



YIMGA NANA

**PERDA DE PRESSÃO DO PROCESSO DE FILTRAÇÃO
EM FILTRO DE AREIA COMERCIAL PARA
DIFERENTES MODELOS DE PLACA DIFUSORA**

LAVRAS - MG

2023

YIMGA NANA

**PERDA DE PRESSÃO DO PROCESSO DE FILTRAÇÃO EM FILTRO DE
AREIA COMERCIAL PARA DIFERENTES MODELOS DE PLACA
DIFUSORA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do
Curso de Engenharia Agrícola, para
obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Fábio Ponciano de Deus
Orientador
Lorena Júlio Gonçalves
Aluna da pós-graduação
Mádilo Lages Vieira Passos
Aluno de pós-graduação

LAVRAS - MG

2023

YIMGA NANA

**PERDA DE PRESSÃO DO PROCESSO DE FILTRAÇÃO EM FILTRO DE
AREIA COMERCIAL PARA DIFERENTES MODELOS DE PLACA
DIFUSORA**

**PRESSURE LOSS OF THE FILTRATION PROCESS IN COMMERCIAL SAND
FILTER FOR DIFFERENT DIFFUSER PLATE MODELS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do
Curso de Engenharia Agrícola, para
obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 22 de novembro de 2023.
Dr. Fábio Ponciano de Deus UFLA
Lorena Júlio Gonçalves UFLA
Mádilo Lages Vieira Passos UFLA

Prof.º Dr. Fábio Ponciano de Deus
Orientador

**LAVRAS - MG
2023**

RESUMO

Pretendeu-se, neste trabalho, avaliar influência do modelo de placa difusora no comportamento hidráulico do processo de filtração de um modelo comercial de filtro de areia utilizado na irrigação. A pesquisa foi feita no laboratório de Irrigação do Departamento de Recursos Hídricos da escola de Engenharia da Universidade Federal de Lavras. Na caracterização hidráulica do filtro de areia foram avaliados três modelos construtivos de placa difusora, placa original (plana sem bordas), plana com bordas e um modelo de difusor proposto. A perda de pressão para os diferentes difusores foi determinada para as taxas de filtração de 20, 30, 40, 50, 60, 75 e 100 m³ m⁻² h⁻¹. Foi avaliado três tipos de ajuste matemáticos (exponencial, quadrático e linear) para ver qual se adequa melhor ao experimento onde o ajuste exponencial foi mantido por ter apresentado o maior coeficiente de determinação ($R^2 \geq 93\%$), comparativamente ao linear. Os resultados mostraram que os valores de perda de pressão das três placas difusoras são estatisticamente diferentes onde a placa proposta e a com borda registraram valores semelhantes nas faixas de taxa de filtração de 20 até 50 m³ m⁻² h⁻¹. Por outro lado, a placa original apresentou os maiores valores comparativamente as demais. No mais, em termos absolutos, a o difusor proposto minimizou a perda de pressão O trabalho demonstrou que, além da placa difusora original, é possível empregar outras placas difusoras no filtro de areia, resultando em um desempenho bastante eficaz com uma redução significativa na perda de carga.

Palavras-chave: Eficiência de Filtração, Comportamento Hidráulico, Desempenho do Filtro

ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the influence of the diffuser plate model on the hydraulic behavior of the filtration process of a commercial model of sand filter used in irrigation. The research was carried out in the Irrigation laboratory of the Department of Water Resources of the Engineering school of the Federal University of Lavras. In the hydraulic characterization of the sand filter, three constructive models of diffuser plate were evaluated: original plate (flat without edges), flat with edges and a proposed diffuser model. The pressure loss for the different diffusers was determined for filtration rates of 20, 30, 40, 50, 60, 75 and 100 m³ m⁻² h⁻¹. Three types of mathematical adjustment were evaluated (exponential, quadratic and linear) to see which one best suits the experiment where the exponential adjustment was maintained as it presented the highest coefficient of determination ($R^2 \geq 93\%$), compared to the linear one. The results showed that the pressure loss values of the three diffuser plates are statistically different, where the proposed plate and the one with an edge registered similar values in the filtration rate ranges from 20 to 50 m³ m⁻²h⁻¹. On the other hand, the original plate presented the highest values compared to the others. Furthermore, in absolute terms, the proposed diffuser minimized pressure loss. The work demonstrated that, in addition to the original diffuser plate, it is possible to use other diffuser plates in the sand filter, resulting in a very effective performance with a significant reduction in pressure loss. charge.

Keywords: Filtration Efficiency, Hydraulic Behavior, Filter Performance

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Filtro de areia utilizado na irrigação localizada.....	10
Figura 2 - Ações presentes na retenção de partículas no processo de filtragem.....	12
Figura 3 - Comportamento da camada superficial da areia para diferentes placas difusoras a e b	14
Figura 4 - Linhas de fluxo geradas por duas placas difusoras diferentes.....	15
Figura 5 - Layout de instalação dos equipamentos do módulo experimental em circuito fechado.....	16
Figura 6 - Filtro Hidrosolo FA07 com as modificações (visores e aberturas laterais, placa difusora original, crepina)	17
Figura 7 - Sensor de vazão.....	18
Figura 8 - Tomada de pressão integral.....	18
Figura 9 - Transdutor de pressão.....	19
Figura 10 - Placa de aquisição de dados.....	19
Figura 11 - Placa difusora tipo plana com bordas (A), e original do equipamento (B).	
Figura 12 - Detalhe da Placa difusora tipo plana com bordas P1 (A), placa difusora proposta por MESQUITA et al. (2019) P2 (B) e da placa difusora original do equipamento P3 (C).....	20
Figura 13 - Descrição das placas difusoras.....	21
Figura 14 - Comportamento da perda de pressão dos filtros vazios (hfvazio) em função da taxa de filtração (TF) para os diferentes modelos de placa difusora)	22

