



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA



**MALHA EFETIVA DE FILTRAGEM DE ELEMENTOS UTILIZADOS EM FILTRO DE  
TELA AUTO-LIMPANTE PARA IRRIGAÇÃO**

Kelly Shimada

RA: 146802

Orientador: Prof. Dr. Antonio Pires de Camargo

Coorientador: MSc. Nicolás Duarte Cano

CAMPINAS  
2020

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**MALHA EFETIVA DE FILTRAGEM DE ELEMENTOS UTILIZADOS EM  
FILTRO DE TELA AUTO-LIMPANTE PARA IRRIGAÇÃO**

Relatório apresentado como parte de  
avaliação da disciplina FA984 –  
Introdução ao Trabalho de Conclusão  
de Curso – sob responsabilidade do  
Prof. Dr. Antonio Pires de Camargo e  
co-orientação do doutorando Nicolás  
Duarte Cano

Kelly Shimada RA: 146802

CAMPINAS  
2020

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura  
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

Shimada, Kelly, 1994-  
Sh62m Malha efetiva de filtragem de elementos utilizados em filtros de tela auto-limpante para irrigação / Kelly Shimada. – Campinas, SP : [s.n.], 2020.

Orientador: Antônio Pires de Camargo.  
Coorientador: Nicolás Duarte Cano.  
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Filtros e filtração. 2. Irrigação agrícola. 3. Irrigação. 4. Água - Qualidade. I. Camargo, Antônio Pires de, 1986-. II. Cano, Nicolás Duarte, 1991-. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. IV. Título.

Informações adicionais, complementares

**Título em outro idioma:** Effective filtering mesh for elements used in self-cleaning screen filters

for irrigation

**Palavras-chave em inglês:**

Filters and filtration

Agricultural irrigation

Irrigation

Water - Quality

**Titulação:** Engenharia Agrícola

**Banca examinadora:**

Antônio Pires de Camargo [Orientador]

Nicolás Duarte Cano

Ariovaldo José da Silva

**Data de entrega do trabalho definitivo:** 17-08-2020

## SUMÁRIO

|     |                                                                                                  |    |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1   | INTRODUÇÃO.....                                                                                  | 6  |
| 2   | OBJETIVO .....                                                                                   | 8  |
| 3   | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....                                                                      | 8  |
| 3.1 | Filtros .....                                                                                    | 8  |
| 3.2 | Filtros de disco e tela .....                                                                    | 9  |
| 3.3 | Filtro de Areia .....                                                                            | 9  |
| 3.4 | Filtro de Manta.....                                                                             | 10 |
| 3.5 | Malha efetiva de filtração .....                                                                 | 10 |
| 4   | MATERIAL E MÉTODOS.....                                                                          | 12 |
| 4.1 | Características do filtro e dos elementos filtrantes .....                                       | 12 |
| 4.2 | Experimentos para avaliação do desempenho do sistema de filtração, em condições controladas..... | 14 |
| 4.3 | Verificação da malha efetiva de filtração e eficiência de remoção de partículas .                | 15 |
| 5   | RESULTADOS .....                                                                                 | 18 |
| 6   | CONCLUSÕES .....                                                                                 | 21 |
| 7   | REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....                                                                 | 21 |

## RESUMO

A malha de filtração declarada por fabricantes indica o tamanho de partículas que um filtro de irrigação é capaz de reter de forma eficaz. A especificação da malha de filtração informada apresenta incertezas em função de características construtivas dos filtros. Essa pesquisa visa apresentar uma metodologia para determinar a malha efetiva de filtração, ou seja, o tamanho mínimo de partículas que de fato é retido pelo filtro em condições de operação. Foram avaliados três elementos filtrantes de tela (1: aço 120 mesh; 2: polipropileno 120 mesh; 3: polipropileno 240 mesh) os quais foram testados em laboratório com águas contendo concentrações de sólidos suspensos de aproximadamente  $100 \text{ mg L}^{-1}$ . Pelo menos quatro faixas granulométricas de areia lavada foram empregadas nas avaliações de cada elemento filtrante. Os elementos de 120 mesh apresentaram malha efetiva de filtração compatível com o valor nominal declarado pelo fabricante. Para o elemento de 240 mesh, realizaram-se sucessivos testes e verificou-se desempenho insatisfatório, sendo que a malha efetiva de filtração foi inferior ao valor nominal declarado pelo fabricante. A metodologia apresentada é simples e serve para a confrontar valores nominais de malha de filtração declarados pelo fabricante com valores reais determinados em condições operacionais controladas.

## 1 INTRODUÇÃO

A variabilidade de condições climáticas e hidrogeológicas brasileiras interferem nas características das águas empregadas nos sistemas de irrigação. A qualidade da água é um aspecto crítico quando se trabalha com irrigação localizada devido ao risco de obstruções dos emissores. A obstrução de emissores é considerada um dos maiores problemas em sistemas de irrigação localizada, prejudicando a uniformidade, eficiência e elevando custos operacionais desses sistemas.

O entupimento de emissores é diretamente relacionado com a qualidade da água usada na irrigação, e pode ser classificado em três tipos segundo sua origem: o entupimento físico produzido pelo conteúdo de material inorgânico e/ou orgânico; o entupimento químico causado devido a precipitação dos elementos químicos presentes na água; e, o entupimento biológico gerado a partir de algas e populações microbianas (Lamm et al., 2006). Evitar problemas de obstrução não tem sido uma tarefa simples, especialmente porque há interações entre os agentes causadores de obstrução.

Existem diferentes técnicas visando prevenir o entupimento, tais como a filtragem para o entupimento físico, a aeração previa da água em alguns casos de entupimento químico ou a cloração no entupimento biológico (Capra & Scicolone, 2007). A filtragem é uma técnica que remove fisicamente as impurezas da água que podem causar obstrução parcial ou total dos emissores (Ribeiro et al., 2004b) e é importante para reduzir desgastes de acessórios, diminuindo a manutenção do sistema e aumentando a vida útil dos equipamentos. O mecanismo consiste em uma passagem forçada da água através de elemento filtrante ou meio poroso onde partículas com dimensões superiores aos poros ficam retidas. Apesar de que atualmente no mercado existem uma grande variedade de tipos, cada filtro deve ser usado para diferentes situações.

