



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL



DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE FILTRO PARA IRRIGAÇÃO UTILIZANDO RESÍDUOS AGRÍCOLAS COMO ELEMENTO FILTRANTE

Aluno: Renato Alves Cavalcanti

(Tecnólogo em Irrigação e Drenagem)

2018

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE FILTRO PARA
IRRIGAÇÃO UTILIZANDO RESÍDUOS AGRÍCOLAS COMO
ELEMENTO FILTRANTE**

Aluno: Renato Alves Cavalcanti

(Tecnólogo em Irrigação e Drenagem)

2018

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE FILTRO PARA IRRIGAÇÃO
UTILIZANDO RESÍDUOS AGRÍCOLAS COMO ELEMENTO FILTRANTE**

Aluno: Renato Alves Cavalcanti

Orientador: Prof. Dr. José Renato Zanini

Coorientador: Prof. Dr. Antônio Carlos Barreto

**Dissertação apresentada à
Faculdade de Ciências Agrárias e
Veterinárias – Unesp, Câmpus de
Jaboticabal, como parte das exigências para
obtenção do título de Mestre em Agronomia
(Ciência do Solo)**

2018

167d

Cavalcanti, Renato Alves

Desenvolvimento de um protótipo de filtro para irrigação utilizando
resíduos agrícolas como elemento filtrante / Renato Alves Cavalcanti.

-- Jaboticabal, 2018

iv, 27 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2018

Orientador: José Renato Zanini

Banca examinadora: Antônio Carlos Barreto, Olegário Pinheiro de
Souza e José Eduardo Pitelli Turco

Bibliografia

1. Água Residuária. 2. Eficiência de Filtragem. 3. Perda de Carga.
Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.67

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

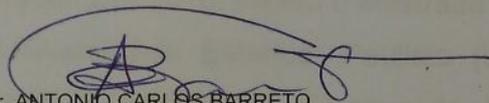
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE FILTRO PARA IRRIGAÇÃO UTILIZANDO RESÍDUOS AGRÍCOLAS COMO ELEMENTO FILTRANTE

AUTOR: RENATO ALVES CAVALCANTI

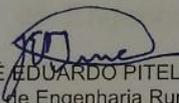
ORIENTADOR: JOSÉ RENATO ZANINI

COORIENTADOR: ANTONIO CARLOS BARRETO

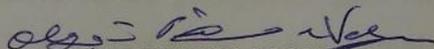
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. ANTONIO CARLOS BARRETO
Departamento de Irrigação e Drenagem / IFTM - Uberaba, MG



Prof. Dr. JOSÉ EDUARDO PITELLI TURCO
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. OLEGÁRIO PINHEIRO DE SOUZA
Hidráulica e Irrigação / Instituto Federal do Triângulo Mineiro - Uberaba/MG

Jaboticabal, 23 de fevereiro de 2018

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Renato Alves Cavalcanti – Brasileiro nascido em 22 de fevereiro de 1988, na cidade de Uberaba/MG. Filho de Ernani Cavalcanti e Rose Mary Alves Cavalcanti. Ingressou no curso Técnico Agrícola em 2003, concomitante ao o Ensino Médio, posteriormente no curso superior de Tecnologia em Irrigação e Drenagem, em 2008; ambos no Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM), Câmpus Uberaba/MG. Durante a graduação foi bolsista institucional na modalidade moradia e estagiário de pesquisa técnica pela CEMIG/SA. Tornou-se empresário individual de característica limitada em 2012, atuando com elaboração e execução de projetos de irrigação nos mais diversos segmentos até o presente momento. Em 2015, iniciou o Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo), na Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal/SP. Atua na linha de pesquisa de Engenharia de Água e Solo, sob orientação do Prof. Dr. José Renato Zanini e coorientação do Prof. Dr. Antônio Carlos Barreto, desenvolvendo pesquisas com filtros para irrigação. Durante o ano de 2017 foi contratado para projetar e executar projetos de irrigação localizada para grandes áreas de cultivo do café, no cerrado mineiro.

“Buscai, assim, em primeiro lugar, o Reino de Deus e a sua justiça, e todas essas coisas vos serão acrescentadas.”

Matheus 6:33 – Bíblia Sagrada

Dedicatória

Dedico este trabalho aos produtores rurais, projetistas de irrigação e gestores ambientais como contribuição para que possamos utilizar os recursos naturais e tecnológicos de maneira eficiente.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas infinitas bênçãos.

Aos meus familiares pelo apoio incondicional, por serem meu alicerce por toda vida.

Ao meu orientador pela confiança, pela calma, sabedoria em sanar todas as dúvidas e apoio na cidade e na instituição durante todas as etapas do curso.

Ao meu coorientador por me ajudar e ensinar a ser uma pessoa de sucesso. À confiança e parceria.

Aos meus colegas de turma que estiveram presentes durante às elaborações de trabalhos durante os almoços.

Aos meus colegas de Uberaba que também eram da mesma área e me apoiaram não medindo esforços. Fizeram companhia durante esta jornada acadêmica, foram várias refeições elaboradas pelos famosos Hygor e Lucas, realizadas na casa do Antônio Tassio.

À Instituição FCAV/UNESP pela ótima qualidade em todos os serviços prestados e infra-estrutura.

À Instituição IFTM/ Uberaba/MG, pela disponibilização do Laboratório de Hidráulica para execução do experimento.

Aos professores das disciplinas do curso de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo) pelo ótimo trabalho em transmitir o conhecimento de forma didática e eficiente.

Ao coordenador do curso, pela dedicação em fazer o curso ser cada vez melhor.

SUMÁRIO

RESUMO	iii
ABSTRACT.....	iv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DA LITERATURA	2
2.1 Parâmetros gerais.....	2
2.2 A suinocultura brasileira e estrangeira	2
2.3 Volume dos dejetos de suínos	3
2.4 Caracterização dos dejetos de suínos	3
2.5 Legislação ambiental aplicada aos dejetos de suínos	3
2.6 Tipos de filtros para irrigação.....	4
2.7 Manutenção de filtros para irrigação.....	4
2.8 Duração da retrolavagem	5
2.9 Parâmetros para projeto	6
2.10 Perda de Carga.....	7
2.11 Eficiência no processo de filtração.....	7
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	9
3.1 Área Experimental	9
3.2 Calibração da Placa de Orifício	9
3.3 Construção do filtro.....	13
3.4 Dimensionamento do filtro	15
3.5 Coletas de dados	16
3.6 Procedimentos dos dados	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
4.1 Placa de orifício	19
4.2 Vazão de projeto.....	20
4.3 Desempenho filtro com água limpa.....	20
4.4 Desempenho do filtro com água residuária de suinocultura	21
4.5 Desempenho do filtro durante a retrolavagem.....	23
4.6 Eficiência de Filtração.....	24

5.CONCLUSÃO	27
6.REFERÊNCIAS	28

DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE FILTRO PARA IRRIGAÇÃO UTILIZANDO RESÍDUOS AGRÍCOLAS COMO ELEMENTO FILTRANTE

RESUMO – O objetivo deste trabalho foi desenvolver um protótipo de filtro para irrigação com crepina artesanal, submetido a regime de água residuária de suinocultura avaliando o desempenho hidráulico juntamente com a eficiência de filtração, utilizando resíduos agrícolas (Maravalha, Casca de arroz, Crepina (sem elemento filtrante), Silagem de milho e Feno de Tifton (*Cynodon spp.*)) como elemento filtrante. A água residuária utilizada na experimentação foi coletada após a utilização do biodigestor. A hidrometria utilizando placa de orifício foi através do diferencial de pressão acusado na coluna de mercúrio tipo “U”. O processo de construção do protótipo de filtro foi a partir de meio metro tubo PVC azul, com diâmetro interno de 94,4 mm. Em uma das extremidades, foi inserido na parte interna, um cap PVC roscável de 1 polegada, com 115 furos de 1 milímetro. A esta peça, neste trabalho, foi atribuída o nome de Crepina. Pôde-se concluir nesta pesquisa, que o protótipo de filtro operou satisfatoriamente em termos estruturais e operacionais. O filtro operando sem elemento filtrante teve baixa perda de carga e eficiência de filtração de sólidos totais de 34%.

Palavras-chave: água residuária, eficiência de filtração, perda de carga, resíduos biodegradáveis

DEVELOPMENT OF A FILTER PROTOTYPE FOR IRRIGATION USING AGRICULTURAL RESIDUES AS FILTER ELEMENT

ABSTRACT – The objective of this work was to develop a filter prototype for irrigation with artisanal crepine, to submit to the swine wastewater regime and to evaluate the hydraulic performance along with filtering efficiency, using agricultural residues (Shavings, Rice husk, Crepina, Corn silage and Tifton hay (*Cynodon* spp.)) as filter element. The wastewater used in the experiment was collected after using the biodigester. The hydrometry was through the pressure differential on the orifice plate accused in the mercury column type "U". The process of constructing the prototype filter was from half a meter blue PVC tube, with internal diameter of 94.4 mm. At one end, a 1-inch threadable PVC cap with 115 1-mm holes was inserted inside. This piece, in this work, was given the name Crepina. It could be concluded in this research that the prototype filter operated satisfactorily in structural and operational terms. And that artisanal crepine had a low head loss and a total solids filtration efficiency of 34%.