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Características técnicas do sensor de vazão Signet (modelo 3-2536-P0)	18
Tabela 2 - Características técnicas do transdutor de pressão (modelo MPX 5700DP)	19
Tabela 3- Características técnicas da placa de aquisição de dados da Campbell CR10....	20
Tabela 4 - Resumo da análise de regressão dos dados de perda de carga dos filtros de areia vazios (hfvazio - kPa) em função da taxa de filtração (TF – m ³ m ² h ⁻¹)	22
Tabela 5 - Resultado do teste Tukey (P≤0.05) comparando os diferentes modelos de placa difusora para os dados de perda de carga do filtro de areia vazio (hfvazio - kPa) para cada taxa de filtração avaliada (TF – m ³ m ² h ⁻¹)	23

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1	Filtros de areia utilizados na irrigação	11
2.2	Influência da placa difusora no processo de filtração em filtros de areia ...	15
3	MATERIAIS E MÉTODOS	18
3.1	Módulo experimental e equipamentos	18
3.2	Placas difusoras avaliadas	22
3.3	Caracterização hidráulica do equipamento sem meio filtrante (filtro vazio) com água limpa	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
5	CONCLUSÃO	27
6	REFERÊNCIAS	29

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial, pressiona o setor agrícola para atender a demanda alimentícia. Nessa direção, os agricultores deverão investir em equipamentos e tecnologias que garantam bom rendimento operacional e qualidade do produto final. A técnica de irrigação é considerada uma das estratégias tecnológicas preponderante nesse processo.

Segundo Frizzone (2018) A micro irrigação apresenta grande potencial para redução dos custos de energia utilizada no bombeamento, uma vez que as pressões de operação e vazões bombeadas são menores frente aos demais sistemas pressurizados. A conservação de energia na micro irrigação é uma consequência, principalmente, da pequena vazão de água bombeada.

Para assegurar a qualidade da água necessária para irrigação localizada e minimizar problemas de obstrução nos emissores, é fundamental realizar o tratamento da água antes da aplicação. Entre os diversos métodos de tratamento disponíveis, a filtração se destaca como uma opção apropriada para remover partículas sólidas em suspensão, tanto orgânicas como inorgânicas. Isso desempenha um papel essencial no êxito da aplicação dessa técnica (TESTEZLAF, 2008). Dentre as alternativas de equipamentos disponíveis, o filtro de areia se sobressai devido ao seu excelente desempenho na retenção de partículas orgânicas e algas. Isso ocorre porque essas partículas aderem à camada filtrante ao longo de sua altura, o que prolonga o tempo disponível para o processo de filtração. Isso é especialmente eficaz quando a limpeza da camada (retrolavagem) é realizada de maneira adequada (TESTEZLAF, 2008; CAPRA & SCICOLONE, 2007; DURAN-ROS et al., 2009).

No interior dos filtros de areia, os acessórios de maior relevância são a placa difusora e os drenos. A placa difusora desempenha um papel crucial ao influenciar o fluxo que atinge o leito de areia, enquanto os drenos são responsáveis por criar condições ideais

para a limpeza da camada filtrante e para o direcionamento do líquido tratado sem carregar consigo impurezas ou material de filtração em direção ao sistema de irrigação.

Especificamente sobre a placa difusora, Burt (1994) e Mesquita (2010) observaram o impacto desse componente no direcionamento das correntes de fluxo do afluente dentro do filtro. Essa estrutura influencia no padrão das linhas de fluxo, causando revolvimento da superfície da camada filtrante, podendo alterar o comportamento hidráulico e a eficiência de remoção do equipamento.

Objetivos

Geral

Nesse sentido, o presente trabalho objetivou avaliar a influência de três modelos de placa difusora no comportamento hidráulico do processo de filtração de um modelo comercial de filtro de areia utilizado na irrigação.

Específicos

- Adaptar a placa difusora proposta por Mesquita et al. (2019) de acordo com as dimensões de um filtro de areia comercial da Hidrosolo modelo FA07;
- Comparar três modelos de placa difusora, a original de fabricação (placa lisa), difusor plano com bordas e o modelo projetado por Mesquita et al. (2019) após as adaptações;
- Avaliar o comportamento hidráulico do filtro de areia vazio, em cinco taxas de filtração diferentes, especificamente 20, 30, 40, 50, 60, 75 e 100 $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Filtros de areia utilizados na irrigação

Como as águas superficiais brasileiras contêm muitas impurezas, como matéria orgânica e inorgânica, deve ser necessário um tratamento físico destas para sua utilização em sistemas de irrigação por métodos localizados (TESTEZLAF et al., 2014), uma vez que a principal limitação desses sistemas é o entupimento dos emissores, o que pode afetar sua aplicação, tornando-os onerosos tanto em termos de manutenção quanto de troca de equipamentos (TESTEZLAF, 2008).

O sistema de irrigação por gotejamento é repleto de diversos equipamentos dedicados ao tratamento da água, tais como os filtros de areia, filtros de tela e de discos (BERNARDO et al., 2006). Testezlaf (2006) destaca que cada tipo de filtro apresenta faixas específicas de remoção. De maneira geral, os filtros de tela e discos demonstram eficácia ao reter partículas com diâmetro superior a 75 μm . Por outro lado, os filtros de areia, devido à sua ampla faixa de remoção, conseguem reter partículas maiores que 12,5 μm . Isso se deve à capacidade desses filtros de coletar contaminantes ao longo da trajetória na camada de areia, permitindo acumular grandes quantidades antes da necessidade de limpeza. Além da ampla faixa de remoção, os filtros de areia apresentam vantagem na remoção de substâncias orgânicas e algas (HAMAN et al., 1994; KELLER e BLIESNER, 1990).