A seleção, dimensionamento e manutenção de sistemas de filtragem devem ser apropriados para assegurar o controle efetivo da qualidade da água de irrigação, buscando prevenir problemas de obstrução, manter a uniformidade de aplicação e evitar aumento nos custos operacionais do sistema de irrigação (Testezlaf, 2008). A seleção e dimensionamento de filtros é função da qualidade da água, das características do filtro, das características operacionais e desempenho de filtragem requerido pela aplicação na qual o sistema de filtragem será empregado. Embora a literatura apresente informações para suporte à seleção

e dimensionamento de filtros, há divergência nos critérios e informações (Testezlaf, 2008), além da dificuldade de expressar a malha efetiva de filtração em função de características geométricas e construtivas dos elementos ou meios filtrantes.

Em condições nas quais é necessária elevada eficiência de filtração e a água apresenta concentrações elevadas de sólidos suspensos, determinados químicos, material orgânico, algas e/ou intensa atividade biológica, a obstrução dos filtros pode constituir um problema e demandar número excessivo de rotinas de limpeza (ISO, 2004). Os filtros de areia destacam-se pela capacidade de retenção de algas e outros materiais orgânicos, mas também são efetivos na retenção de sólidos em suspensão, como areias finas e partículas de silte, podendo remover quantidades significativas de sólidos suspensos com diâmetros superiores a 20  $\mu\text{m}$  (Goyal et al., 2016; Testezlaf, 2008). Contudo, a proliferação de bactérias e outros microrganismos no meio poroso de filtros de areia pode ser um problema (Pinto, 2013). Já os filtros de tela e de discos costumam ser eficientes na retenção de partículas sólidas de pequenos diâmetros, todavia, podem demandar rotinas de limpeza demasiadamente frequentes e/ou apresentar baixa eficiência de filtração quando submetidos à operação com águas contendo material orgânico e/ou algas (Adin & Elimelech, 1989; Duran-Ros, Puig-Bargués, Arbat, Barragán, & Cartagena, 2009; Pinto et al., 2016; Puig-Bargués et al., 2005; Tajrishy et al., 1994; Zeier & Hills, 1987).

Embora a literatura aponte limitações de filtros de tela para operação em águas contendo material orgânico e/ou algas, pouco se sabe sobre a eficiência de filtração e eficácia do mecanismo de auto-limpeza de sistemas de filtração auto-limpantes que utilizam elemento filtrante de tela. O sistema de filtração Iavant FA20® que utiliza a malha de filtração efetiva, objeto de estudo desta pesquisa, é equipado com um motor que rotaciona o elemento filtrante durante as operações de limpeza e, ao rotacionar o elemento, este é submetido ao atrito com escovas cuja função é desprender o material sólido acumulado na superfície exterior do elemento filtrante. Na mesma região de contato com as escovas, há cavidades através das quais a água escoar com alta velocidade, sugando os sólidos a serem removidos do elemento filtrante e eliminando-os do sistema de filtração. Além disso, há a possibilidade de escolha do tipo de elemento filtrante, que pode variar quanto às dimensões da abertura da malha de filtração e quanto ao tipo de material utilizado para a fabricação da malha. Tendo em vista o mecanismo de auto-limpeza e a possibilidade de combinar materiais

na fabricação de elementos filtrantes, é possível que as limitações descritas na literatura não se apliquem ao sistema de filtragem a ser avaliado nesta pesquisa. A constatação de adequado desempenho do sistema de filtragem auto-limpante pode contribuir para a redução de custos de investimento em sistemas de filtragem para irrigação localizada e de problemas e consequentes custos de manutenção de tais sistemas de irrigação.

## **2 OBJETIVO**

Em laboratório, estabelecer metodologia para verificar a malha efetiva de filtragem e quantificar a eficiência de remoção de partículas sólidas, a fim de identificar a granulometria mínima que dado elemento filtrante é capaz de remover eficientemente.

## **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Sistemas de microirrigação apresentam potencial de proporcionar elevada uniformidade de aplicação e eficiência no uso da água. Desempenhos insatisfatórios ocorrem no campo e podem ser atribuídos a causas como: projeto, instalação, operação e manutenção inadequados; má qualidade de componentes do sistema; problemas na qualidade da água empregada na irrigação associados a filtragem/tratamento inadequado da água.

Uma baixa qualidade da água de irrigação oferece risco de entupimento dos filtros e emissores do sistema, prejudicando o desempenho do sistema de irrigação. Problemas de obstrução de emissores nem sempre podem ser detectados com antecedência e rotinas buscando recuperação dos emissores nem sempre são eficazes, obrigando a manutenção do sistema com maior frequência e incrementando custos.

Frizzzone et al. (2012) recomendam que, como medida preventiva visando minimizar os danos e problemas de obstrução dos emissores de microirrigação, a água empregada para irrigação deve ser filtrada e eventualmente submetida a tratamentos químicos. Nakayama e Bucks (1981) afirmam que, conforme as características da água, apenas a filtragem pode não ser suficiente para prevenir o entupimento dos emissores.

### **3.1 Filtros**

Para minimizar a obstrução de emissores empregam-se técnicas como a filtragem, utilizando de filtros de tela, disco, areia e mantas. Os filtros removem contaminantes físicos

indesejados, que incluem materiais orgânicos e inorgânicos não dissolvidos em suspensão. Os filtros adequados incluem filtros de pressão (peneira, centrífuga e meio filtrantes de areia ou cascalho) e filtros de gravidade (principalmente bacias de sedimentação). Ao selecionar o tipo, tamanho e capacidade das unidades de filtração, os principais fatores a serem considerados são a qualidade inicial da água e os requisitos da aplicação (Gilbert et al., 1979).

