadores convencionais C e B na pressão de serviço de 98 kPa apenas com água, para se fazer a leitura para aquisição do coeficiente de vazão de fabricação (CVf), nas fases seguintes a areia começou a ser adicionada no tanque (fases 1 a 4), a partir da quinta fase apenas a operação do final de linha era alterada, sem adição de partículas.

Tabela 7 Duração das fases

Fase	Duração (d)	Exposição Por Fase (h)	Exposição Acumulada (h)	Mesh /Microns
Pré – Água	1	-	-	-
1 – Abertura 1	10	100	100	120
2 – Abertura 2	10	100	200	70
3 – Abertura 3	10	100	300	35
4 – Abertura 4	10	100	400	18
5 – Final Fechado ^a	1	8	408	18
6 – Final Fechado	10	80	488	18
7 – Final Aberto	4 ^b	12	500	18

^a Nesta fase houve um súbito aumento de pressão que ocasionou a desobstrução de alguns emissores.

^b Foram realizadas três leituras com duração de quatro horas.

5.2.6. Processo de obtenção de imagens

Todos os emissores que apresentaram obstrução foram submetidos a remoção da camada de polietileno (parede do emissor), via corte com bisturi, em seguida os labirintos foram fotografados por meio de um microscópio Mitutoyo TM equipado com uma câmera digital de alta resolução (1080/2M).

5.3. Resultados e Discussão

5.3.1. Características da água de ensaio

Assim como Pereira (2019), foram realizadas aferições da temperatura da água e por não ter sido realizado o controle da temperatura oscilações foram observadas. Em alguns dias durante o ensaio notava-se diferenças de temperatura de até 12 °C entre mínima e máxima na água do ensaio e de 6 °C na área do ambiente do laboratório, em média durante janeiro a março de 2019.

Em geral no início da manhã a água apresentava temperatura entre 16-19 °C, com o decorrer do ensaio e recirculação da água no sistema está atingia temperaturas de 28-32 °C, notou-se uma redução de $\approx 2,1$ °C entre início do procedimento de leitura e final na temperatura da água (ver Figura 22). Observou-se que a temperatura começou a cair a partir do dia 37 (final de fevereiro). Valores similares de temperatura foram observados por Lavanholi (2016) e Pereira (2019), os dados de temperatura foram utilizados para fazer a correção de fluidez da água.

Figura 22 Variação de temperatura da água no início da leitura (máxima) e no final das leituras (mínima).

Observou-se que a condutividade elétrica (CE) no decorrer do ensaio oscilou entre 48 e 409 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (Figura 23), durante os 20 primeiros dias de ensaio a evaporação da água foi menor, por essa razão nota-se o aumento gradativo da CE, nos dias seguintes havia necessidade da reposição de grandes quantidades de água destilada no reservatório (entre 10 a 50L), por essa razão a oscilação da CE. Enquanto a CE for menor que 400 $\mu\text{S cm}^{-1}$ a ocorrência de interação química entre partículas é menor. Pereira (2019) verificou valores máximos de 498 $\mu\text{S cm}^{-1}$ com 20 dias ensaio, a reposição de diária no reservatório pode ter contribuído para a baixa elevação da CE durante o período de ensaio.

O pH por sua vez apresentou pequena redução de valor (6,3 – 5,1), como não foi observado valores de pH abaixo de 5, nem a elevação do pH, este não foi controlado. Pereira (2019) comenta que ao manter-se o pH entre

6 e 7 não houve a presença de obstrução por origem biológica, em nossas condições de trabalho o crescimento de biofilme na água não foi observado e de mesma forma não necessitou a adição de HCl, em relação a precipitação química de partículas como não foi utilizada a fração de argila, a possibilidade de precipitação química foi descartada.

Figura 23 Variação da condutividade elétrica e pH da água durante o ensaio.

5.3.2. Obstrução dos emissores

Pereira (2019) constatou nos ensaios preliminares a presença de impurezas que causaram o entupimento de alguns emissores, após realizar algumas mudanças observou a redução do número de emissores contaminados. Neste trabalho mesmo seguindo as orientações do autor, alguns emissores do gotejador C entupiram devido a presença de contaminantes (Figura 24 A e B). Já o emissor B apresentou um emissor obstruído por fios de algodão (Figura 24 C).