Keywords: wastewater, filtration efficiency, pressure drop, biodegradable waste

1. INTRODUÇÃO

Na agricultura irrigada, a qualidade da água é um fator que não pode ser deixado de lado durante o dimensionamento e operação de um sistema de irrigação. Visto que os aspectos físicos, químicos e biológicos são variáveis singulares de cada local, ou seja, de cada projeto.

O uso da água contendo sedimentos em suspensão tem sido a causa de sérios problemas em sistemas de irrigação, quando se leva em consideração a vida útil e a taxa de manutenção durante a operação.

Os problemas de entupimento de emissores por fatores físicos podem ser minimizados com o emprego de sistemas de filtragem industrializados em que a remoção de sólidos se baseia no princípio de que um meio poroso pode reter impurezas de dimensões maiores do que as dos poros da camada filtrante. Os sistemas de filtragem utilizados na irrigação podem ser compostos por diferentes tipos de filtros, como tela, disco, areia ou cascalho. Sendo que há autores que recomendam a utilização de filtros de areia quando a água de irrigação apresentar concentrações elevadas de partículas orgânicas e algas.

Ao analisar o contexto da sociedade atual, com seus mecanismos industriais e recursos tecnológicos, e, até mesmo com recursos simples, verifica-se a ocorrência de resíduos agrícolas no sistema de produção das atividades agropastoris. Abordando este contexto, é de suma importância um destino adequado para tais resíduos. Sendo assim, opções apresentadas à população de como utilizar os recursos vem sendo difundidas nos meios educacionais.

Diante das problemáticas relacionadas à minimização de entupimentos de emissores de irrigação e do caráter ambiental referente ao reuso dos resíduos agrícolas, este trabalho tem como objetivo, desenvolver um protótipo de filtro para irrigação com crepina artesanal. Submeter a regime de água residuária de suinocultura e avaliar o desempenho hidráulico juntamente com a eficiência de filtragem, utilizando resíduos agrícolas (Maravalha, Casca de arroz, Crepina (sem elemento), Silagem de milho e Feno de Tifton (*Cynodon spp.*)) como elemento filtrante.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Parâmetros gerais

Durante a etapa de projeção da irrigação, se faz necessário profundo conhecimento sobre as variáveis a serem dimensionadas, visando aproximá-la de condições ideais de implantação e manejo (SALCEDO, 2010; TESTEZLAF et al., 2013 e NOBILE et al., 2012).

Testezlafet al. (2012) ressaltam que a qualidade da água deve ser uma das preocupações dos projetistas e dos agricultores na hora de dimensionar e de operar sistemas de irrigação localizada, pois a ocorrência do entupimento de emissores por processos físicos, químicos e contaminantes biológicos pode se tornar um problema grave na manutenção diária do sistema de irrigação.

Para minimização do entupimento de emissores da irrigação localizada são recomendadas diversas técnicas (Mesquita et al., 2012; ASABE, 1994). Dentre elas a sedimentação, a filtragem, o aumento da pressão de serviço e a limpeza das linhas laterais com água limpa (PUIG-BARGUES et al., 2010).

A ação mecânica de eliminação dos sólidos em suspensão, por filtração, se baseia no princípio de que um meio poroso pode reter impurezas de dimensões menores que as dos poros da camada filtrante (POVINELLI & MARTINS, 1973).

A eficiência de filtragem aumentou com o passar do tempo, ocasionada pela obstrução gradativa dos poros e pela retenção de sólidos da ARS (água residuária de suinocultura) nas colunas filtrantes (MAGALHÃES et al., 2006).

2.2 A suinocultura brasileira e estrangeira

A suinocultura tecnificada e industrial está, em sua grande maioria, nos estados da Região Sul (Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul) e em alguns pontos dos estados de São Paulo e Minas Gerais. Os cinco estados mencionados são responsáveis por 58,77% do plantel de animais do país (ANUALPEC, 2006).

O rebanho suíno brasileiro que aumentou 13,69% do ano de 2007 para 2013. O mercado interno foi responsável pelo consumo de 2.700 mil toneladas em 2013, enquanto 600 mil toneladas foram exportadas representando aumento de 10,6% em

relação ao ano anterior (ABIPECS, 2014).

2.3 Volume dos dejetos de suínos

O volume de dejetos produzidos diariamente por suíno é muito variável e está relacionado com o peso vivo, número e a categoria dos animais, bem como ao tipo de bebedouro e de sistema de higienização (DIESEL et al., 2002). Estudos realizados por Sinotti (2005) indicaram que o fator determinante para produção de dejetos de suínos foi o volume de água incorporado pela higienização das instalações, durante a permanência dos animais em cada fase do ciclo criatório.

2.4 Caracterização dos dejetos de suínos

Os dejetos de suínos contêm, geralmente, matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, sódio, magnésio, manganês, ferro, zinco, cobre e outros elementos incluídos nas dietas dos animais (DIESEL et al., 2002). Sánchez e Gonzales (2005) constataram que 75 e 25% do nitrogênio total contido nos dejetos de suínos estavam nas formas inorgânicas e orgânica, respectivamente, enquanto o nitrogênio na forma amoniacal representou aproximadamente 57% do nitrogênio total. Por essa razão, os dejetos de suínos representam uma fonte potencial de poluição, quando não-tratados ou manejados de forma inadequada.

2.5 Legislação ambiental aplicada aos dejetos de suínos

Em termos gerais, as exigências nacionais para lançamento de efluentes da suinocultura em corpos hídricos receptores segue disposto na Resolução CONAMA nº 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos hídricos e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes (CONAMA,2005).

Resume-se, a seguir, o disposto na referida norma, em termos de padrão de lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores:

- Potencial hidrogeniônico (pH): entre 5 e 9.
- Temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo hídrico receptor não deverá exceder a 3°C na zona de mistura.
- Sólidos sedimentáveis (SP): até 1 mL L⁻¹ com o teste em cone de Imhoff, durante 1 h.

- óleos e graxas (OG): até 20 mg L⁻¹ para óleos minerais e até 50 mg L⁻¹ para óleos vegetais e gorduras animais.
- Ausência de material flutuante.
- Os efluentes não poderão conferir ao corpo hídrico receptor características em desacordo com o seu enquadramento.

2.6 Tipos de filtros para irrigação

Os filtros de areia são recomendados para remoção de contaminantes orgânicos e de algas (TESTEZLAF, 2008). Os filtros de tela ou disco são eficientes na retenção de partículas sólidas de pequenos diâmetros, porém quando submetidos a águas de baixa qualidade, com grande quantidade de impurezas, como algas ou matéria orgânica, são muito suscetíveis à obstrução, necessitando de limpezas frequentes, sendo que na ocasião da obstrução, quando o elemento filtrante é a tela, é possível ocorrer seu rompimento, caso não sejam realizados procedimentos de limpeza do mesmo (PIZARRO CABELLO, 1996).

Segundo Vermeirem e Jobling (1984), geralmente nos sistemas de irrigação localizada, os filtros de tela são instalados depois dos filtros de areia e dos sistemas injetores de fertilizantes, quando for empregada a fertirrigação, com a função de reter as partículas não dissolvidas. Os filtros de tela são mais eficientes para reter partículas sólidas de diâmetros muito pequenos, como areia fina, mas entopem rapidamente quando são usados para filtrar água com matéria orgânica, algas e partículas coloidais, pois, neste último caso, a separação das impurezas consiste em um processo de retenção superficial de partículas na tela, que se contamina muito rápido.

2.7 Manutenção de filtros para irrigação

Quando os filtros estão em funcionamento, as partículas sólidas retidas no meio filtrante causam aumento na perda de carga e, por conseguinte, há necessidade de se proceder a limpeza para retirar todas as impurezas retidas, de modo a retomar sua eficiência e perda de carga original. Esta limpeza, denominada de retrolavagem, é realizada mediante a mudança na direção de fluxo a partir da tubulação de saída. Assim, tanto a tubulação de entrada deve possuir uma derivação

para eliminar a água suja, quanto o sistema deve permitir essa mudança de direção de forma manual ou automática (TESTEZLAF, 2008). O mesmo autor, mostra que no caso dos filtros de tela e/ou disco o elemento filtrante pode ser limpo diretamente pelo usuário, bastando retirá-lo do corpo do filtro, visto que estes são de pequeno porte, o que facilita este tipo de operação. Recomenda-se que os discos sejam separados para que a limpeza seja realizada com eficácia nos filtros de discos.