### **3.2 Filtros de disco e tela**

Filtros de tela (*strainer-type filters*) são dispositivos contendo um ou mais elementos filtrantes caracterizados por chapas perfuradas, telas, malhas ou pela combinação desses, que são usados para reter materiais sólidos suspensos na água, com granulometria superior a especificação do elemento filtrante (ISO, 2004). Filtros de disco (*disc filters*) contêm um elemento filtrante composto por discos ranhurados sobrepostos, que formam um espaço poroso entre discos adjacentes responsável por propiciar a retenção de contaminantes (ISO, 2004). Filtros de tela e de discos costumam ser eficientes na retenção de partículas sólidas de pequenos diâmetros, todavia podem demandar rotinas de limpeza demasiadamente frequentes e/ou apresentar baixa eficiência de filtração quando submetidos à operação com águas contendo material orgânico e/ou algas (Adin & Elimelech, 1989; Duran-Ros, Puig-Bargués, Arbat, Barragán, & Cartagena, 2009; Pinto et al., 2016; Puig-Bargués et al., 2005; Tajrishy et al., 1994; Zeier & Hills, 1987).

### **3.3 Filtro de Areia**

Filtros de meio filtrante ou mais conhecido como filtros de areia, são caracterizados por camadas sobrepostas de material poroso através do qual há o escoamento da água e a consequente retenção de sólidos. Esses filtros podem ser acompanhados por outro filtro secundário para evitar que possíveis contaminantes ultrapassem o filtro de areia durante o processo de retrolavagem. O filtro possui uma placa difusora que é responsável por diminuir a energia cinética do escoamento de água produzida pelo bombeamento, transformando em energia potencial e, assim, distribuir o fluxo de água uniformemente sobre o leito filtrante e evitar a movimentação de sua camada superficial (Mesquita et al., 2012). A espessura da camada de areia influencia na eficiência da filtração até um limite superior. A espessura crítica varia de 0,4 a 0,6 m, a partir da qual o aumento da espessura da camada filtrante não

condiciona melhorias na eficiência de retenção de partículas, além de dificultar a limpeza do meio filtrante durante as retrolavagens (Pizarro Cabello, 1996). Comparando com os outros filtros, o filtro de areia é mais complexo e mais caro (Duran-Ros et al., 2009). Os filtros de areia também são mais adequados para águas com alto teor de sólidos em suspensão podendo remover partículas de até 20µm e para a remoção de contaminantes orgânicos e de algas (Capra & Scicolone, 2007).

### **3.4 Filtro de Manta**

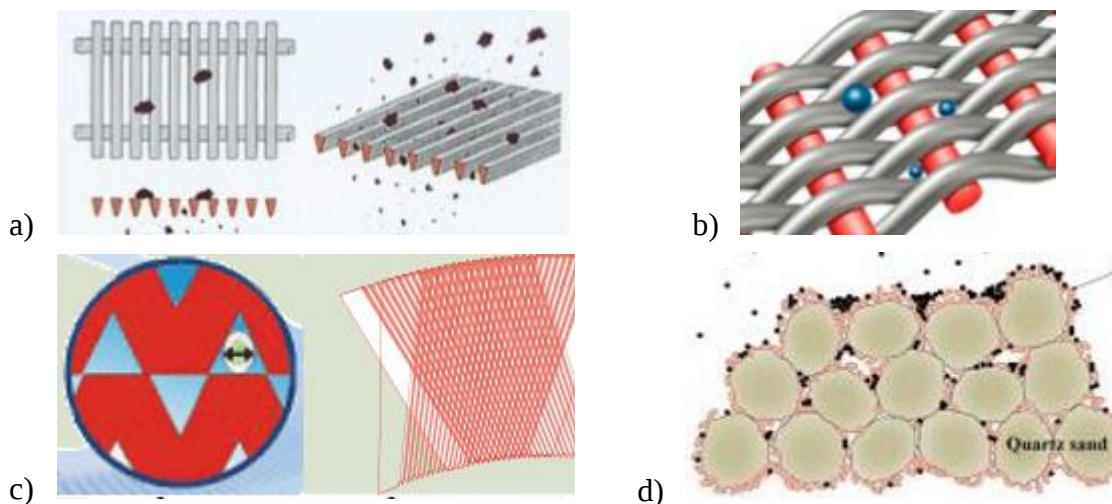
Filtros de mantas sintéticas não tecidas substituem os discos ou telas visando melhorar a eficiência da retenção das partículas e apresentam grande potencial de filtração para melhor remoção de partículas orgânicas e inorgânicas presentes na água (Ribeiro et al., 2004a). As mantas sintéticas não tecidas apresentam uma série de características que potencializam a sua utilização como meio filtrante, entre outras, a alta porosidade e condutividade hidráulica, além de apresentarem um histórico de pesquisas bem-sucedidas na filtração lenta de água (Ribeiro et al., 2004a). O filtro de manta sintética não tecida possui uma perda de carga mais acentuada que o filtro de areia e precisa de limpezas mais frequentes quando comparado com os outros tipos de filtros existentes no mercado.

### **3.5 Malha efetiva de filtração**

Diferentes tipos de contaminantes estão presentes na água de irrigação criando complicações na eficiência de remoção de partículas suspensas (Bové et al., 2017). O tamanho dos contaminantes pode variar devido a fenômenos de agregação e desagregação impossibilitando determinar um tamanho médio. A malha efetiva de filtração indica o valor mínimo de partículas que o filtro é capaz de reter, qualquer que seja o meio ou tipo de elemento filtrante. Qualquer que seja o tipo de filtro, a especificação da malha de filtração informada por fabricantes apresenta incertezas em função de características construtivas ilustradas na Figura 1. Em filtros de tela, por exemplo, a malha de filtração pode ser influenciada pelo material, elasticidade, formato e espessura do fio, distância entre fios e modo com que a malha é trançada. Não existe uma padronização nos diferentes tipos de filtros que permita conhecer com precisão o grau de retenção dos contaminantes presentes na água. A nova proposta de norma *ISO/NP TS 24258 Filters -- Determination of filtration*

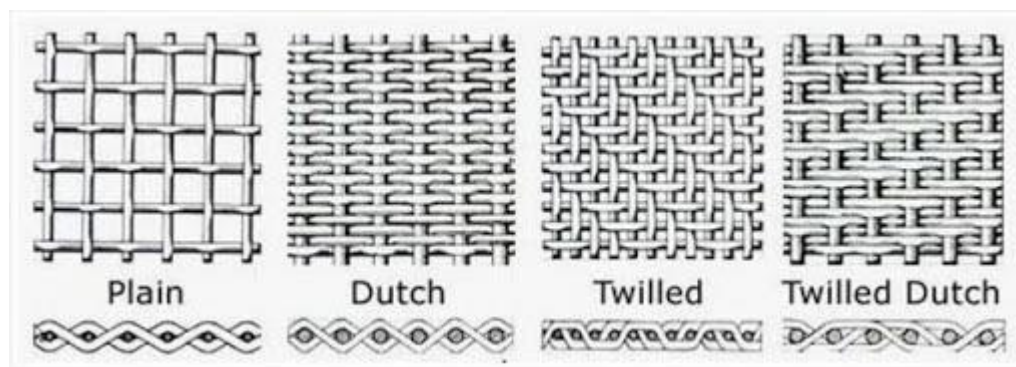
*grade* está em discussão no grupo ISO/TC 23/SC 18/WG 10 – Filters e, dentre outras coisas, discute metodologias para determinação da malha efetiva de filtração para aplicações de irrigação.