Figura 24 Emissores obstruídos por contaminação de partículas plásticas (A e B) e agrupamento de fios de algodão (C). Na imagem a seta indica a direção de fluxo.

Quanto aos resultados por obstrução as Fases de ensaio 1 e 2 demonstraram não oferecer riscos aos emissores testados, independentemente da posição do pré-filtro (Figura 25 e Figura 26 [A e B]), apenas no emissor C com o pré-filtro voltado para baixo, três emissores obstruíram na Fase 1 e na Fase 2 mais um emissor obstruíram, totalizando quatro (de um total de 75 avaliados). Até mesmo considerando um emissor como obstruído apenas com 50% de vazão reduzida (Fig. 25 e 26 [inferiores]), os resultados são similares a um limite de 75%, que seria mais rígido, onde uma redução de 25% da vazão o emissor seria considerado obstruído.

Figura 25 Grau de entupimento (%) para o emissor C. Superior limite de 75%, central limite de 50%, inferior 25%.

Figura 26 Grau de entupimento (%) para o emissor B. Superior limite de 75%, centro limite de 50%, inferior limite de 25%.

Considerando a margem de 50% o emissor praticamente não “sofreu” com a adição de partículas sólidas até o início da Fase 3. Sendo a Fase 4 a que realmente os emissores apresentaram problemas de obstrução.

Para o emissor C quando o pré-filtro está na horizontal e/ou para cima, parece haver poucos problemas com obstrução de emissores, visto que durante todo o ensaio estas posições apresentaram baixo nível de redução de vazão por obstrução de emissores (Figura 27 A à E), porém quando o pré-filtro está para baixo observou-se que com o passar do tempo um número maior de emissores eram obstruídos, reduzindo a vazão em cerca de 40%.

O emissor B por sua vez não apresentou problemas com as duas fases iniciais (Figura 26), demonstrando que partículas com dimensões inferiores a 0,212 mm podem não afetar seu desempenho, contudo após o início da terceira fase (Figura 27 C) as posições diagonal e horizontal começaram a apresentar problemas com entupimento de alguns emissores reduzindo a vazão em aproximadamente 10%. Com a adição de partículas entre 0,500 a 1,000 mm

(Figura 27 D), este emissor apresentou seu pior desempenho, com reduções de vazão de 50%, 30% e 13%, para as posições horizontal, diagonal e vertical respectivamente.

Durante a última fase em que os finais de linhas foram fechados (Figura 27 E), devido há um problema em um manômetro utilizado houve uma elevação da pressão de serviço fazendo que todas as linhas operassem com o dobro da pressão de ensaio, por seis horas. Um fato um mínimo curioso ocorreu onde alguns emissores que até então estavam obstruídos voltaram a operar, o manômetro defeituoso foi substituído no início da leitura ao perceber o rápido aumento de volume coletado. Nos dias seguintes da Fase 5, única com 11 dias de leitura, no emissor C horizontal e para cima não foi observado diferenças de vazão, já com a posição para baixo notou-se um pequeno aumento de vazão, no caso do emissor B as posições diagonal e vertical apresentaram ao final do experimento uma redução média de 13% da vazão, enquanto a posição horizontal deste emissor apresentou uma redução de 30% da vazão.

Figura 27 Dados médios observados de vazão durante o ensaio: Fase 1 (0,045-0,125 mm); Fase 2 (0,125-0,250 mm); Fase 3 (0,250-0,512 mm); Fase 4 (0,512-1,000 mm); e, Fase 5 (Final de linha fechado).

Contrastando com as Figuras 25 a 26, na Figura 28 podemos observar o resumo dos dados, para o emissor C nas posições horizontal e para cima ambas as Fases apresentaram menor variabilidade da vazão, apenas a posição para baixo nesse emissor apresentou problemas mais severos de obstrução, em ambas as fases. O emissor B por sua vez na Fase 3 apresentou pequena margem de erro quando na posição horizontal para a fase, e na mudança para Fase 4 as posições diagonal e horizontal demonstraram-se com maior variabilidade.

Figura 28 Box-plot com as variações de vazão para os emissores C e B, ao longo das Fases 3 e 4.