Testezlaf et al. (2014) definem filtros de areia como sendo tanques cilíndricos metálicos feitos de aço-carbono, com acabamento externo em resina de poliéster para proteção contra raios ultravioleta, e acabamento interno em pintura epóxi para resistir à corrosão (TESTEZLAF et al., 2014). São também chamados de filtros pressurizados, por serem submetidos a pressões maiores que 300 kPa e de filtros rápidos por trabalharem com maiores vazões em comparação aos filtros de areia utilizados em estações de tratamento de água denominados de filtros lentos.

A Figura 1 exibe as diferentes partes de um filtro de areia, como: (1) abertura superior para tubulação, (2) placa difusora, (3) leito ou camada filtrante, (4) abertura inferior para saída de água, (5) sistema de drenagem, (6) abertura para verificação e esvaziamento do filtro de areia, (7) abertura para enchimento do equipamento.

Figura 1 - Filtro de areia utilizado na irrigação localizada.



Fonte: Testezlaf et al. (2014).

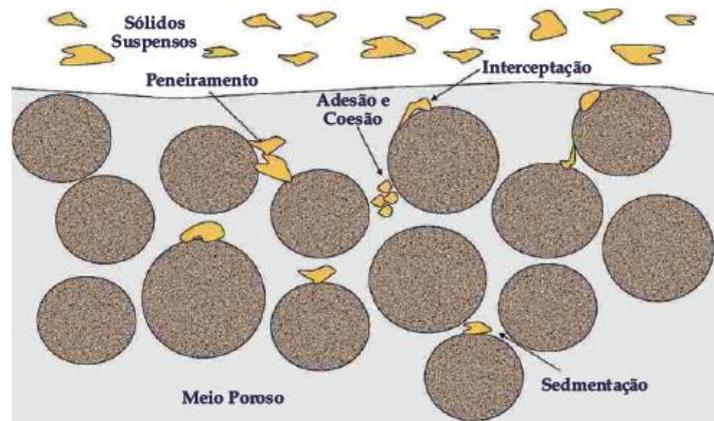
Os filtros de areia possuem duas formas de operação, as quais são complementares e distintas. A primeira, denominada filtração, é a operação em filtros de areia onde a água atinge a placa difusora e então escoar sobre a superfície da camada filtrante, possibilitando a retenção de partículas em suspensão na água de irrigação (TESTEZLAF et al., 2014). Adicionalmente, a retrolavagem trata-se de outra operação, que visa conduzir a água filtrada proveniente de um ou mais filtros do conjunto de filtragem, em sentido ascendente (contrário ao processo de filtração), com velocidade suficiente para proporcionar um determinado nível de expansão e revolvimento do leito filtrante, e conseqüentemente a sua limpeza com a retirada das partículas retidas nessa camada, retornando às condições iniciais de perda de pressão e de eficiência de remoção da camada limpa (ASABE, 1994; HAMAN et al., 1994).

Operação de filtração

Segundo Pizarro Cabello (1996), a filtração da água por meios porosos segue as seguintes etapas (Figura 2). No início, as partículas maiores que os poros do meio filtrante são retidas na superfície da camada filtrante, com fenômeno denominado por

“peneiramento ou coamento”. Posteriormente ocorre a “sedimentação”, onde as partículas que não foram removidas na superfície são retidas no interior da camada devido à redução de sua velocidade. Por último, ainda existem partículas que não foram eliminadas por esses dois primeiros processos, que são removidas devido a presença de forças elétricas entre o material filtrante e os contaminantes ('adesão e/ou coesão').

Figura 2 - Ações presentes na retenção de partículas no processo de filtragem.



Fonte: Testezlaf et al.(2014).

Di Bernardo e Dantas (2005) descrevem o processo de filtração em três etapas, designadas por transporte, aderência e desprendimento. O transporte refere-se ao deslocamento das partículas em suspensão na água ao leito filtrante. Na etapa de aderência, as partículas ficam retidas no meio poroso por sedimentação e coesão e/ou adesão, levando ao preenchimento dos poros e conseqüentemente da velocidade intersticial. A etapa do desprendimento de partículas refere-se ao deslocamento das partículas aderidas ao meio filtrante para a saída do equipamento, encaminhando ao sistema de irrigação (DI BERNARDO; DANTAS, 2005). Nos resultados de Mesquita et al. (2019) os autores relataram a ocorrência do processo de desprendimento de partículas quando obtiveram valores negativos de eficiência de remoção.

Os sólidos retidos e depositados no meio filtrante diminuem superfície útil para o deslocamento da água causando o aumento da velocidade intersticial, razão pela qual há aumento da perda de pressão no equipamento com o decorrer do tempo (DI BERNARDO; DANTAS, 2005; MESQUITA et al., 2019). Segundo DI BERNARDO; DANTAS, 2005; MESQUITA et al., 2019, esse aumento é reforçado com o aumento da taxa de filtração e com a diminuição da granulometria da areia.

Com relação à taxa de filtração, existem muitas sugestões para filtros de areia. Lawrence (2008) preconiza a faixa de 35 a 60 $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$ recomenda-se o uso de valores mais elevados quando a concentração de contaminantes na água é inferior a 10 ppm de material em suspensão, enquanto valores mais baixos devem ser aplicados quando a água apresenta uma concentração igual ou superior a 100 ppm de material em suspensão, isso quer dizer que taxas mais altas podem ser mais eficazes na remoção de partículas finas em águas com baixa concentração de contaminantes. Em contrapartida, taxas mais baixas podem ser apropriadas quando a água contém uma concentração mais alta de contaminantes, para garantir uma filtração mais completa e eficaz. Philips (1995) inferiu que as taxas de filtração devem estar entre 36 e 61,2 $\text{m}^3 \text{h}^{-1} \text{m}^{-2}$, corroborando com Lawrence (2008). Para Mesquita (2010), do ponto de vista do melhor rendimento energético, os filtros de areia devem operar na faixa entre 20 e 60 $\text{m}^3 \text{h}^{-1} \text{m}^{-2}$.