Figura 1. Geometria das aberturas em elementos e meios filtrantes: (a) malha com fios em cunha (wedge wire screens); (b) mantas tecidas (woven screens); discos ranhurados (grooved discs); meio poroso (media)



Limitando-se apenas a filtros de tela, a Figura 2 ilustra algumas das possibilidades de confecção da malha de filtração, evidenciando a dificuldade em definir uma malha efetiva de filtração para aplicações de irrigação.

Figura 2. Padrões de trança das telas utilizadas em filtros



## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

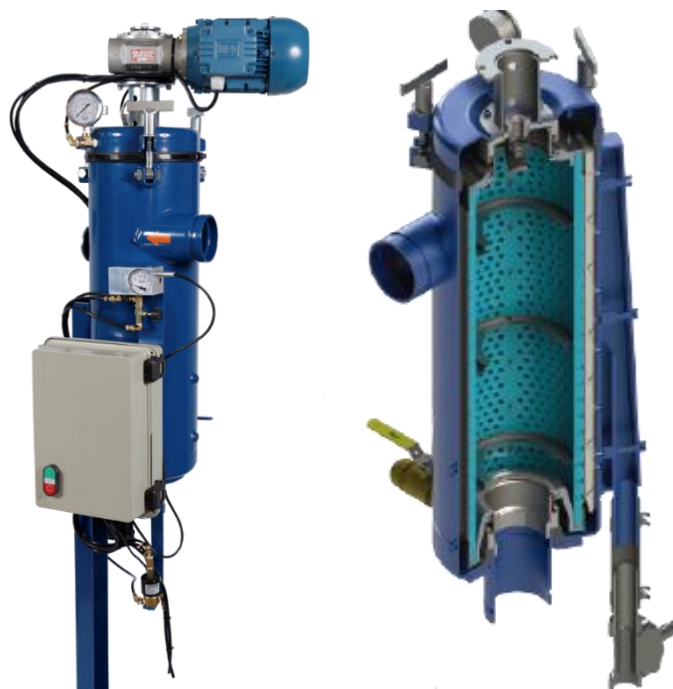
Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Hidráulica e Irrigação (LHI), Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI/UNICAMP).

### **4.1 Características do filtro e dos elementos filtrantes**

Para a condução dos experimentos foi utilizado o filtro de tela FA-20 com mecanismo de auto-limpeza fabricado pela empresa brasileira Iavant Equipamentos Industriais e Agrícolas Ltda. (Figura 3). O corpo do filtro é fabricado em aço carbono, com revestimento interno e externo aplicado por processo eletrostático. O fabricante dispõe de diversos modelos de elementos filtrantes cuja seleção é função da qualidade da água e do tipo de aplicação, porém subjetiva e imprecisa devido à falta de informações operacionais e de desempenho dos elementos filtrantes. O elemento filtrante apresenta formato similar aos elementos de filtros de tela típicos de irrigação. Sob operação normal de filtração, a água escoar da região externa em direção ao interior do elemento filtrante e, portanto, partículas gradativamente se acumulam na superfície externa do elemento.

O sistema de auto-limpeza é movido por um motor de 0,5 CV acoplado a um conjunto redutor integrado ao filtro, que atua na rotação do elemento filtrante. Ao rotacionar o elemento, este é submetido ao atrito com escovas cuja função é desprender o material sólido acumulado na superfície exterior do elemento filtrante. Na mesma região de contato com as escovas, há cavidades através das quais a água escoar com alta velocidade, sugando os sólidos a serem removidos do elemento filtrante e descarregando-os através de uma seção de descarga. O mecanismo de auto-limpeza (ou retro lavagem) é acionado sempre que a pressão diferencial no elemento filtrante atinge um valor limite, que pode ser especificado pelo usuário ajustando-se um pressostato. Opcionalmente, o intervalo entre retro lavagens pode ser baseado em tempos pré-definidos pelo usuário. Segundo o fabricante, a pressão mínima requerida na entrada do filtro para operação adequada do sistema de retrolavagem é de 350 kPa e a pressão máxima tolerada pela carcaça do filtro é de 1200 kPa. Por fim, o filtro dispõe de sistema eletrônico para configurar as especificações de auto-limpeza.

Figura 3. Filtro com mecanismo auto-limpante fabricado pela empresa Iavant



Foram conduzidos experimentos avaliando 3 modelos de elemento filtrante utilizados no filtro Iavant, cujas especificações informadas pelo fabricante são apresentadas na Tabela 1. O laboratório dispõe de uma unidade do filtro e de uma unidade de cada um dos elementos filtrantes listados na Tabela 1, sendo que tais materiais foram fornecidos pela empresa Iavant para a execução da referida pesquisa. Os valores de vazão nominal indicados na Tabela 1 representam valores típicos das aplicações em campo e serão adotados para a condução de alguns dos experimentos descritos na sequência.