Com base na observação dos cortes realizados em emissores obstruídos nota-se que geralmente o entupimento pode ocorrer de diferentes formas, na deposição de partículas de areia por sedimentação causando a obstrução total do emissor (Figura 28), no bloqueio de seção do labirinto por partícula de dimensão específica (Figura 29) podendo causar a obstrução total com o acúmulo de partículas, e no acúmulo de partículas na área do orifício de saída do tubogotejador, sendo este último recorrente apenas com emissor C (imagens não foram feitas, pois a areia acumulada).

Figura 29 Emissores obstruídos durante o ensaio: A – Emissor C – pbaixo (52) obstruído na Fase 2; B – Emissor B – diag (147) obstruído na Fase 3; C – Emissor B – vert (82) obstruído na Fase 3.

Figura 30 Emissores obstruídos durante o ensaio: A Emissor B – pbaixo (82) obstruído na Fase 3; B – Emissor B – (102) obstruído na Fase 3; C – Emissor B – diag (102) obstruído na Fase 3.

Alguns emissores apresentaram bloqueio de seção do labirinto por partículas de tamanho específico (Figura 29), esse mesmo tipo de bloqueio foi visto em outros emissores onde uma partícula, normalmente, cilíndrica se encaixa em determinado ponto do labirinto por sua vez reduzindo a seção.

Foi observado que alguns emissores obstruíram por partículas que seriam maiores que as esperadas para a Fase 3, na Figura 30 todas as partículas que bloquearam as seções apresentam extremidades maiores que 0,6 mm, e nesta fase eram esperadas partículas de até 0,5 mm. O formato cilíndrico pode ter possibilitado a passagem dessas partículas pelas peneiras no processo de separação de classes, assim ocasionando a obstrução.

Embora presente no montante, as partículas plásticas na Figura 29 C (material preto) e Figura 30 A (material branco), não foram a causa de entupimento, elas apenas pararam próximas as partículas de areia que bloqueavam a seção.

O emissor A com o pré-filtro voltado para baixo parece ser mais susceptível a obstrução por partículas a partir de 0,043 mm, visto que apresentou 20% de obstrução já na primeira fase, chegando a mais de 40% de emissores obstruídos na última fase. Quando o pré-filtro está voltado para cima este emissor apresenta baixo potencial ao entupimento.

Com base nos resultados obtidos para o emissor B partículas menores 0,212 mm não representam causas para obstrução, já partículas de 0,212 a 0,5 mm representaram até 16% de obstrução para este emissor na Fase 3, com a adição de partículas de 0,5 a 1,0 mm na Fase 4 a obstrução neste emissor aumentou consideravelmente, chegando a mais de 50% de emissores obstruídos na posição horizontal e 20% na posição vertical a menos prejudicada pelas partículas.

Devemos lembrar que a obstrução é causada, na maioria dos casos, por uma partícula que bloqueia uma região do labirinto e em seguida partículas menores esbarram e são impedidas de seguirem pelo labirinto, ocorrendo assim o processo de entupimento.

5.4. Conclusão

Confirmou-se a hipótese inicial do trabalho de que é preciso utilizar sistemas de filtragem mesmo com o uso de gotejadores de alta vazão na irrigação por gotejamento móvel acoplada ao sistema pivô central.

Os resultados desse trabalho demostram que a posição dos orifícios de saída de gotejadores com a respectiva posição de seus pré-filtros em emissores cilíndricos apresenta relação com a obstrução de emissores.

Tubogotejadores como emissores de tipo cilíndrico e de alta vazão ($> 4 \text{ L.h}^{-1}$) podem apresentar maiores possibilidades de obstrução a depender da relação entre a orientação de instalação do tubogotejador (orifício de saída) e a posição do pré-filtro do emissor (este último ainda não há como saber a posição exata).

Ao se comparar o ensaio realizado com similares na literatura para emissores de baixa vazão (gotejamento fixo), observa-se que os emissores utilizados na irrigação por gotejamento móvel são bem mais resistentes aos processos de obstrução por partículas sólidas, para as condições estabelecidas neste trabalho.