Nakayama (1986) afirma que não existe uma regra universal para prever com precisão o momento exato da limpeza do filtro. A maioria dos filtros são limpos manualmente, de tempo em tempo, também podem ser utilizando sistemas automáticos baseados no diferencial de pressão, ocasionada pelo entupimento da camada filtrante. A perda de carga crítica para se proceder a retrolavagem é, de modo geral, de 6mca. (BERNARDO et al., 2008; PIZARRO CABELLO, 1996; LÓPEZ et al., 1997). Já para os filtros limpos essa perda de carga normalmente varia de 1 a 3 mca. Outro critério é a redução da vazão proveniente do aumento da perda de carga, também devido ao acúmulo de partículas sólidas, sendo este o critério menos utilizado (MEDINA SAN JUAN, 2000). Já Silva, Mantovani e Ramos (2003) recomendam que a retrolavagem deve ser realizada a cada aumento de 10 a 20% da perda de carga em relação ao filtro limpo, entretanto, esse critério provavelmente proporciona maior número de retrolavagens comparado com o critério anterior, recomendado pela maioria dos autores. Keller e Bliesner (1990) e James e Shannon (1986) recomendam que limpeza deve ser realizada quando a perda de carga aumentar em 35 kPa (3,6 mca) e, Zeier e Hills (1987) recomendam perda de carga máxima de 39 kPa (4 mca).

A complexidade da definição do valor correto da vazão de retrolavagem deve-se ao fato de que ela depende do diâmetro e do modelo construtivo do filtro, do diâmetro médio efetivo e da espessura da camada de areia e da quantidade de contaminantes retidos no filtro (TESTEZLAF, 2008).

2.8 Duração da retrolavagem

As empresas recomendam uma limpeza com duração de 90 segundos para contaminantes que tenham partículas grandes como flocos de ferrugem, sementes de plantas ou folhas, e que ficam retidas predominantemente na superfície da

camada de areia. Entretanto, se os contaminantes são partículas finas, como lodo, silte ou outro material que vai ficar retido ao longo da camada de areia, a duração da retrolavagem deve ser aumentada em função da altura da camada que ficou suja, com adequação da frequência da retrolavagem para essa situação (TESTEZLAF, 2014).

Segundo TESTEZLAF (2008), a busca por informações que aprofundem os conhecimentos envolvidos nos aspectos práticos e teóricos da operação dos filtros de areia e no entendimento de como ocorrem os processos de filtração e de retrolavagem, pode contribuir no desenvolvimento de procedimentos metodológicos de projeto e no uso racional desses dispositivos. Dessa forma, a busca pela identificação dos caminhos preferenciais de fluxo que maximizem um determinado tipo de escoamento dentro do reservatório do filtro é fundamental para aperfeiçoar o funcionamento hidráulico dos filtros.

2.9 Parâmetros para projeto

As crepinas são responsáveis por direcionar o fluido já filtrado para a tubulação de saída do filtro e, portanto, devem ser dimensionadas com o intuito de proporcionar melhor escoamento da água, tanto durante a filtração, como da retrolavagem do filtro (SHAM DOL et al., 2006).

Para dimensionamento de filtros de tela, Finkel, (1982), os filtros de tela podem ser caracterizados pela relação efetiva da área, que é definida como a relação entre a área total das aberturas e a área total do filtro. Esse autor recomenda que a área de abertura das telas deve ser igual a $\frac{1}{4}$ da área de abertura dos emissores, e que a área requerida do filtro de tela pode ser calculada empiricamente, pela relação entre a área total das aberturas e a área transversal da tubulação de saída do filtro, devendo esta relação ser igual ou preferencialmente maior que 2 (dois).

Segundo PHILLIPS (1995), para que esse equipamento atinja os resultados esperados em irrigação localizada, são necessários a seleção, o dimensionamento, a instalação e o gerenciamento operacional adequados. ZIER & HILLS (1987) afirmaram que a seleção de filtros deve basear-se na busca por boa eficiência energética para a vazão de projeto e para as características de perda de carga,

viabilizando, assim, a operação adequada de sistemas de irrigação localizada. De acordo com PIZARRO CABELO (1996), o projeto de um filtro envolve a determinação das seguintes características: superfície filtrante ou diâmetro do filtro, tipo de areia ou meio poroso e espessura da camada.

2.10 Perda de Carga

A eficiência do sistema de irrigação está relacionada à qualidade dos seus componentes e ao correto dimensionamento hidráulico do sistema, principalmente no que se refere aos cálculos de perda de carga. O processo de perda de carga localizada em conexões e peças especiais é bastante complexo, envolvendo variáveis como a sua geometria e o processo de fabricação, o regime de escoamento e a presença de correntes secundárias, entre outras (CABELLO, 1996).

De acordo com Caixeta (1991), o termo perda de carga é usado como sendo parte da energia potencial de pressão e de velocidade que é transformada em outros tipos de energia dissipada no processo, tal como calor.

O desempenho hidráulico de filtros de areia é função das características físicas de seu projeto estrutural, principalmente o tipo de sistema de distribuição de efluente sobre a camada filtrante (placa difusora), e do sistema de coleta do afluente (drenos) sob o leito poroso. Esses drenos, também chamados comercialmente de crepinas, são acessórios importantes no funcionamento dos filtros, pois suas dimensões e formatos determinam a qualidade de como são realizados os processos de filtração e de retrolavagem (limpeza do filtro com fluxo reverso). O dimensionamento inadequado dos componentes internos dos filtros de areia pode acarretar na intensificação da turbulência do efluente sobre a superfície filtrante, movimentando as partículas de areia das extremidades para o centro do leito, criando canais e elevações na camada filtrante. Segundo MESQUITA et al. (2012)

2.11 Eficiência no processo de filtração

Ao utilizar materiais orgânicos de diâmetro maior que 2,0 mm como material filtrante de águas residuárias de suinocultura, BRANDÃO et al., (2000) observou redução na concentração de Sólidos Totais e Sólidos Suspensos, atingindo a eficiência de remoção de 33% para Sólidos Totais, quando o material filtrante foi

serragem de madeira, e eficiência de remoção superior a 90% para Sólidos Suspensos, em todos os filtros utilizados.

LO MONACO (2001) encontrou maiores taxas de filtração de Água Residuária de Suinocultura em filtros constituídos de serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar nas maiores faixas granulométricas, de 2,0 a 2,8 mm. A serragem de madeira mostrou-se mais eficiente na remoção de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio).

Os materiais filtrantes apresentaram eficiências de Sólidos Totais de 60 a 70% na remoção equase 100% de Sólidos Suspensos, tendo ocorrido pequena ou nenhuma influência das faixas granulométricas estudadas (LO MONACO, 2001).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área Experimental

O experimento foi conduzido no setor de Irrigação e Drenagem do Instituto Federal do Triângulo Mineiro, Câmpus Uberaba-MG. A instituição se localiza a 800 m de altitude, com latitude de 19°39'19"S e longitude de 47°57'27"W.

A bancada de teste (Figuras 1 e 2) constou de um manômetro diferencial de mercúrio com escala em milímetros de coluna d'água (mm.c.a.), uma placa de orifício de 6 mm, um reservatório de 100 litros e um tanque rebocável de 3 mil litros; acoplados a um conjunto moto-bomba Schneider de 1cv; modelo BC-92KSC, monofásica, 60 Hertz, 220 volts e 3500 rpm. Instalou-se também uma chave de partida magnética automática.

A água residuária utilizada na experimentação foi retirada do setor de suinocultura da instituição supracitada, coletada após a utilização do biodigestor. O biodigestor é classificado como do tipo ciclo completo, que significa explorar matrizes destinadas à produção de suínos terminados, ou seja, uma mistura de dejetos oriundos de suínos de várias idades.

3.2 Calibração da Placa de Orifício

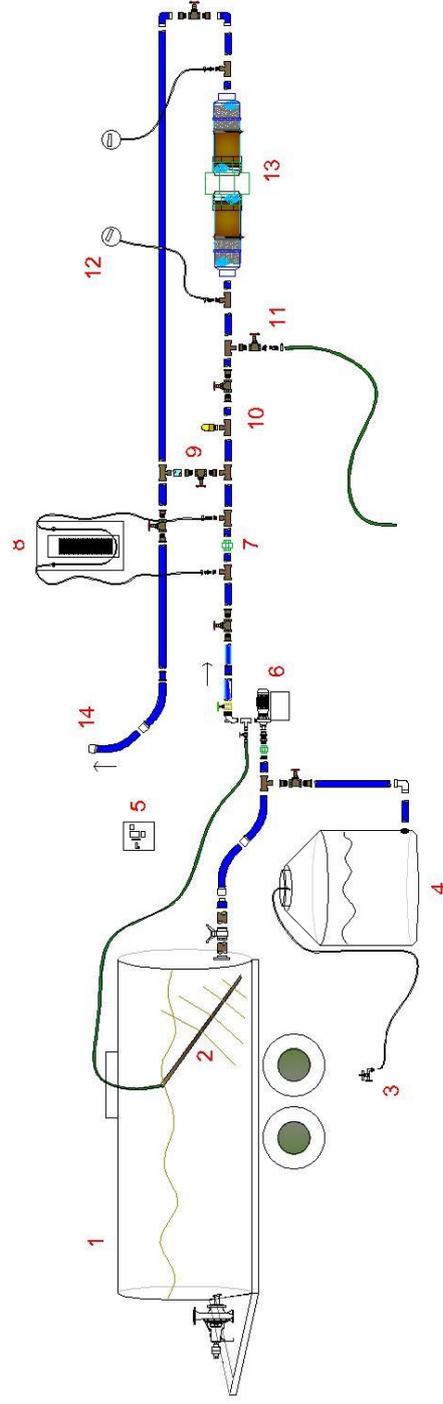
Para realizar o experimento, foi necessário calibrar a placa de orifício antes de instalar o protótipo de filtro. Sendo assim, foi realizada uma divisão no conjunto de sucção utilizando o reservatório de 100 L apenas para água limpa. A água limpa foi utilizada para calibrar a placa de orifício e realizar as retrolavagens do filtro durante os testes hidráulicos.