De acordo com Mesquita (2010), a eficácia da filtração é fortemente influenciada pelo processo de retenção de impurezas, que ocorre através da ação combinada da superfície e da profundidade do leito filtrante. Nesse contexto, a determinação da espessura da camada de areia emerge como um elemento crucial para o êxito do processo de filtração. Pizarro Cabelo (1996) sugere camadas de areia com espessura entre 0,4 m e 0,6 m. O autor argumenta que a espessura do leito filtrante exerce impacto na qualidade do efluente até atingir um valor crítico, a partir do qual camadas mais espessas não resultariam em melhoria na qualidade da água; ao contrário, prolongariam o tempo de contaminação total, demandando limpezas mais frequentes devido ao aumento da perda de carga causada pela maior profundidade da camada. Vermeiren e Jobling (1984) propõem o uso de camadas de 0,5 a 1 m. A recomendação de Deus et al. (2016) é de utilizar uma altura de leito filtrante que proporcione no mínimo um espaço livre de 25% da altura da camada filtrante, possibilitando a expansão da camada durante a retrolavagem.

Para Haman et al. (1994), a eficiência de filtração dos filtros de areia está relacionada à sua capacidade de eliminar partículas de um tamanho específico, e essa eficiência aumenta à medida que a granulometria do elemento é reduzida. Granulometrias grosseiras podem resultar em uma filtração ineficaz, levando ao entupimento dos emissores. Por outro lado, areias muito finas têm o potencial de obstruir rapidamente os poros do filtro, exigindo retrolavagens frequentes. No entanto, não existe uma norma sobre o uso de areia em filtros pressurizados utilizados na irrigação. Existe apenas uma

norma que estuda o uso de materiais filtrantes no tratamento de água destinada ao abastecimento humano e as suas condições de recepção (NBR 11799:1990).

Na caracterização do material filtrante, tem-se utilizado a determinação do diâmetro efetivo (diâmetro da peneira permite a passagem de 10% da massa do material filtrante), bem como o coeficiente de uniformidade (Relação entre diâmetro efetivo e abertura da peneira que permite a passagem de 60% do material filtrante). Pizarro Cabello (1996) recomenda o uso de materiais filtrantes em filtros de areia com coeficiente de uniformidade entre 1,4 e 1,6. Haman et al. (1994) consideram 1,5 suficiente para fins de irrigação.

2.2 Influência da placa difusora no processo de filtração

De acordo com Mesquita (2010), a placa difusora é um dispositivo metálico localizado na extremidade superior do filtro, e instalado na parte inferior do tubo de entrada de água, tendo a função de distribuir o afluente uniformemente na superfície da camada filtrante.

Mesquita (2010) constatou que a fabricação de placas difusoras por empresas nacionais não se baseia em nenhum critério específico de desenvolvimento tecnológico para este elemento, sendo as configurações utilizadas seguindo modelos de filtros internacionais e as dimensões feitas a partir de material reaproveitado. A falta de critério no dimensionamento provoca movimentações das partículas filtrantes na superfície do leito poroso, que afetam a eficiência hidráulica dos filtros de areia. de Deus et al. (2013) também levantaram a hipótese de que há influência significativa do modelo de placa difusora na eficiência de remoção do equipamento em decorrência da má distribuição da linhas de fluxo e conseqüentemente dos contaminantes. Na Figura 3 é apresentado o revolvimento da areia da superfície da camada filtrante encontrado por de Deus et al. (2013).

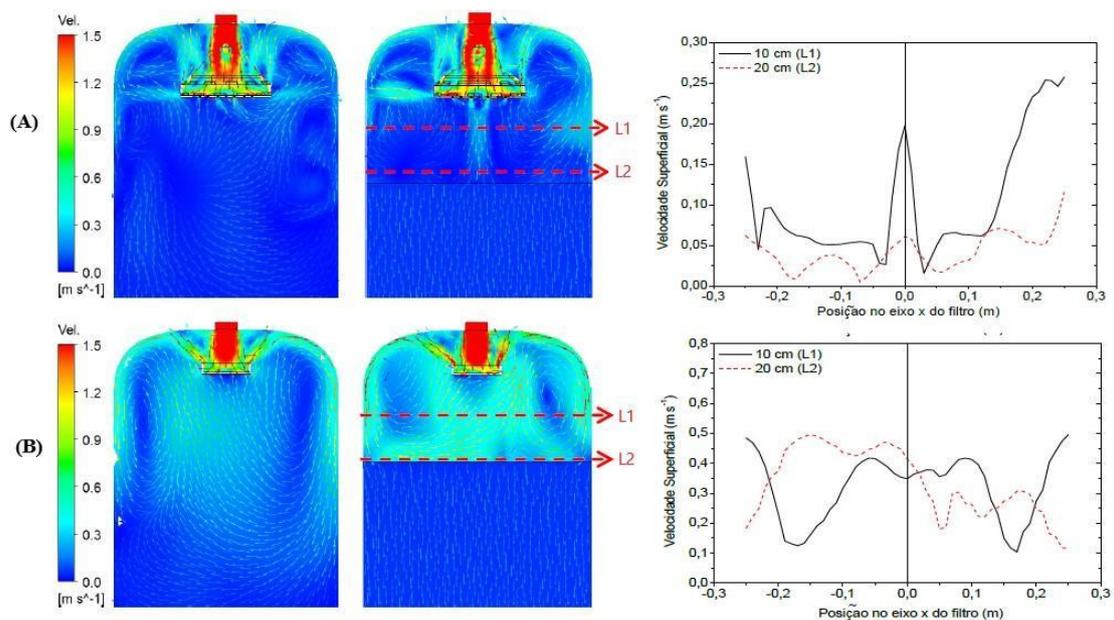
Figura 3 - Comportamento da camada superficial da areia para diferentes placas difusoras comerciais.