Referências

- AYARS, J. E. ET AL. 1. INTRODUCTION. IN: DEVELOPMENTS IN AGRICULTURAL ENGINEERING. DEVELOPMENTS IN AGRICULTURAL ENGINEERING. [S.L.] ELSEVIER, 2007. 13P. 1–26.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO. IN: MANUAL DE IRRIGAÇÃO. 8. ED. VIÇOSA: ED. UFV, 2006. p. 361–482.
- CARVALHO, L. C. C. DE. CLOGGING DYNAMICS OF DRIPLINES UNDER THE APPLICATION OF SOLUBLE IRON, SUSPENDED SOLIDS AND FITOPLANKTON UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, , 1 OUT. 2009. . DISPONÍVEL EM: <HTTP://WWW.TESES.USP.BR/TESES/DISPONIVEIS/11/11143/TDE-10112009-085341/>. ACESSO EM: 2 MAR. 2018.
- COSTA, C. C. DA; CAMPOS, C. M. M.; FARIA, M. A. DE. VULNERABILIDADE DE TUBOS GOTEJADORES AO ENTUPIMENTO POR PRECIPITADOS QUÍMICOS DE FERRO. REVISTA AGROGEOAMBIENTAL, p. 10, 2010.
- DA SILVA, K. B. ET AL. DRIP IRRIGATION WITH TREATED WASTEWATER FROM CASHEW NUT INDUSTRY UNDER \NSERVICE PRESSURES. SEMINA-CIENCIAS AGRARIAS, v. 35, n. 2, p. 695–705, 2014.
- DE KREIJ, C.; VAN DER BURG, A. M. M.; RUNIA, W. T. DRIP IRRIGATION EMITTER CLOGGING IN DUTCH GREENHOUSES AS AFFECTED BY METHANE AND ORGANIC ACIDS. AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT, v. 60, n. 2, p. 73–85, 2003.
- FRIZZONE, J. A. ET AL. DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE SISTEMAS DE MICROIRRIGAÇÃO. IN: MICROIRRIGAÇÃO: GOTEJAMENTO E MICROASPERSÃO. MARINGÁ: EDUEM, 2012. p. 356.
- LAVANHOLI, R. AVALIAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DA SENSIBILIDADE DE GOTEJADORES À OBSTRUÇÃO POR PARTÍCULAS SÓLIDAS. 2016. DISSERTAÇÃO (MESTRADO) - - ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”, 2016.
- PEREIRA, D. J. DE S. CONTRIBUIÇÃO AO PROTOCOLO DE NORMATIZAÇÃO DE ENSAIOS PARA A AVALIAÇÃO DA SENSIBILIDADE DE GOTEJADORES À OBSTRUÇÃO CAUSADA POR PARTÍCULAS SÓLIDAS. 2019. DISSERTAÇÃO (MESTRADO) - - ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”, 2019.
- RAVINA, I. ET AL. CONTROL OF EMITTER CLOGGING IN DRIP IRRIGATION WITH RECLAIMED WASTEWATER. IRRIGATION SCIENCE, v. 13, n. 3, p. 129–139, 1992.
- RAVINA, I. ET AL. CONTROL OF CLOGGING IN DRIP IRRIGATION WITH STORED TREATED MUNICIPAL SEWAGE EFFLUENT. AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT, v. 33, n. 2–3, p. 127–137, JUN. 1997. DISPONÍVEL EM: <HTTPS://LINKINGHUB.ELSEVIER.COM/RETRIEVE/PII/S0378377496012863>.
- RESENDE, R. S.; COELHO, R. D.; PIEDADE, S. M. D. S. SUSCETIBILIDADE DE GOTEJADORES AO ENTUPIMENTO DE CAUSA BIOLÓGICA. REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL, v. 4, n. 3, p. 368–375, DEZ. 2000. DISPONÍVEL EM: <HTTP://WWW.SCIELO.BR/SCIELO.PHP?SCRIPT=SCI_ARTTEXT&PID=S1415-43662000000300011&LNG=PT&NRM=ISO&TLNG=PT>. ACESSO EM: 27 OUT. 2014.
- WU, I.-P.; BARRAGAN, J.; F. BRALTS, V. MICROIRRIGATION FOR CROP PRODUCTION - DESIGN, OPERATION, AND MANAGEMENT. IN: DEVELOPMENTS IN AGRICULTURAL ENGINEERING. DEVELOPMENTS IN AGRICULTURAL ENGINEERING. [S.L.] ELSEVIER, 2007. 13P. 357–387.
- ZHOU, B. ET AL. EFFECT OF DRIP IRRIGATION FREQUENCY ON EMITTER CLOGGING USING RECLAIMED WATER. IRRIGATION SCIENCE, v. 33, n. 3, p. 221–234, 6 FEV. 2015. DISPONÍVEL EM: <HTTP://LINK.SPRINGER.COM/10.1007/S00271-015-0461-9>. ACESSO EM: 26 AGO. 2015.