Foi instalada uma linha de recalque em PVC de 32 mm na qual foi inserida a placa de orifício entre a luva de união de 32 mm. Foram instalados colares de tomada de pressão a montante e jusante da luva de união e, por fim, interligados ao manômetro diferencial em mercúrio (Figura 3).

Durante a calibração, utilizou-se como controle um registro instalado na saída do conjunto moto bomba, logo, foram realizadas coletas de um volume conhecido (3

litros) e registrados os tempos para cada diferencial de pressão, perfazendo cinco diferenciais de pressão com três repetições de volume e tempo.

Estes dados foram computados em uma planilha eletrônica e gerado a equação de trabalho para a placa de orifício. Podendo-se então, medir a vazão através do diferencial de pressão acusado na coluna de mercúrio tipo “U”.



- 1 - Tanque Rebobável
- 2 - Agitador
- 3 - Torneira
- 4 - Reservatório (Água Limpa)
- 5 - Chave de Partida
- 6 - Conjunto Motobomba
- 7 - Placa de Orifício

- 8 - Manômetro Diferencial
- 9 - Derivação para Retrolavagem
- 10 - Ventosa dupla função
- 11 - Descarte da Retrolavagem
- 12 - Manômetro Digital (Kgf.cm²)
- 13 - Filtro Artesanal
- 14 - Água Filtrada

Figura 1. Croqui da bancada de teste do filtro



Figura 2. Bancada de teste na instituição



Figura 3. Manômetro diferencial (mercúrio)

3.3 Construção do filtro

A construção do filtro se deu a partir de meio metro tubo PVC 100 mm azul, com diâmetro interno de 94,4 mm e pressão nominal de 800 kPa. Na quarta parte do metro, inserido uma luva roscável e dois adaptadores PVC azul 100mm x 4" para realizar a substituição dos elementos filtrantes. Nas extremidades foram inseridas duas luvas de redução PVC azul 100 mm x 50 mm com as devidas reduções.

No interior do filtro, foram inseridas pedras brita basáltica tamanho 1, em dez centímetros nas extremidades, no entanto, em uma das extremidades, foi inserido na parte interna, utilizando a mesma bucha 50 mm x 1" para fazer a redução da parte externa, um cap PVC roscável de 1 polegada, com 115 furos com broca de 1 mm. A esta peça furada, neste trabalho, foi atribuído o nome de Crepina artesanal (Figura 4A).

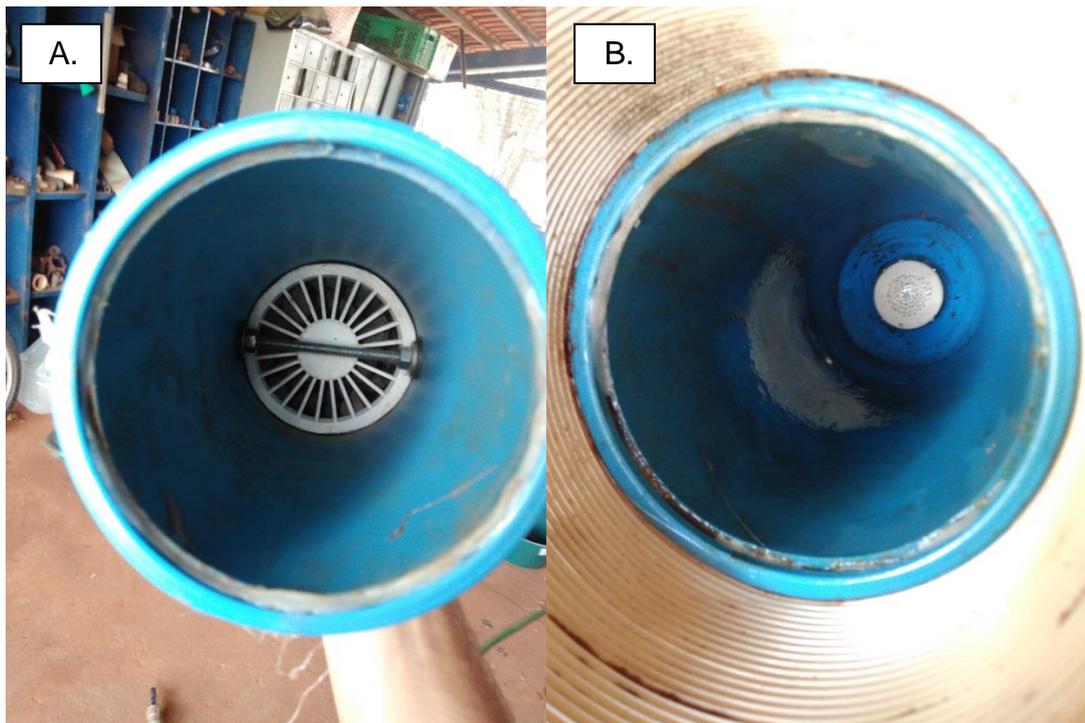


Figura 4. Interior do filtro: Tela de PVC do filtro (A) e Crepina artesanal do filtro (B)

Foi utilizada uma tela em PVC com gramatura inferior ao tamanho da pedra utilizada (Figura 4B), para evitar que o elemento filtrante se misture. A tela utilizada foi em PVC e é denominada como tampa de ralo circular DN100.

O detalhe de instalação, apresentado na Figura 5, demonstra que foram

inseridos parafusos de telha com anéis de vedação para fixar a tela nas extremidades. O preenchimento de elemento filtrante foi em 75% do espaço vazio, almejando uma agitação do elemento filtrante durante o funcionamento conforme observação realizada por Mesquita (2010).