Tabela 1. Especificações técnicas do fabricante sobre os elementos filtrantes

| Modelo | Especificação                                                                                | Pressão<br>mínima<br>(kPa) | Pressão<br>máxima<br>(kPa) | Vazão<br>mínima<br>(m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ) | Vazão<br>máxima<br>(m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ) |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1      | Tela de aço inox 304 tecido<br>REPS M-30 malha de filtragem<br>declarada 120 mesh ou >125 µm | 350                        | 1200                       | 10                                                   | 100                                                  |

|   |                                                                                         |     |      |    |     |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|------|----|-----|
| 2 | Tela de polipropileno malha de<br>filtragem declarada 120 mesh ou<br>>125 $\mu\text{m}$ | 350 | 1200 | 10 | 100 |
| 3 | Tela de polipropileno malha de<br>filtragem declarada 240 mesh ou<br>>58 $\mu\text{m}$  | 350 | 1200 | 10 | 50  |

---

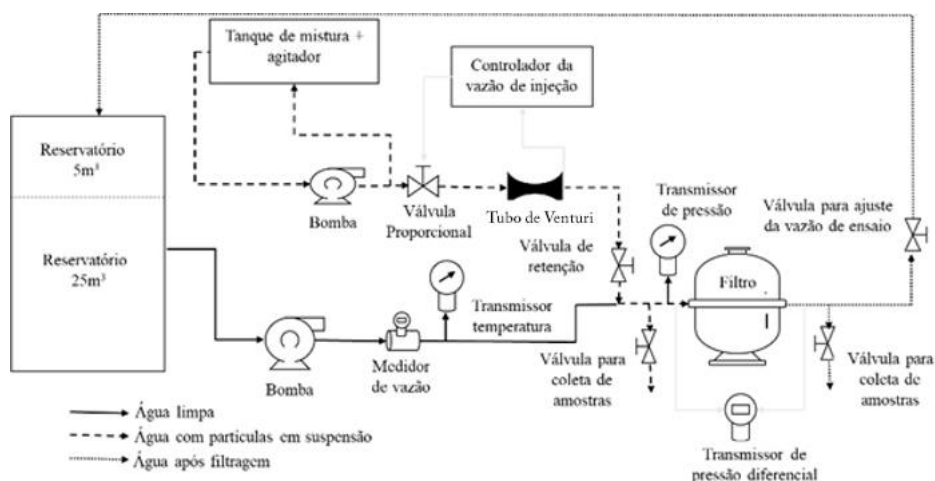
#### 4.2 Experimentos para avaliação do desempenho do sistema de filtragem, em condições controladas

Foram realizados ensaios em laboratório para quantificar a eficiência de remoção de partículas inorgânicas e para determinar a eficácia do mecanismo auto-limpante do filtro equipado com os modelos de elemento filtrante descritos na Tabela 1. Foi utilizado um elemento filtrante de 2500 mesh (retenção de partículas >5  $\mu\text{m}$ ) apenas para limpeza e recuperação da água utilizada entre os diferentes ensaios. Além disso, esses ensaios tinham como propósito gerar informações que permitam: identificar a granulometria mínima que dado elemento filtrante é capaz de reter (i.e., malha efetiva de filtragem).

Esses ensaios foram conduzidos adaptando-se requisitos estabelecidos na norma ASAE S539 (ASABE, 2017). As normas ISO 9912-2 e ISO 9912-3 especificam ensaios mecânicos, de resistência a pressão hidrostática, de estanqueidade e outros ensaios hidráulicos utilizando apenas água limpa, aplicados a avaliação de filtros de tela, porém aspectos relacionados ao desempenho de filtragem não são parte do escopo (ISO, 2013 ).

Os ensaios foram conduzidos em estrutura de ensaios ilustrada na Figura 4, sob pressão constante de 400 kPa na entrada do filtro e vazão de 40  $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ . A vazão de ensaio foi ajustada apenas no início de cada condição de ensaio por meio de uma válvula instalada a jusante do filtro sob avaliação. Ao longo do ensaio, a vazão sofreu oscilações em função do grau de obstrução do elemento filtrante e de operações de auto-limpeza. Pretendeu-se operar os ensaios num circuito hidraulicamente fechado a fim de evitar o descarte de grandes volumes de água.

Figura 4. Esquema básico da estrutura para ensaios de desempenho de filtragem



#### 4.3 Verificação da malha efetiva de filtragem e eficiência de remoção de partículas

A metodologia utilizada nesses ensaios ainda não é normatizada, mas utiliza fundamentos da norma ASAE S539 e baseou-se em discussões referente a nova proposta de norma *ISO/NP TS 24258 Filters -- Determination of filtration grade* (ISO/TC 23/SC 18/WG 10 – Filters).

Por simplicidade, o composto de partículas sólidas foi preparado peneirando areia lavada. A concentração de partículas de interesse na entrada do filtro foi de aproximadamente  $100 \text{ mg L}^{-1}$ , visto que essa concentração de partículas corresponde a uma condição de risco severo de obstrução de emissores (F.S. Nakayama & Bucks, 1991) e também é mencionada na norma ASAE S539 para avaliação de filtros de areia. A pressão na entrada do filtro foi de 400 kPa e a vazão de ensaio será de  $40 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , sendo que esses valores foram estabelecidos pelo fabricante do sistema de filtragem. Para determinar a taxa de injeção de partículas que vem do tanque agitador e que foram injetadas na linha de água limpa foi utilizada a Eq.1.

$$C_f \cdot Q_f = C_l \cdot Q_l + C_t \cdot Q_t \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

$C_f$ : Concentração de partículas desejadas na entrada do filtro

$Q_f$ : Vazão desejada na entrada do filtro

$C_l$ : Concentração da água limpa

$Q_l$ : Vazão da água limpa

$C_t$ : Concentração da solução estoque

#### *Qt*: Vazão da solução estoque

O composto de partículas sólidas foi mantido em um tanque de mistura com capacidade de 1000 L, o qual é equipado com agitador capaz de manter as partículas de areia em suspensão em concentrações de até  $15 \text{ g L}^{-1}$ . A concentração no tanque de mistura foi constante durante o período de ensaio, sendo preparada uma nova mistura toda vez que o conteúdo do tanque for esgotado. A injeção das partículas na tubulação pressurizada foi similar aos sistemas de injeção utilizados em fertirrigação e utilizou uma bomba centrífuga. Uma tubulação de retorno da bomba centrífuga para o tanque de mistura foi utilizada para manter uma vazão mínima necessária para evitar aquecimento excessivo na motobomba. A vazão injetada foi medida utilizando um tubo de Venturi equipado com transdutor de pressão diferencial. O ajuste da vazão injetada foi realizado utilizando uma válvula proporcional e um sistema automatizado para controle de vazão.