Fonte: de Deus et al. (2013).

Mesquita et al. (2019) concluíram que o comportamento das linhas de fluxo dentro dos filtros de areia sofre uma modificação devido ao modelo da placa difusora. Nesse sentido, os autores projetaram um modelo de difusor com auxílio da dinâmica de fluidos computacional que reduzisse o revolvimento da superfície da camada de filtro, determinando menores valores de perda de pressão no processo. Na Figura 4 é apresentado o resultado das linhas de fluxo comparando o modelo adequadamente projetado com modelo comercial de placa difusora.

Figura 4 - Linhas de fluxo geradas por duas placas difusoras diferentes.



Fonte: Adaptado de Mesquita (2019).

Legenda: Placa difusora adequadamente projetada (A) e placa difusora comercial (B), onde L1 e L2 são distâncias das placas tidas como referências para aferição da velocidade do fluido, sendo respectivamente 10 cm e 20 cm.

3 MATERIAL E MÉTODOS

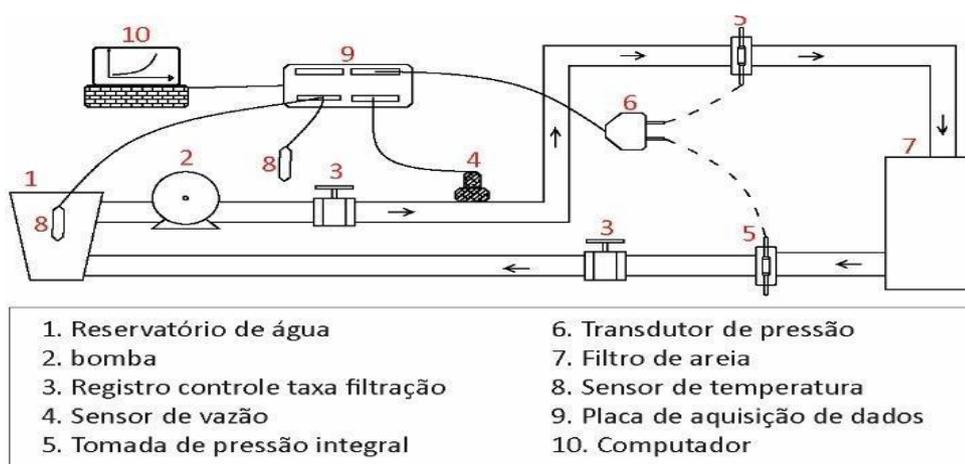
Local

A pesquisa foi conduzida no Laboratório de Irrigação da Universidade Federal de Lavras, situado na cidade de Lavras - MG. O município possui coordenadas geográficas de 21° 14' de Latitude Sul, 44° 59' de Longitude Oeste e altitude média de 919 m.

3.1 Módulo experimental e equipamentos

O módulo experimental foi instalado em circuito fechado de tubulações (Figura 5). O módulo era composto pelos seguintes equipamentos: um filtro de areia comercial da marca Hidrosolo modelo (FA07); um sensor de vazão do tipo rotor (Signet, modelo 3-2536-P0); dois registros de gaveta para controle do fluxo; um transdutor de pressão diferencial modelo MPX5700DP (Freescale Semi-conductor Brasil, Campinas, São Paulo, Brasil) conectado às duas tomadas de pressão integral instaladas antes e depois do filtro; reservatório de água proveniente da rede de abastecimento de água fornecida pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA). O sensor de vazão e as tomadas de pressão foram instalados de acordo com a norma ASABE (2008). Todos os sensores foram conectados a uma placa de aquisição de dados Campbell Scientific modelo CR10 para armazenamento dos dados, a qual estava conectado a um computador para monitoramento dos dados em tempo real.

Figura 5 - Layout de instalação dos equipamentos do módulo experimental em circuito fechado



Fonte: Alcon, G. D.; De Deus, Fábio P. ; Diotto, A. V. ; Thebaldi, M. S. ; Mesquita, M. ; Nana, Y. ; Zuleta, N. A. B, 2023

Detalhes dos equipamentos do modulo experimental:

- Filtro de areia: marca Hidrosolo, modelo FA07 (Figura 6), com altura útil e diâmetro do corpo de 0,6 e 0,4 m, respectivamente. Os drenos são denominados por “crepinas cilíndricas”; a placa difusora denominada por “plana com bordas”; pressão máxima de serviço de 686,5 kPa (70 m.c.a); e faixa de taxa de filtração recomendada pelo fabricante de 23,9 a 167,1 m³ m⁻² h⁻¹.

Figura 6 - Filtro Hidrosolo FA07 com detalhe das modificações (visores e aberturas laterais).



Fonte: Do autor(2022).

- Sensor de vazão calibrado: sensor do tipo rotor (Marca Signet, modelo 3-2536-P0) (Figura 7), sendo instalado na entrada do filtro de acordo com a norma ASABE (2008) de posicionamento nas tubulações. A Tabela 1 é apresenta as características técnicas do sensor de vazão.

Figura 7 - Sensor de vazão.



Fonte: Do autor (2023).

Tabela 1 - Características técnicas do sensor de vazão Signet (modelo 3-2536-P0).