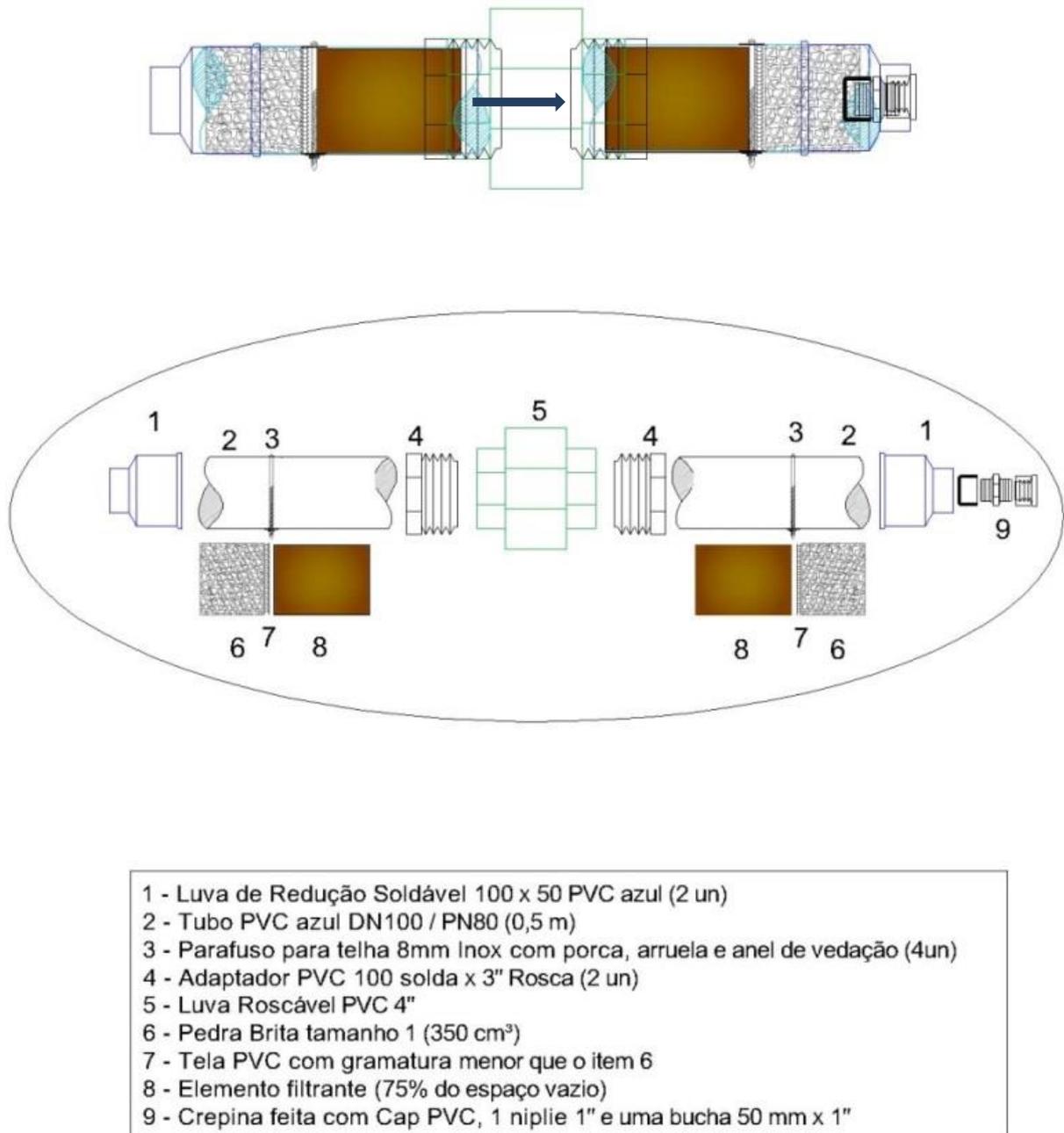


Figura 5. Detalhes do projeto do filtro

3.4 Dimensionamento do filtro

O peneiramento foi de partículas maiores que 1.2 mm entre os tratamentos. O valor de vazão do filtro é correspondente a área de filtragem, obedecendo aos critérios da Eq. 1 proposta por Testezlafet al., (2014), apresentada a seguir:

$$A_f = \frac{Q}{T_{xf}} \quad (1)$$

Em que:

A_f - Área de filtragem (m^2);

Q - Vazão ($m^3 h^{-1}$), e;

T_{xf} - Taxa de filtração requerida ($m^3 m^{-2}h^{-1}$).

Cengel&Cimbala (2015), apresentam a equação da continuidade, demonstrada na Eq. 2, onde foi utilizada para determinar o valor da área de filtragem a partir do diâmetro interno do tubo PVC DN100 e o número de furos na Crepina artesanal.

$$Q = v \cdot a \quad (2)$$

Em que:

Q – Vazão ($m^3 s^{-1}$);

v – Velocidade do fluido ($m s^{-1}$)

a – Área (m^2)

Em relação a taxa de filtragem, foi atribuído o valor destinado para água residuária apresentado na Tabela 1, que fornece o valor da taxa de filtração requerida. Quando não se tem uma análise física da água da propriedade, pode-se fazer uso das informações contidas nessa tabela, que contém uma indicação da taxa de filtração baseada em uma orientação qualitativa da água (TESTEZLAF et al., 2014).

Tabela 1. Valores recomendados da taxa de filtração em função da água

Qualidade da água	Taxa de filtração ($\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$)
Limpa	60
Média	50
Suja	40
Residual	30

3.5 Coletas de dados

Para realização da coleta de dados referente ao desempenho hidráulico, preencheu-se o filtro com elemento filtrante e pressurizou-se o sistema operando com água limpa durante dez minutos com a vazão regulada no diferencial de pressão para o mínimo na escala, ou seja, 40 mm.c.a (milímetros de coluna d'água).

Foram coletadas as informações de pressão a montante e jusante no primeiro, terceiro, quinto, sétimo e décimo minuto. Em seguida, inverteu-se o sentido de fluxo para que fossem coletadas as mesmas informações no mesmo tempo, porém no sentido de retrolavagem. Posteriormente, cessou-se o fluxo utilizando o registro do reservatório de água limpa e aberto o registro do reservatório de água residuária.

Neste momento, foi ligado o agitador do reservatório de água residuária durante cinco minutos antes do teste através de uma derivação feita na saída do conjunto moto bomba. A partir do fluido agitado e agitando, repetiu-se o procedimento de coleta de pressão no filtro durante o mesmo tempo de operação com água limpa.

Portanto, esta sequência de coleta de dados com água limpa, retrolavagem com água limpa, água residuária e retrolavagem com água limpa foi repetida três vezes para cada tratamento (Maravalha, Casca de arroz, Silagem de milho e Feno de Tifton (*Cynodon spp.*) e Sem elemento (Crepina Artesanal)),totalizando duas

horas de funcionamento para cada tratamento nas três repetições.

Para coleta dos dados de pressão no filtro, foi utilizado um manômetro digital com ponto de coleta de informações em engate rápido e duas casas após a vírgula. O filtro foi testado na posição horizontal sob a bancada.

Em relação às amostras de água para determinação da eficiência de filtração, foram feitas coletas de 100 mL antes de cada funcionamento dos elementos filtrantes e feitas três amostras de 100 mL a montante do filtro.

As amostras à jusante do filtro, em cada teste com os elementos filtrantes, foram coletadas no quinto minuto de cada repetição. Todas as amostras foram devidamente embaladas em recipientes com tampa e marcadas de acordo com o elemento filtrante e sua respectiva repetição, conforme Figura 5.



Figura 5. Amostras de 100 mL

3.6 Procedimentos dos dados

As amostras de água foram submetidas à quantificação dos sólidos totais conforme os protocolos descritos por Bairdet al., (2012) que é uma referência mundial em análises de águas. Todavia, foram realizados pelo laboratório privado Labfert Análises, em Uberaba-MG.

A eficiência de remoção, para o caso específico de sólidos suspensos totais, pode ser calculada pela Eq. 3 (ASABE, 1994):

$$Ef = \left[1 - \left(\frac{SST_2}{SST_1} \right) \right] \cdot 100 \quad (3)$$

Em que:

Ef - Eficiência de remoção (%);

SST_1 - Sólidos suspensos totais a montante no afluente ($mg L^{-1}$), e;

SST_2 - Sólidos suspensos totais a jusante no efluente ($mg L^{-1}$).

Os dados de eficiência de filtração, obtidos a partir do laudo laboratorial, foram submetidos à análise de regressão polinomial utilizando o programa de planilha eletrônica Excel, da Microsoft. Já os dados de perda de carga na filtração, obtidos pelo diferencial de pressão, foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado (5x5) e foram submetidos à análise de variância, com comparação das médias pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) com auxílio do sistema de análise estatística Sisvar (FERREIRA, 1999).

4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Placa de orifício

Durante a calibração da placa de orifício, a análise de regressão potencial apresenta uma linha de ajuste bastante próxima, pois o R^2 está bem próximo de 1. Portanto, a equação gerada reciprocamente proporciona de modo direto a vazão do conduto através da diferença de pressão, ou seja, em função do H, que é descrito a partir da Equação 4.

$$Q = 0,041 H^{0,515} \quad (4)$$

Em que:

Q - vazão ($m^3 h^{-1}$);

H - diferencial de pressão (mm.c.a.), e;

R^2 - coeficiente de determinação da equação ($R^2 = 0,990153$).

Verifica-se na Figura 6 que a perda de carga ocasionada na placa de orifício aumentou com acréscimo da vazão, apresentando um modelo potencial que relaciona o diferencial de pressão determinado na coluna em U com a vazão determinada pela placa de orifício, possibilitando determinar a partir deste diferencial a perda de carga real ocorrida o trecho.

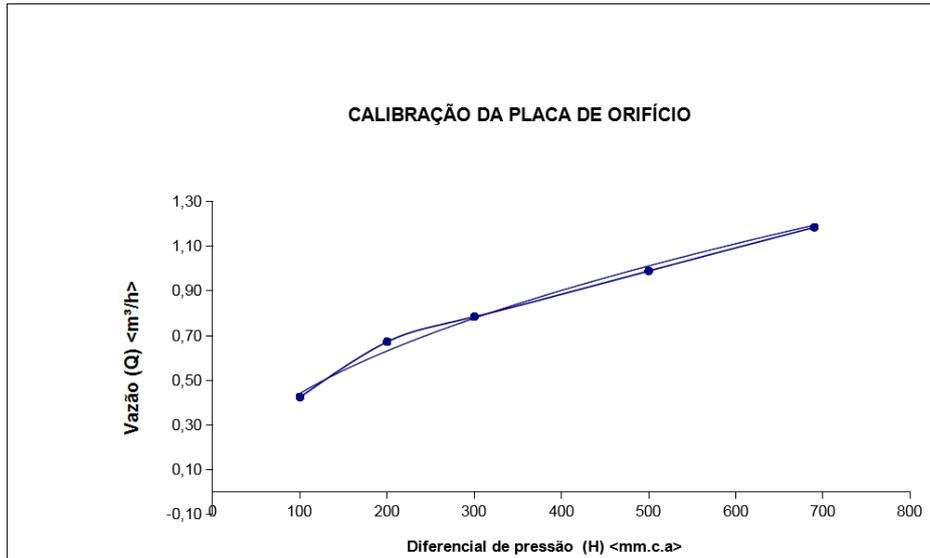


Figura 6. Modelo potencial referente a calibração da placa de orifício

4.2 Vazão de projeto

A escala utilizada neste experimento foi de 40 mm.c.a. em função da leitura mínima do manômetro diferencial, tornou possível quantificar a vazão de operação de 275 L h^{-1} . A vazão mínima legível na coluna de mercúrio é 31,5% superior ao valor estimado pela Eq. 1, que seria de 209 L h^{-1} .