A eficiência de remoção de partículas de cada modelo de elemento filtrante foi determinada em quatro ou mais condições de ensaio, a fim de determinar valores de eficiência de remoção de partículas para faixas granulométricas específicas. Assumiu-se que eficiências de remoção de partículas acima de 85% são satisfatórias (discussões do ISO/TC 23/SC 18/WG 10 – Filters). Para cada condição de ensaio (faixa granulométrica) foi obtido um valor correspondente de eficiência de remoção de partículas. As amostras de água à montante e à jusante do sistema de filtragem foram coletadas nos primeiros minutos após o início da injeção de partículas, a fim de obter resultados que expressem o potencial do elemento filtrante, ou seja, quando o mesmo está limpo.

Foi realizada uma rotina de ensaios da seguinte forma: (1) limpeza e recuperação da água do reservatório recirculando água através do elemento de 2500 mesh; (2) preparação da mistura concentrada de areia no tanque de mistura, assegurando-se que a concentração de partículas no tanque seja conhecida; (3) pressurização do sistema e coleta de 5 amostras de água para determinação da concentração residual de sólidos totais na água utilizada nos ensaios; (4) ativar injeção de partículas, aguardar 5 min para estabilização das condições de ensaio, coletar 5 amostras à montante e 5 amostras à jusante do sistema de filtragem em intervalos regulares de aproximadamente 1 min; (5) determinações de sólidos suspensos totais conforme metodologia descrita na sequência; (6) limpeza do elemento utilizado e do tanque de mistura e preparação rotinas de ensaio seguintes.

As determinações da concentração de sólidos suspensos totais (SST) foram realizadas utilizando metodologia proposta pelo *Standard Methods for Examination Water and Wastewater* (APHA et al., 2017). Foram seguidos os seguintes passos: (1) as amostras coletadas foram refrigeradas até o momento da análise (amostras de 500 mL foram coletadas); (2) filtros de microfibras de vidro foram utilizados (47 mm de diâmetro e 1,2 µm de porosidade), utilizando água destilada os filtros foram lavados 3 vezes previamente empregando uma bomba de vácuo e uma torre de filtração; (3) os filtros foram levados na estufa a  $104\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$  por uma hora para garantir a remoção total da umidade; (4) os filtros foram colocados no dessecador para esfriar; (5) utilizando uma balança de precisão (0,1 mg), os filtros foram pesados uma vez que estiveram frios, foi anotando o peso de cada filtro; (6) após a pesagem, foi colocado um filtro na torre de filtração, aplicando vácuo e umedecido com água destilada; (7) a amostra coletada foi filtrada, após ser agitada vigorosamente; (8) depois do processo de filtração, foi lavado o recipiente onde estava a amostra e o cilindro da torre de filtração, e também é conferindo se não ficou retido algum resto de material no recipiente; (9) após a passagem do líquido pelo filtro, era aplicado 3 minutos a mais de vácuo; (10) os filtros foram levados na estufa a  $104\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$  por mais de uma hora (ou até secar); (11) os filtros foram colocados no dessecador para esfriar; (12) com uma balança de precisão (0,1 mg), os filtros foram pesados uma vez estiveram frios, anotando o peso de cada filtro.

Para determinar os SST ( $\text{g L}^{-1}$ ), foi utilizada a Eq. 2.

$$TSS = \frac{A - B}{V} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

A: Peso do filtro após filtração

B: Peso do filtro antes da filtração

V: Volume da amostra

Foram coletadas 5 amostras na entrada e 5 na saída do filtro para validar os dados de entrada e saída. Também foram coletadas 3 amostras antes da injeção de partículas, visando conhecer a concentração inicial de SST presentes na água antes de começar a rotina. Essas amostras foram chamadas de “branco”. Uma amostra adicional foi realizada com a intenção de calibrar o método, utilizou-se 500 mL de água destilada e a quantidade de SST. Na calibração a quantidade de SST deve ser menor que  $0,5\text{ mg L}^{-1}$ . Uma vez os SST de todas as

amostras foram calculados, a eficiência de remoção de partícula ( $E_f$ ) foi estimado utilizando a Eq. 3.

$$E_f = 100 \cdot \left(1 - \frac{S_o}{S_i}\right) \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

$S_o$ : SST da amostra de saída no filtro;

$S_i$ : SST da amostra de entrada no filtro

Cinco valores de  $E_f$  foram estimados e uma média foi calculada para determinar a  $E_f$  global para cada condição de ensaio.