Característica	Valor
Faixa de velocidade (m s^{-1})	0,1 - 6,0
Faixa de diâmetro da tubulação (mm)	15 - 900
Linearidade	$\pm 1\%$ a 25°C
Repetibilidade	$\pm 0,5\%$ a 25°C

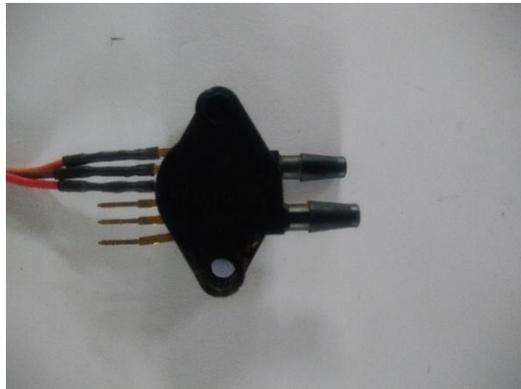
- Tomada de pressão do tipo integral e transdutores de pressão: a tomada de pressão de tipo integral (Figura 8) foi instalada antes e após o filtro de areia com posicionamento atendendo a norma ASABE (2008). Foi anexada às tomadas de pressão um transdutor de pressão (Figura 9) modelo MPX 5700DP (Freescale Semiconductor Brasil, Campinas, São Paulo, Brasil), possibilitando estimar a perda de pressão do filtro de areia. Na Tabela 2 é apresentada as características técnicas do transdutor de pressão utilizado.

Figura 8 - Tomada de pressão integral.



Fonte: Do autor (2021).

Figura 9 - Transdutor de pressão.



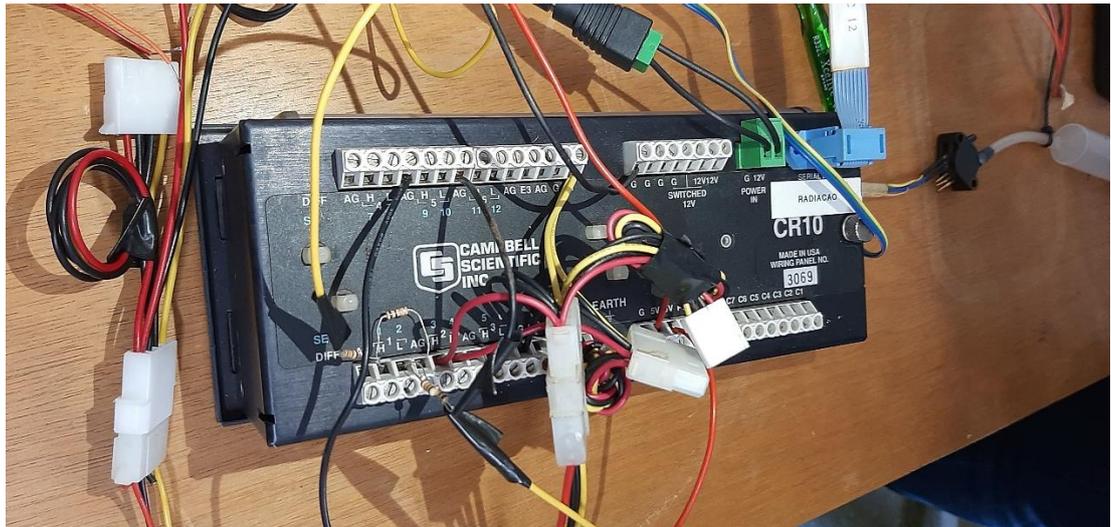
Fonte: Do autor(2021).

Tabela 2 - Características técnicas do transdutor de pressão (modelo MPX 5700DP)

Característica	Valor
Faixa de pressão	0 – 700 kpa
Acurácia	$\pm 2,5 \%$
Sensibilidade	6,4 mV/kPa
Tempo de resposta	1 ms

- Sistema de aquisição de dados: utilizou-se a placa de aquisição de dados da Campbell CR10 (Figura 10) e o auxílio de um notebook. Na Tabela 3 são apresentadas as características técnicas da placa de aquisição de dados.

Figura 10 - Placa de aquisição de dados.



Fonte: Campbells (2023) <https://www.campbellsci.com.br/cr10x>

Tabela. 3 - Características técnicas da placa de aquisição de dados da Campbell CR10.

Característica	Valor
Canais de entrada	12 terminais simples (6 diferenciais)
Saídas de excitação	3
Portas de controle de saída/entrada	8
Canais de contagem de pulso	2
Porta serial	1

3.2 Placas difusoras avaliadas

Avaliou-se três modelos de placa difusora diferentes (Figura 12): (P1) plana com bordas; (P2) placa difusora projetada; e (P3) placa original sem bordas. As placas P1 e P2 foram montadas a uma distância de 150 mm do bocal de entrada de acordo com a distância utilizada por Mesquita et al. (2019), e 80 mm para a placa difusora P3 de acordo com a montagem de fábrica.

Figura 12 - Detalhes das placas difusoras: plana com bordas (P1) (A); placa difusora proposta por MESQUITA et al. (2019) (P2) (B); e placa difusora original do equipamento (P3) em (C).



(A)



(B)

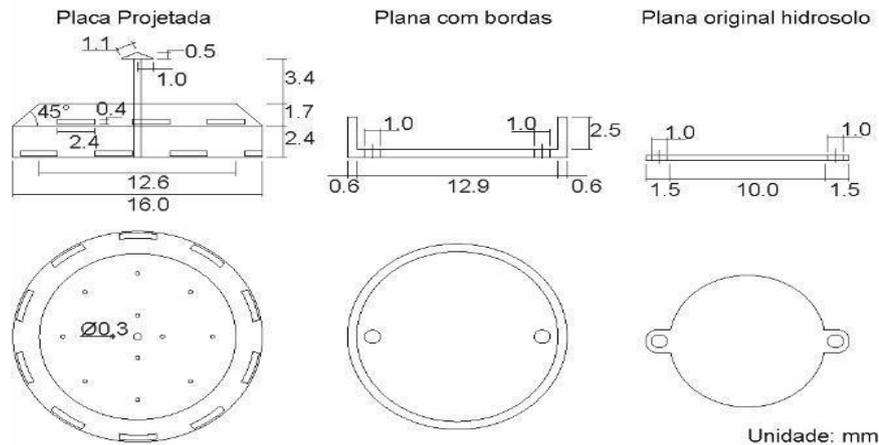


(C)

Fonte: MESQUITA et al. (2019).