4.3 Desempenho filtro com água limpa

No que se diz respeito ao desempenho hidráulico do filtro submetido a regime de água limpa, visualiza-se na Tabela 2 e Figura 7 que foram verificados valores elevados de perda de carga (kPa) do filtro operando com casca de arroz quando comparada com o filtro funcionando com feno e apenas com a Crepina (sem elemento).

Tabela 2. Análise estatística da perda de carga do filtro (kPa) com água limpa

TRATAMENTO	1 minuto	3 minutos	5 minutos	7 minutos	10 minutos
Maravalha	17,65c	17,95c	17,65c	16,96c	17,36c
Casca de Arroz	24,81d	25,50d	24,81 d	24,12d	24,52d
Silagem	7,84b	8,14 a	8,82b	8,14b	8,14b

Feno	2,25a	2,65a	2,25a	2,65a	2,65a
Crepina	1,96a	1,67a	1,67 a	1,67a	1,96a
¹ CV (%)	14,85	14,85	16,84	15,66	11,36

¹CV – Coeficiente de Variação;

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey

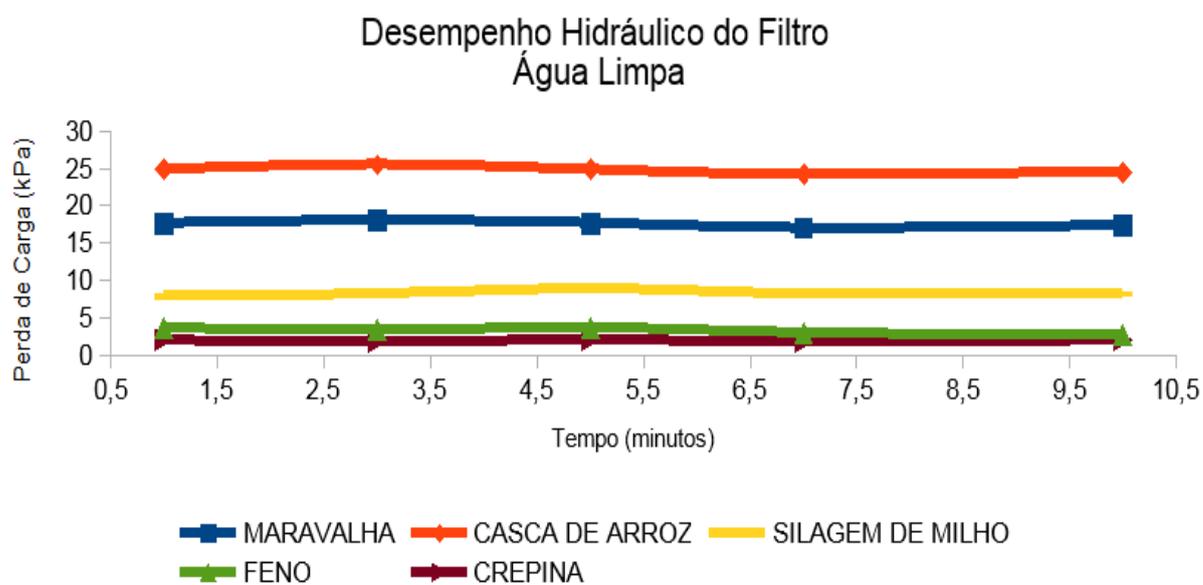


Figura 7. Desempenho hidráulico do filtro operando com água limpa

4.4 Desempenho do filtro com água residuária de suinocultura

Já a Tabela 3 e Figura 8, nos mostra o resultado estatístico do desempenho do filtro testado com água residuária de suinocultura. Percebe-se que houve aumento dos valores de perda de carga (kPa) quando mudou-se a qualidade da água. Isto permite supor que a quantidade de sólidos na água afeta

consideravelmente a necessidade de maior potência instalada em um sistema de irrigação. A casca de arroz posiciona-se bem parecida com a maravalha a partir do quinto minuto, não diferindo no teste de média. Nota-se que a maravalha e a casca de arroz apresentaram valores ascendentes de pressão, assim como todos os demais tratamentos, mas tornando possível afirmar que estes tratamentos, tiveram alta perda de carga do primeiro ao décimo minuto, diferindo estatisticamente dos tratamentos Silagem, Feno e Crepina. Detectam-se estes últimos citados (Silagem, Feno e Crepina) embora com mesmo comportamento hidráulico, tiveram perdas de carga (kPa) menores e não diferiram entre si pelos testes estatísticos, podendo-se inferir que exigirão quantidade menor de potência instalada em um sistema de irrigação.

Tabela 3. Análise estatística da perda de carga do filtro (kPa) com água residuária

TRATAMENTO	1 minuto	3 minutos	5 minutos	7 minutos	10 minutos
Maravalha	54,62 b	61,78 b	69,33 b	82,08 b	89,24 b
Casca De Arroz	68,35 c	74,82 c	80,71 b	85,02 b	91,89 b
Silagem	4,51 a	4,90 a	6,86 a	7,15 a	7,84 a
Feno	3,92 a	4,61 a	6,18 a	6,18 a	7,16 a
Crepina	2,25 a	2,94 a	3,63 a	4,61 a	4,61 a
¹ CV (%)	9.89	9.61	12.78	10.31	8.60

CV – Coeficiente de Variação;
Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

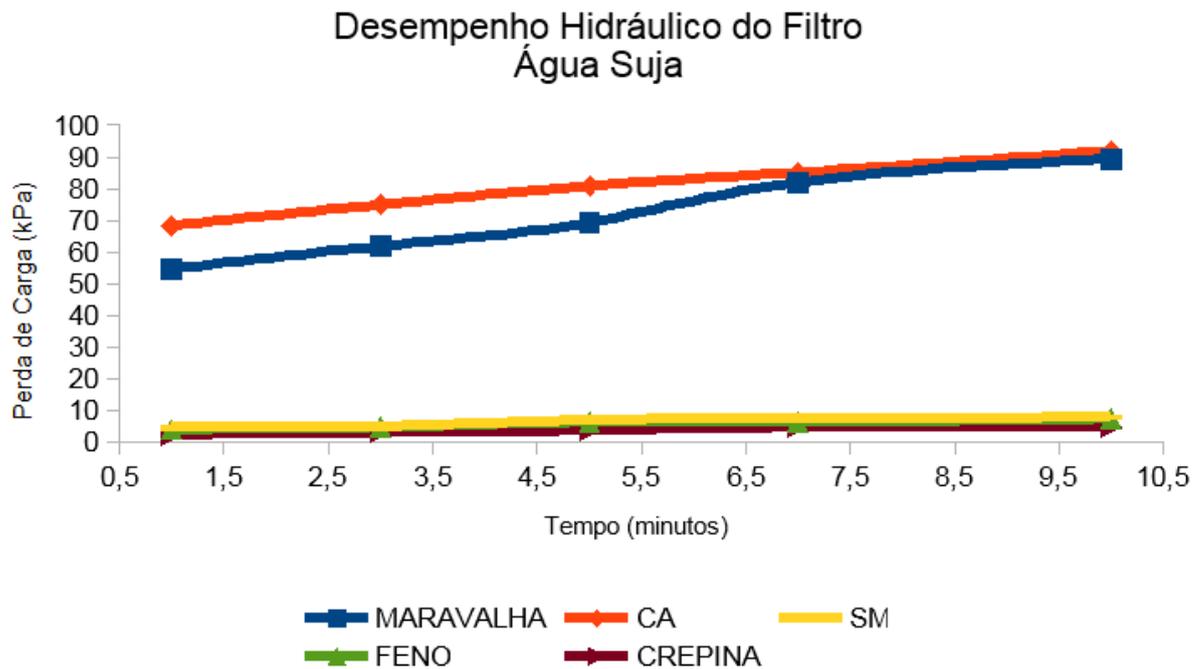


Figura 8. Desempenho hidráulico do filtro operando com água residuária

Comparando a análise estatística do filtro operando com água limpa e residuária, registra-se que os resultados foram comprobatórios ao que Mesquita et al. (2012) mencionaram, quando disseram que a dinâmica de operação, filtragem/retrolavagem afeta o desempenho hidráulico dos sistemas de irrigação.