## 5 RESULTADOS

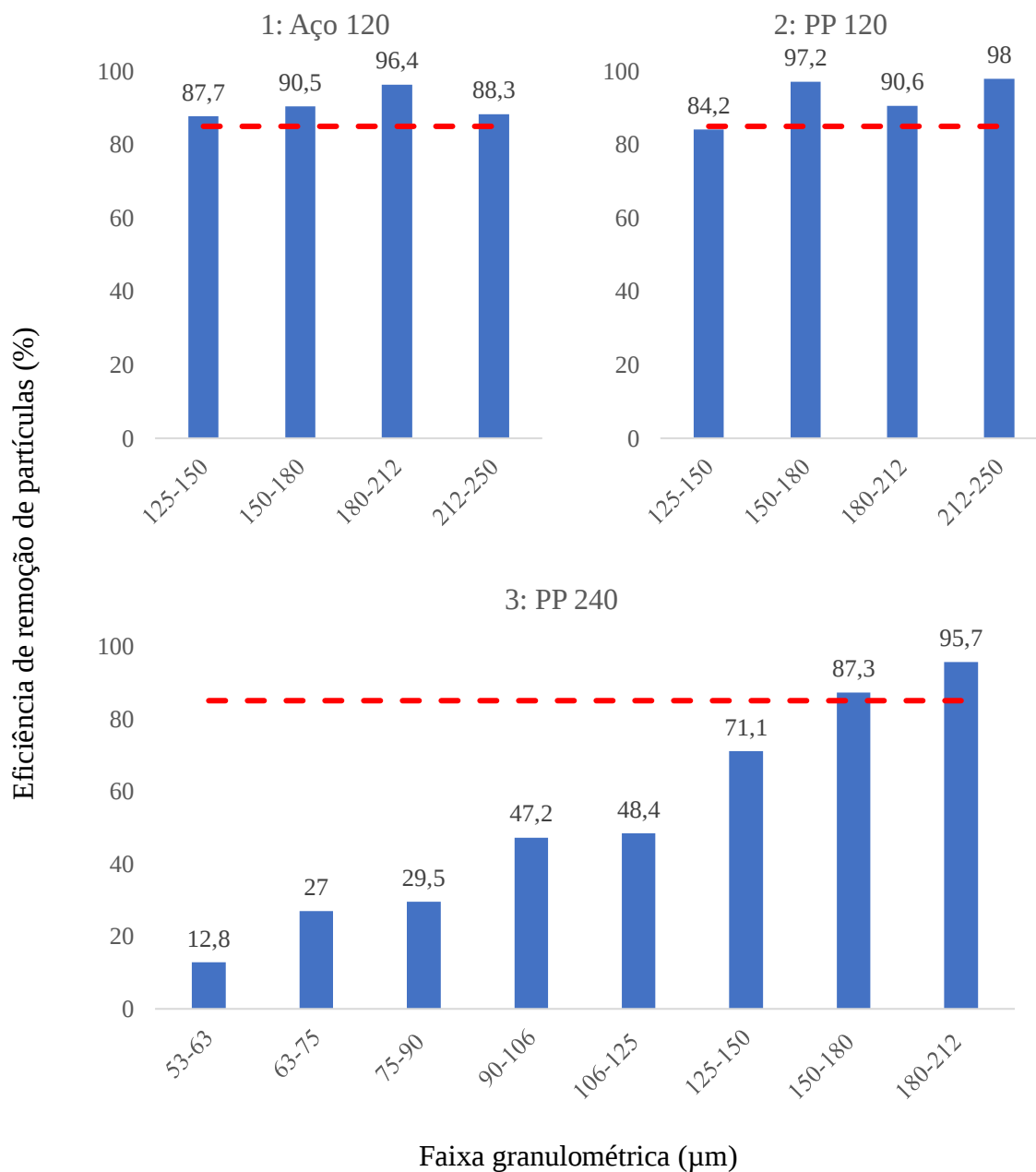
A Figura 5 apresenta os resultados de eficiência de remoção de partículas para os modelos de filtros de tela avaliados.

O modelo 1 (Aço 120 mesh) alcançou resultados de eficiência de remoção de partículas de 87,7% para partículas com granulometria superior a 125  $\mu\text{m}$ , confirmando que a malha de filtragem declarada pelo fabricante de fato corresponde a malha efetiva de filtragem do elemento filtrante.

O modelo 2 (Polipropileno 120 mesh) alcançou resultados de eficiência de remoção de partículas próximos de 85% (84,2%) para partículas com granulometria superior a 125  $\mu\text{m}$ , o que também confirma que a malha de filtragem efetiva corresponde a malha declarada pelo fabricante. O valor ligeiramente inferior a 85% pode estar associado a imperfeições na metodologia e nas condições de ensaio.

A tela de aço apresenta fios mais rígidos e o tipo da trança da tela visualmente aparenta menor porosidade do que a tela de polipropileno. Supõe-se que essas características justifiquem a capacidade de retenção um pouco melhor da tela de aço.

Figura 5. Eficiência de remoção de partículas dos elementos filtrantes avaliados



O modelo 3 (Polipropileno 240 mesh) apresentou desempenho muito abaixo do esperado, reforçando a importância desse tipo de avaliação de material de irrigação. A malha de filtragem declarada pelo fabricante deveria ser capaz de reter partículas com granulometria superior a 53 µm com eficiências da ordem de 85%. Todavia, na faixa granulométrica de 53 a 63 µm, a eficiência de remoção de partículas foi de apenas 12,8%. Evidenciou-se valores de eficiência de remoção de partículas satisfatórios (>85%) apenas para granulometrias

superiores a 150  $\mu\text{m}$ , que corresponde a filtros de 100 mesh. Portanto, nas condições avaliadas, este elemento filtrante apresentou malha efetiva de 100 mesh, muito inferior ao valor nominal de 240 mesh declarado pelo fornecedor da tela de polipropileno. Segundo o fabricante do sistema de filtragem, o fornecedor da tela utilizada na fabricação dos elementos filtrantes foi notificado.

Não foram observados danos estruturais na tela do elemento filtrante de polipropileno de 240 mesh que poderiam justificar o desempenho insatisfatório. Talvez o modo de trança da malha, a espessura e a elasticidade de fios podem favorecer deformação e excessivas aberturas da malha de filtragem, conduzindo ao desempenho abaixo do esperado.

Para avaliar a confiabilidade do método de ensaio proposto, realizou-se três repetições de ensaio com partículas de 212 a 250  $\mu\text{m}$  no elemento filtrante de aço 120 mesh (modelo 1). Os resultados de eficiência de remoção de partículas foram de 88,3%, 89,5% e 90,5%, evidenciando que o método apresenta repetitividade de resultados adequada.

Uma eficiência de remoção de partículas insatisfatória pode trazer problemas a sistemas de microirrigação, acelerando processos de obstrução e reduzindo a vida útil de emissores. Idealmente todos os sólidos suspensos na água de irrigação deveriam ser removidos pelo sistema de filtragem. Entretanto, por limitações práticas e econômicas apenas as partículas maiores são removidas, sendo que os requisitos mínimos de filtragem recomendados por fabricantes de emissores de irrigação são de 120 mesh (reter partículas maiores do que 125  $\mu\text{m}$ ). Outra recomendação existente é que o sistema de filtragem deve ser capaz de reter partículas com dimensões superiores a 1/10 da menor dimensão de escoamento do emissor (Goyal et al., 2016). De qualquer modo, a seleção, dimensionamento e manutenção de sistemas de filtragem deve ser apropriada para que o desempenho de sistemas de irrigação localizada seja mantido em valores adequados.

A malha de filtragem nominal é um número declarado pelo fabricante que representa o tamanho das aberturas da tela de filtragem e deveria servir como indicador de capacidade de retenção de partículas. Essa informação é estimada com base em características geométricas e construtivas do elemento filtrante, apresentando incerteza considerável conforme foi evidenciado no conjunto de resultados apresentados. Em elementos de tela supõe-se que a malha de filtragem seja influenciada por características do fio (material, elasticidade, forma, dimensões), tamanho das aberturas e tipo de trança.