O diâmetro da placa difusora plana com bordas (P1) é de 141 mm de diâmetro, com altura de borda 31 mm e o diâmetro da placa original (P3) é de 100 mm com altura de borda 0,0 mm. Os detalhes de projeto das placas difusoras são mostrados na Figura (13). A placa proposta P2 teve suas medidas definidas proporcionalmente a placa indicada por Mesquita (2014), considerando a relação entre o diâmetro do filtro da Hidro Solo (40 cm) (utilizado neste projeto) e o diâmetro do filtro utilizado por Mesquita (2014) (50 cm).

Figura 13 - Descrição das placas difusoras.



Fonte: Do autor (2020)

3.3 Caracterização hidráulica do equipamento sem meio filtrante

Para cada modelo de placa difusora foi realizada a caracterização hidráulica do filtro de areia sem meio filtrante, operando com água sem sólidos em suspensão (água de abastecimento público). A finalidade desta análise foi avaliar o impacto do tipo de placa difusora na perda de carga do equipamento.

A caracterização hidráulica foi realizada para os valores da taxa de filtração de 20, 30, 40, 50, 60, 75 e 100 m³ m⁻² h⁻¹, com três repetições. Cada combinação experimental realizou-se o registro de cinco minutos de informações. Foram no total sessenta e três tratamentos (3 placas * 7 taxas de filtrações * 3 repetições).

Para examinar a perda de pressão dos filtros de areia em função da taxa de filtração realizou-se uma análise de regressão à 5% de probabilidade com o auxílio do software Sigmaplot (versão 11.0). Com os dados de perda de pressão do filtro de areia e vazios coletados, foi feita uma análise de regressão para três modelos matemáticos (linear, exponencial e quadrático) e foi realizado também teste de comparação de médias.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A decisão de realizar a pesquisa em um filtro vazio foi intencional, visando avaliar de forma isolada o design das placas, sem a influência da presença de areia. Essa abordagem é essencial para garantir que as placas estejam adequadamente projetadas para promover uma distribuição uniforme da água e otimizar a eficácia do processo de

filtração. A análise dos dados coletados resultou nos seguintes achados: A Tabela 4 apresenta a análise de regressão dos quadrados médios, utilizando dados de pressões e vazios do filtro de areia. Esse enfoque tem como objetivo determinar qual ajuste matemático se adequa melhor ao experimento. Adicionalmente, na Tabela 5, são oferecidas comparações das perdas de carga entre diferentes modelos de placas difusoras, permitindo avaliar quais placas apresentam maior ou menor perda de pressão. Esses dados desempenham um papel crucial na compreensão abrangente do desempenho e eficiência das placas dentro do contexto do experimento.

Tabela 4. Resumo da análise de regressão dos dados de perda de pressão dos filtros de areia vazios (hf_{vazio} - kPa) em função da taxa de filtração (TF – $m^3 m^{-2} h^{-1}$) para os diferentes modelos de placa difusora¹.

Modelo matemático	Modelo de placa difusora		
	Proposta	Original	Plana com bordas
Exponencial	533.00* ($R^2=98.3\%$)	373.04* ($R^2=93.71\%$)	554.90* ($R^2=96.62\%$)
Linear	507.55* ($R^2=93.35\%$)	356.02* ($R^2=89.19\%$)	533.43* ($R^2=92.67\%$)
Quadrático	268.49 ^{ns} ($R^2=99.02\%$)	190.27 ^{ns} ($R^2=95.46\%$)	279.57 ^{ns} ($R^2=97.25\%$)

* significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} – não significativo a 5% de probabilidade.

Os modelos exponencial e linear tiveram a capacidade de descrever todos a perda de carga em função da taxa de filtração para todos os modelos de placas difusoras, conforme análise de variância ($P \leq 0.05$). O ajuste quadrático não apresentou significância estatística em nenhum dos tratamentos empregados.

A Figura 14 é possível observar o comportamento dos dados de perda de pressão em função da taxa de filtração.

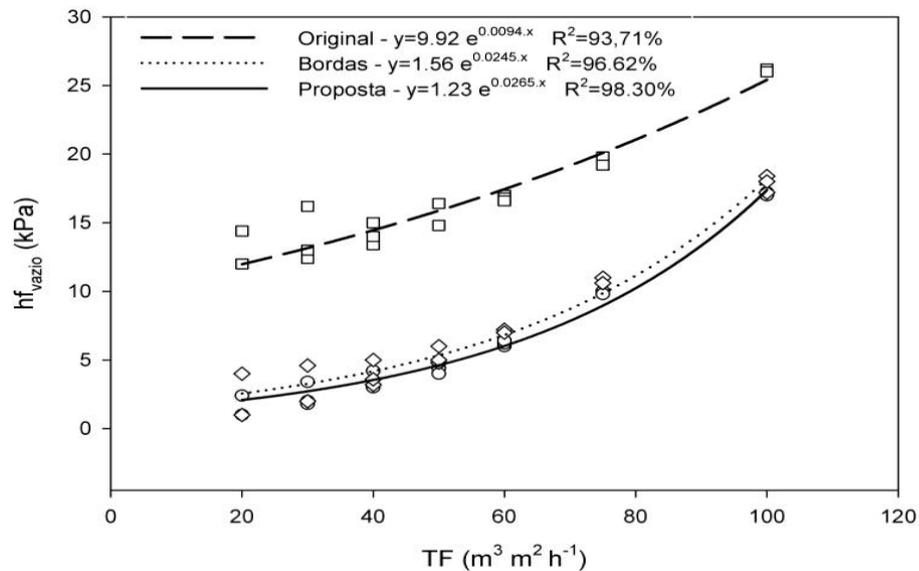


Figura 14 - Comportamento da perda de pressão dos filtros vazios (hf_{vazio}) em função da taxa de filtração (TF) para os diferentes modelos de placa difusora).