APÊNDICES

APÊNDICE A. Estatísticas dos Ensaios 1 e 2 do Capítulo 4.

Estatísticas Ensaio 1

Anova: fator único - Emissor A

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Solo 1	100	732,7730886	7,327730886	0,060942196
Solo 2	100	737,2165229	7,372165229	0,043778158
Solo 3	100	736,932076	7,36932076	0,135863915

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Solos	0,123740645	2	0,061870322	0,77150085	0,463242929	3,026153369
Emissores	23,81784255	297	0,080194756			
Total	23,94158319	299				

Anova: fator único - Emissor B

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Solo 1	100	644,6351786	6,446351786	0,073956059
Solo 2	100	645,8066952	6,458066952	0,036625479
Solo 3	100	646,6833701	6,466833701	0,027116196

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Solos	0,021120327	2	0,010560164	0,23007271	0,794617298	3,026153369
Emissores	13,63207573	297	0,045899245			
Total	13,65319605	299				

Estatísticas Ensaio 2

Anova: fator único - Emissor A

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Solo 1	20	105,86556	5,293278	7,369748199
Solo 2	20	118,69476	5,934738	4,311970371
Solo 3	20	137,3950756	6,869753782	0,111864573

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Solos	25,14000889	2	12,57000445	3,197502649	0,048290831	3,15884272
Emissores	224,0780797	57	3,931194381			
Total	249,2180886	59				

Anova: fator duplo sem repetição - Emissor A

<i>RESUMO</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Emissor 1	3	20,460	6,820	0,236
Emissor 2	3	18,047	6,016	0,785
Emissor 3	3	21,391	7,130	0,125
Emissor 4	3	13,576	4,525	15,348
Emissor 5	3	13,925	4,642	15,935
Emissor 6	3	19,388	6,463	0,532
Emissor 7	3	20,076	6,692	0,009
Emissor 8	3	19,440	6,480	0,533
Emissor 9	3	12,789	4,263	12,959
Emissor 10	3	19,087	6,362	0,010
Emissor 11	3	19,796	6,599	0,011
Emissor 12	3	21,289	7,096	0,030
Emissor 13	3	7,139	2,380	16,472
Emissor 14	3	19,365	6,455	0,027
Emissor 15	3	20,302	6,767	0,151
Emissor 16	3	20,523	6,841	0,123
Emissor 17	3	21,036	7,012	0,022
Emissor 18	3	13,565	4,522	14,997
Emissor 19	3	20,083	6,694	0,105
Emissor 20	3	20,679	6,893	0,180
Solo 1	20	105,866	5,293	7,370
Solo 2	20	118,695	5,935	4,312
Solo 3	20	137,395	6,870	0,112

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Emissores	92,039	19	4,844	1,394	0,188	1,867
Solos	25,140	2	12,570	3,618	0,036	3,245
Erro	132,039	38	3,475			
Total	249,218	59				

Anova: fator único - Emissor B

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Solo 1	20	69,91836	3,495918	10,14899747
Solo 2	20	84,86693244	4,243346622	9,970117759
Solo 3	20	131,22876	6,561438	0,101118976

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Solos	102,1974004	2	51,09870018	7,581321709	0,00120373	3,158842719
Emissores	384,1844499	57	6,740078068			
Total	486,3818502	59				