Já a malha efetiva de filtração especifica a capacidade de retenção de partículas em condições de operação. Portanto, essa variável também deve ser afetada por características de qualidade da água e características operacionais do sistema de filtração (por exemplo, vazão e perda carga), sendo necessária a padronização de condições de ensaio para os resultados sejam comparáveis.

## 6 CONCLUSÕES

O desconhecimento das características da malha efetiva de filtração pode acarretar problemas nos sistemas de irrigação localizada. Com o presente trabalho foi apresentada uma metodologia simples e capaz de obter resultados que permitam determinar a malha efetiva de filtração, conhecendo assim o tamanho mínimo de partículas presentes na água de irrigação que o elemento filtrante será capaz de reter.

## 7 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Adin, A., & Elimelech, M. (1989). Particle Filtration for Wastewater Irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 115(3), 474–487. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1989\)115:3\(474\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1989)115:3(474))
- APHA, AWWA, & WEF. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.
- ASABE. (2017). *Media filters for irrigation - Testing and performance reporting - ASAE S539 (R2017)* (p. 13). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Bové, J., Puig-Bargués, J., Arbat, G., Duran-Ros, M., Pujol, T., Pujol, J., & Ramírez de Cartagena, F. (2017). Development of a new underdrain for improving the efficiency of microirrigation sand media filters. *Agricultural Water Management*, 179, 296–305. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.06.031>
- Capra, A., & Scicolone, B. (2007). *Recycling of poor quality urban wastewater by drip irrigation systems*. 15, 1529–1534. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.07.032>
- Duran-Ros, M., Puig-Bargués, J., Arbat, G., Barragán, J., & Cartagena, F. R. de. (2009).

- Effect of filter, emitter and location on clogging when using effluents. *Agricultural Water Management*, 96(1), 67–79. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.06.005>
- Duran-Ros, M., Puig-Bargués, J., Arbat, G., Barragán, J., & Ramírez de Cartagena, F. (2009). Performance and backwashing efficiency of disc and screen filters in microirrigation systems. *Biosystems Engineering*, 103(1), 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.01.017>
- Frizzone, J. A., Freitas, P. S., Rezende, R., & Faria, M. A. (2012). *Microirrigação, gotejamento e microaspersão* (EDUEM (ed.)).
- Gilbert, R. G., Nakayama, F. S., & Bucks, D. A. (1979). Trickle Irrigation : Prevention of Clogging. *Transactions of the ASABE*, 22(3), 514–519. <https://doi.org/10.13031/2013.35052>
- Goyal, M. R., Chavan, V. K., & Tripathi, V. K. (2016). *Principles and management of clogging in micro irrigation*. Apple Academic Press.
- ISO9912-1. (2004). *Agricultural irrigation equipment — Filters for micro-irrigation — Part 1: Terms, definitions and classification* (p. 8).
- ISO9912-2. (2013). *Agricultural irrigation equipment - Filters for microirrigation - Part 2: Strainer-type filters and disc filters* (p. 10).
- ISO9912-3. (2013). *Agricultural irrigation equipment — Filters for microirrigation — Parte 3: Automatic flushing strainer-type filters and disc filters* (p. 8).
- Lamm, F. R., Ayars, J. E., & Nakayama, F. S. (2006). *Microirrigation for crop production: design, operation and management*. Elsevier.
- Mesquita, M., Testezlaf, R., & Ramirez, J. C. S. (2012). The effect of media bed characteristics and internal auxiliary elements on sand filter head loss. *Agricultural Water Management*, 115, 178–185. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.09.003>
- Nakayama, F.S., & Bucks, D. A. (1981). Emitter Clogging Effects on Trickle Irrigation Uniformity. *Transactions of the ASAE*, 24(1), 77–80.

- Nakayama, F.S., & Bucks, D. A. (1991). Water quality in drip / trickle irrigation : A review. *Irrigation Science*, 12, 187–192.
- Nakayama, Francis S, Boman, B. J., & Pitts, D. J. (2007). *Microirrigation for Crop Production* (F.R. Lamm, J. E. Ayars, & F. S. Nakayama (eds.)). Elsevier B.V.
- Pinto, M. F. (2013). *Desenvolvimento e avaliação de um sistema de filtragem com reversão de fluxo de alta frequência*. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ/USP.
- Pinto, M. F., Alves, D. G., Saretta, E., Camargo, A. P. de, & Botrel, T. A. (2016). Development of a filtration system with high-frequency flow reversal. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(4), 295–301. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n4p295-301>
- Pizarro Cabello, F. (1996). *Riegos localizados de alta frecuencia* (3rd ed.). Ediciones Mundi-Prensa.
- Puig-Bargués, J., Arbat, G., Barragán, J., & Ramírez de Cartagena, F. (2005). Effluent particle removal in microirrigation system filters. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 3(2), 182–191.
- Ribeiro, T. A. P., Paterniani, J. E. S., Airoidi, R. P. S., & Silva, M. J. M. (2004a). Performance of non woven synthetic fabric and disc filters for fertirrigation water treatment. *Scientia Agrícola*, 61(2), 127–133.
- Ribeiro, T. A. P., Paterniani, J. E. S., Airoidi, R. P. S., & Silva, M. J. M. (2004b). Water quality and head loss in irrigation filters. *Scientia Agrícola*, 61(6), 563–572.
- Tajrishy, M. A., Hills, D. J., & Tchobanoglous, G. (1994). Pretreatment of Secondary Effluent for Drip Irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 120(4), 716–731. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1994\)120:4\(716\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1994)120:4(716))
- Testezlaf, R. (2008). Filtros de Areia Aplicados à Irrigação Localizada: Teoria e Prática. *Engenharia Agrícola*, 28(3), 604–613. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162008000300020>

Zeier, K. R., & Hills, D. J. (1987). Trickle irrigation screen filter performance as affected by sand size and concentration. *TRANSACTIONS OF THE ASAE*, 30(3), 735–739.  
<https://doi.org/10.13031/2013.30468>