A regressão exponencial foi mantida por ter apresentado o maior coeficiente de determinação ($R^2 \geq 93\%$), comparativamente ao linear. Conforme Figura 14, notou-se que as curvas referentes às placas propostas e planas com borda apresentaram comportamento (taxa de incremento semelhante) e com proximidade de valores para todas as taxas de filtração estudadas. Ao passo que a placa difusora original apresentou crescimento mais acentuado de perda de pressão para todas as taxas de filtração avaliadas.

A influência diversa dos difusores na perda de pressão do filtro vazio também se confirmou pela análise de variância e comparação das médias, conforme é exibido na Tabela 5.

Tabela 5. Resultado do teste Tukey ($P \leq 0.05$) comparando os diferentes modelos de placa difusora para os dados de perda de carga do filtro de areia vazio (hfvazio - kPa) para cada taxa de filtração avaliada (TF – $m^3m^2h^{-1}$)

Modelo de placa	Taxa de filtração ($m^3m^2h^{-1}$)						
	TF20	TF30	TF40	TF50	TF60	TF75	TF100
Placa original	12.80±1.39a	13.87±2.04a	14.13±0.81a	15.33±0.92a	16.80±0.20a	19.53±0.31a	26.07±0.11a
Placa proposta	1.47±0.81b	2.4±0.87b	3.40±0.69b	4.40±0.40b	6.20±0.20c	9.87±0.11c	17.07±0.11b
Placa plana com bordas	2.00±1.73b	2.87±1.5b	3.93±0.94b	5.27±0.64b	7.07±0.40b	10.73±0.23b	17.87±0.61b

^aletras minúsculas diferentes nas colunas diferem significativamente ($P \leq 0.05$) com a mudança do tipo de placa difusora.

Constatou-se que para todas as taxas de filtração a placa difusora "original" apresentou valores de perda de pressão consideravelmente ($P \leq 0.05$) maiores no caso do filtro vazio. Por outro lado, as placas com borda e proposta atingiram valores médios de perda de pressão estatisticamente análogos ($P > 0.05$) para os tratamentos TF20 a TF50 e para a maior taxa (TF100). Assim, o difusor P1 representou incremento significativo de perda de pressão somente nas taxas de TF60 e TF75, comparativamente ao proposto.

Foi observado que, para as taxas de filtração (TF20, TF30, TF40, TF50 e TF100), as placas difusoras originais, propostas e planas com bordas apresentaram estatisticamente os mesmos valores. No entanto, esse padrão difere para as taxas de filtração TF60 e TF75, onde foram observadas diferenças significativas entre as placas.

5 CONCLUSÃO

A perda de pressão do filtro vazio foi influenciada pelos difusores e taxa de filtração.

Os modelos de regressão exponencial e linear foram adequados para descrever os diferentes tipos de placas difusoras, sendo o modelo exponencial de maior precisão experimental ($R^2 \geq 93\%$).

A placa difusora original apresentou maior perda de carga com o aumento da taxa de filtração e as demais apresentaram menor perda de carga.

O experimento provou que além da placa original de filtro de areia, outras placas podem ser utilizadas proporcionando um bom desempenho.

6 REFERÊNCIAS

ALCON, G. D.; DE DEUS, FÁBIO P.; DIOTTO, A. V.; THEBALDI, M. S.; MESQUITA, M.; NANA, Y.; ZULETA, N. A. B.. Influence of the diffuser plate construction design on the filtration hydraulic behaviour in a pressurized sand filter. *BIOSYSTEMS ENGINEERING* , v. 233, p. 114-124, 2023.

DEUS, F. P.; TESTEZLAF, R.; MESQUITA, M. Efeito das dimensões da placa difusora no comportamento hidráulico de um modelo comercial de filtro de areia. **Engenharia Agrícola**, v.33, p.560-568, 2013.

DEUS, Fábio Ponciano de. **Eficiência de remoção nos processos de filtração e retrolavagem em filtros de areia pressurizados**. 2014, 178 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP.

FÁBIO PONCIANO DE DEUS. Eficiência de remoção nos processos de Filtração e retrolavagem em filtros de areia pressurizados. 2014. 178p. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas – Campinas, SP: [s.n.], 2014.

MARCIO MESQUITA¹, ROBERTO TESTEZLAF², JUAN C. SALCEDO³, DOUGLAS R. BIZARI⁴. **Contribuição da estrutura interna na perda de carga de filtros de areia utilizados na irrigação**. *Eng. Agríc.*, Jaboticabal, v.32, n.1, p.121-130, jan./fev. 2012.

Mesquita, Marcio. **Avaliação dos componentes hidráulicos e do material filtrante em filtros de areia utilizados na irrigação**. 2010. 120p. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2010.

MESQUITA, Marcio. Desenvolvimento tecnológico de um filtro de areia para irrigação localizada. 2014. 169 p. Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, –Campinas, SP.

TESTEZLAF, R. **Filtros de areia aplicados à irrigação localizada: teoria e prática**. *Revista Engenharia Agrícola*, v.28, n.3, p.604-613, 2008.

TESTEZLAF, R.; DEUS, F. P.; MESQUITA, M. Filtros de areia na irrigação localizada. Campinas (SP): Unicamp, 2014. 66 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS. Biblioteca Universitária. Manual de normalização e estrutura de trabalhos acadêmicos: TCCs, monografias, dissertações e teses. 3. ed. rev., atual. e ampl. Lavras, 2020. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/11017>. Acesso em: data de acesso.