Anova: fator duplo sem repetição - Emissor B

<i>RESUMO</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Emissor 1	3	19,469	6,490	0,013
Emissor 2	3	6,634	2,211	13,898
Emissor 3	3	12,896	4,299	13,476
Emissor 4	3	6,890	2,297	15,306
Emissor 5	3	12,773	4,258	13,191
Emissor 6	3	13,243	4,414	14,047
Emissor 7	3	12,983	4,328	13,751
Emissor 8	3	6,757	2,252	14,525
Emissor 9	3	12,416	4,139	12,191
Emissor 10	3	13,219	4,406	14,170
Emissor 11	3	18,168	6,056	0,202
Emissor 12	3	13,391	4,464	14,587
Emissor 13	3	19,345	6,448	0,437
Emissor 14	3	12,740	4,247	13,251
Emissor 15	3	13,193	4,398	14,136
Emissor 16	3	19,564	6,521	0,017
Emissor 17	3	19,270	6,423	0,083
Emissor 18	3	13,467	4,489	14,589
Emissor 19	3	19,912	6,637	0,029
Emissor 20	3	19,684	6,561	0,017
Solo 1	20	69,918	3,496	10,149
Solo 2	20	84,867	4,243	9,970
Solo 3	20	131,229	6,561	0,101

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Emissores	122,548	19	6,450	0,937	0,547	1,867
Solos	102,197	2	51,099	7,422	0,002	3,245
Erro	261,636	38	6,885			
Total	486,382	59				

Anova: fator duplo sem repetição - Emissor A (Vazão relativa)

<i>RESUMO</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Emissor 1	3	2,733	0,911	0,005
Emissor 2	3	2,417	0,806	0,013
Emissor 3	3	2,892	0,964	0,003
Emissor 4	3	1,837	0,612	0,280
Emissor 5	3	1,852	0,617	0,281
Emissor 6	3	2,592	0,864	0,008
Emissor 7	3	2,691	0,897	0,000
Emissor 8	3	2,618	0,873	0,007
Emissor 9	3	1,678	0,559	0,223
Emissor 10	3	2,575	0,858	0,001
Emissor 11	3	2,618	0,873	0,000
Emissor 12	3	2,874	0,958	0,000
Emissor 13	3	0,963	0,321	0,300
Emissor 14	3	2,619	0,873	0,002
Emissor 15	3	2,751	0,917	0,002
Emissor 16	3	2,792	0,931	0,002
Emissor 17	3	2,829	0,943	0,000
Emissor 18	3	1,837	0,612	0,276
Emissor 19	3	2,709	0,903	0,002
Emissor 20	3	2,743	0,914	0,003
Solo 1	20	14,190	0,710	0,133
Solo 2	20	15,972	0,799	0,078
Solo 3	20	18,459	0,923	0,002

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Emissores	1,682	19	0,089	1,425	0,173	1,867
Solos	0,460	2	0,230	3,700	0,034	3,245
Erro	2,361	38	0,062			
Total	4,503	59				

Anova: fator duplo sem repetição - Emissor B (Vazão relativa)

<i>RESUMO</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variancia</i>
Emissor 1	3	2,990	0,997	0,000
Emissor 2	3	1,018	0,339	0,327
Emissor 3	3	2,001	0,667	0,325
Emissor 4	3	1,012	0,337	0,330
Emissor 5	3	1,966	0,655	0,313
Emissor 6	3	2,005	0,668	0,322
Emissor 7	3	1,967	0,656	0,316
Emissor 8	3	1,016	0,339	0,328
Emissor 9	3	1,928	0,643	0,296
Emissor 10	3	2,009	0,670	0,327
Emissor 11	3	2,785	0,928	0,004
Emissor 12	3	2,009	0,670	0,328
Emissor 13	3	2,879	0,960	0,005
Emissor 14	3	1,965	0,655	0,316
Emissor 15	3	2,009	0,670	0,328
Emissor 16	3	3,000	1,000	0,000
Emissor 17	3	2,941	0,980	0,000
Emissor 18	3	2,012	0,671	0,325
Emissor 19	3	2,996	0,999	0,000
Emissor 20	3	3,000	1,000	0,000
Solo 1	20	10,769	0,538	0,241
Solo 2	20	13,026	0,651	0,235
Solo 3	20	19,713	0,986	0,001

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Emissores	2,850	19	0,150	0,917	0,567	1,867
Solos	2,163	2	1,082	6,615	0,003	3,245
Erro	6,214	38	0,164			
Total	11,227	59				