4.5 Desempenho do filtro durante a retrolavagem

Vê-se na Figura 9 o comportamento do filtro durante os momentos de retrolavagem. Nota-se que realmente houve limpeza de todos os tratamentos devido ao declínio apresentado em todos os tratamentos, durante o tempo de avaliação. Isto conduz com o objetivo de se fazer a retrolavagem, podendo argumentar a necessidade de se realizar a operação para que o sistema funcione satisfatoriamente de acordo com a pressão de serviço inicial.

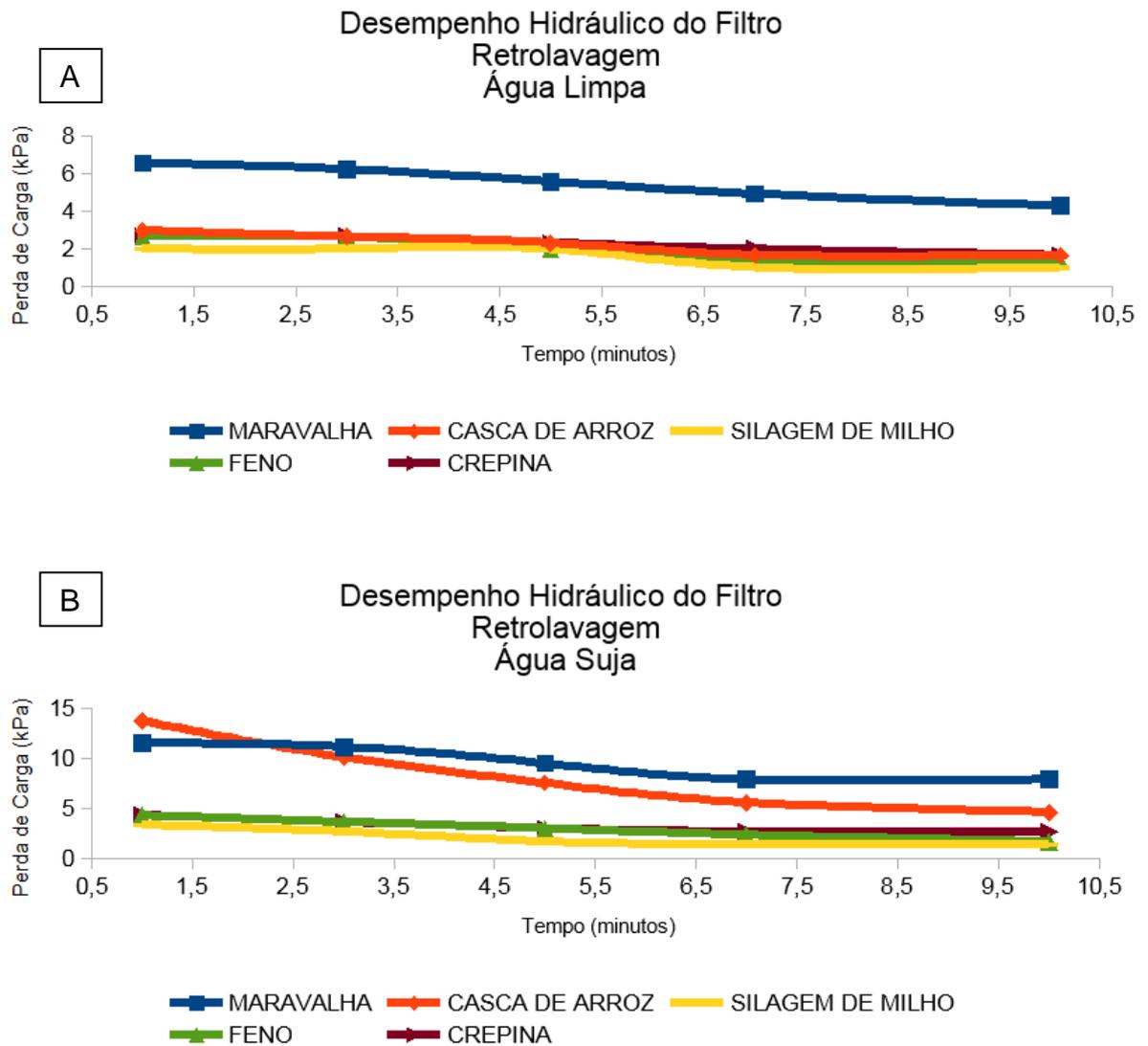


Figura 9. Desempenho Hidráulico do filtro durante a retrolavagem com água limpa (A) e retrolavagem com água residuária (B)

4.6 Eficiência de Filtragem

Observando-se a Figura 10, verifica-se o comportamento dos tratamentos na remoção de sólidos totais ao longo da bateria de testes. Nota-se que o tratamento Crepina (sem elemento filtrante), apresentou melhor eficiência de filtragem quando comparado com os demais tratamentos. Registra-se uma ascensão de praticamente dez pontos percentuais enquanto o tratamento com casca de arroz obteve uma queda de eficiência de aproximadamente 20 pontos percentuais.

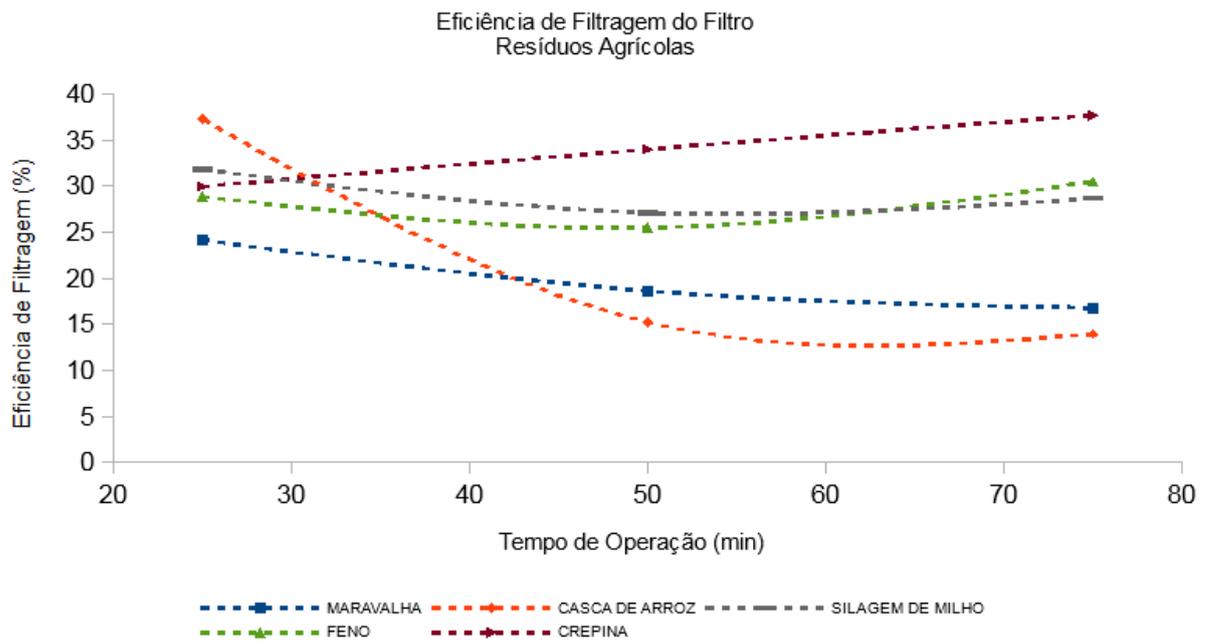


Figura 10. Eficiência de filtragem do filtro operando com água residuária

Observa-se também que os demais tratamentos tiveram queda na eficiência de filtragem ao longo do tempo, exceto o elemento feno, que se manteve mediano com leve ascensão na eficiência de filtragem. Com isto, percebe-se que apenas dois tratamentos proporcionaram melhora na remoção de sólidos totais ao longo do tempo de operação.

Visualiza-se na Tabela 4, que as equações geradas para cada tratamento, obtiveram boa confiabilidade quando observados os coeficientes de determinação (R^2). No entanto, os valores de remoção de sólidos totais, no geral, ficaram entre 20% e 35%, tornando este protótipo uma boa opção para trabalhar como filtro de segurança em sistemas de filtragem já existentes, pois a inserção do mesmo não causa perda de carga considerável.

Tabela 4. Equações referentes à análise de regressão da eficiência de filtragem (%) em relação ao tempo de operação x (min)

	Eficiência de Filtragem (E_f)
Maravalha	$E_f = 0,003 x^2 - 0,44 x + 33,44$ ($r^2 = 1$)

Casca de arroz	$Ef = 0,016 x^2 - 2,12 x + 79,96 (r^2 = 1)$
Silagem de milho	$Ef = 0,005 x^2 - 0,56 x + 42,70 (r^2 = 1)$
Feno	$Ef = 0,007 x^2 - 0,64 x + 40,63 (r^2 = 1)$
Crepina	$Ef = - 0,0003 x^2 + 0,18 x + 25,60 (r^2 = 1)$

Conforme mencionado anteriormente neste trabalho, ao utilizar materiais orgânicos de diâmetro maior que 2,0 mm como material filtrante de águas residuárias de suinocultura, BRANDÃO et al., (2000) observou redução na concentração de Sólidos Totais e Sólidos Suspensos, atingindo a eficiência de remoção de 33% para Sólidos Totais, quando o material filtrante foi serragem de madeira. Com base neste referencial, é notável a proximidade dos dados de eficiência de filtração para sólidos totais com os resultados apresentados no experimento. Percebe-se que ainda há muito o que estudar sobre estes valores de eficiência de filtração, pois as condições de operação devem ser testadas das mais variadas formas para que o filtro possa ter dados de rendimento em função da condição de operação e do elemento filtrante.

5.CONCLUSÃO

Nas condições que se se realizou o experimento, pode-se concluir:

1. O protótipo de filtro operou satisfatoriamente em termos estruturais e operacionais. E o tratamento operando sem elemento teve baixa perda de carga (3 kPa) e elevada eficiência de filtragem (34%) quando comparadas aos demais tratamentos.

2. O filtro operando com maravalha e casca de arroz obteve baixos resultados para remoção de sólidos totais, 20% e 22% respectivamente. Também, apresentou elevadas perdas de carga em relação aos demais tratamentos.

3. Elemento filtrante originado de resíduos agrícolas pode ser utilizado de forma pressurizada para fins de irrigação.

6.REFERÊNCIAS

ABIEPCS. Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína. **Relatório Consumo Carne Suína 2009-2010**, 2009. Disponível em: <http://file.aviculturaindustrial.com.br/Material/Relatorio/abiepcs_relatorio_2009_pt.pdf>. Acesso em: 02 set/2016.

ASABE – **American Society Agricultural and Biological Engineers** - ASABE ANSI/ASAE S539 Media filters for irrigation - Testing and performance reporting. March 1994.

ANUÁRIO DA PECUÁRIA BRASILEIRA – **ANUALPEC**. São Paulo: Instituto FNP, 2006. 369 p.

BAIRD, B.; RODGER, D.; CLESCERI, A. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 22^a ed., Ed. Pharmabooks, 2012.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8. Ed. Viçosa: UFV, 2008. P. 483-548, 625p.

BRANDÃO, V. S.; MATOS, A. T.; MARTINEZ, M. A & FONTES, M. P. P. Tratamento de águas residuárias da suinocultura utilizando-se filtros orgânicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 4, n. 3, p. 327-333, 2000.

CABELLO, F.P. **Riegos localizados de alta frecuencia; goteo, microaspersión, exudación**. 3.ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1996. 513p.

CAIXETA, A.V. **Perda de carga em tubos e conexões de PVC utilizados em sistemas portáteis de irrigação localizada**. 1991. 115p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

CENGEL, A. Y.; CIMBALA, M. J. **Mecânica dos fluidos-3** Ed. AMGH Editora, 2015.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA (2005). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes**. Brasília-DF, 2005. Disponível em :<<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2747>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

DEHGHANISANI, H.; YAMAMOTO, T.; RASIAH, V.; UTSUNOMIYA, J.; INOUE, M. Impact of biological clogging agents on filter and emitter discharge characteristics of microirrigation system. **Irrigation and Drainage**, Malden, v.53, n.4, p.363-73, 2004.

DIESEL, R.; MIRANDA, C. R.; PERDOMO, C. C. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos de suínos**. Concórdia, SC: EMBRAPA – CNPSA/EMATER-RS, 2002. 31 p. (Boletim informativo, 14).

FERREIRA, D. F. **SISVAR** versão 4.3 (Build 4.1). Lavras: UFLA/DEX, 1999. 4 disquetes.

FINKEL, H. J. **Handbook of irrigation technology**. Boca Raton, Florida: CRC press., 1982.p.287-293.

JAMES, L.G.; SHANNON, W.M. **Flow measurement and system maintenance**.In: NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. **Trickle irrigation for crop production: design, operation and management**. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1986. chap. 3, p. 280-316.

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and Trickle Irrigation**.New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652p. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4757-1425-8>

LO MONACO, P. A. **Influência da granulometria do Material orgânico filtrante na eficiência de tratamento de águas residuárias**. Viçosa – MG: UFV, 2001,Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa,2001.

LÓPEZ, J.R.; ABREU, J.M.H.; REGALADO, A.P.; HERNÁNDEZ, J.F. **Riego localizado**. Madrid: Iryda, 1997. 405p.

MAGALHÃES, M. A.; MATOS, A.T de; DENÍCULI, W.; TINOCO, I de. F. F. Operação de filtros orgânicos utilizados no tratamento de águas residuárias de suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 472-478, 2006.

MEDINA SAN JUAN, J.A. **Riego por goteo: Teoría y práctica**. Madrid: EdicionesMundi-Prensa, 2000. 302p.

MESQUITA, M. **Efeito dos componentes hidráulicos e da granulometria e altura da camada filtrante na perda de carga em filtros de areia utilizados na irrigação localizada**. 2010, 119f. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

MESQUITA, M.; TESTEZLAF, R.; RAMIREZ, J.C.S. The effect of media bed characteristics and internal auxiliary elements on sand filter head loss. **Agricultural Water Management**, v.115, p.178-185, 2012.

NAKAYAMA, F.S. Water treatment.In: NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. **Trickle irrigation for crop production: design, operation and management**. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1986. chap. 3, p. 164-187.Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-42615-4.50012-6>. Acesso em: 19 de fevereiro de 2017.

NOBILE, F. O. **Irrigação com duas qualidades de água e tipos de fertilizações no solo e em de cana-de-açúcar**. 2009. 153p. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.

PHILLIPS, K.P. Long-term operation of microirrigation filtration systems: successes, failures and operational solutions. In: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 15., 1995, Orlando. **Proceedings...** Orlando: ASAE, 1995. p.579-85.

PIZARRO CABELLO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia**. Madrid: EdicionesMundi-Prensa, 1996. 511p.

POVINELLI, J.;MARTINS, F. **Pesquisa sobre eficiência de filtros lentos em unidades piloto**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, 7, Salvador, BA, 1973. Separata... São Carlos; EESC/USP, 1973. 20p.

PUIG-BARGUÉS, J.; ARBAT, G.; ELBANA, M.; DURAN-ROS, M.; BARRAGÁN, J.; RAMÍREZ DE CARTAGENA, F.; LAMM, F. R. Effect of flushing frequency on emitter clogging in microirrigation with effluents. **AgriculturalWater Management**, v.97, p.883- 891, 2010.

SALCEDO, J. C. R., **Efeito das características granulométricas e da altura da camada filtrante no processo de retrolavagem em filtros de areia**. 2010, 159 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

SÁNCHEZ, M.; GONZÁLEZ, J. L.The Fertilizer of pig slurry. I. Values depending on the type of operation. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 96, n. 10, p. 1117-1123, 2005.

SHAM DOL, S.; MOHD NOR, M.A.; KAMARUZAMAN, M.K. An improved smoke-wire flow visualization technique. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FLUID MECHANICS AND AERODYNAMICS, 4., 2006, Elounda. **Proceedings**.Greece: WSEAS, 2006. p.231-236.

SILVA, L.G.F.; MANTOVANI, E.C.; RAMOS, M.M. Irrigação localizada. In: Miranda, J.H.; Pires, R.C.M. **Irrigação**. Piracicaba: SBEA, 2003. v. 2, cap. 12, p. 259-309. (Série Engenharia Agrícola).

SINOTTI, A. P. S.; **Avaliação do volume de dejetos e da carga de poluentes produzidos por suíno nas diferentes fases do criatório**. Florianópolis, SC: UFSC, 2005. 100 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

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

TESTEZLAF, R., SALCEDO, J. C. R., MESQUITA, M. Água pura. **Cultivar**, n. 122, p. 28-31, 2012.

TESTEZLAF, R., DEUS de, F. P., MESQUITA, M. Filtros de areia: erros e falhas. **Irrigazine**, v. 34, p.28 - 30, 2013.

TESTEZLAF, R., DEUS de, F. P., MESQUITA, M., **Filtros de areia na irrigação localizada**– Campinas-SP: UNICAMP/Faculdade de Engenharia Agrícola, 2014. 56p.

VERMEIREM, L.; JOBLING, G.A. Localized irrigation equipment, **Localized irrigation**; design, installation, operation, evaluation. Rome: FAO, 1984. chap.3, p.85–144.(FAO Irrigation an Drainage Paper, 36).

ZEIER, K.R.; HILLS, D.J. **Trickle irrigation screen filter performance as affected by sand size and concentration**. Transaction of the ASAE, St Joseph, v. 30, n. 3, p. 735-739, 1987.