

## ARTIGO DE REVISÃO

# FILTROS DE AREIA APLICADOS À IRRIGAÇÃO LOCALIZADA: TEORIA E PRÁTICA

ROBERTO TESTEZLAF<sup>1</sup>

**RESUMO:** A aplicação de filtros de areia em sistemas de irrigação localizada é recomendada quando a água possui contaminação orgânica e de algas. O correto dimensionamento e manutenção desses equipamentos são essenciais para garantir o controle efetivo da qualidade da água de irrigação, visando a reduzir a obstrução de emissores, a manter a uniformidade de aplicação de água e a evitar o aumento nos custos de operação do sistema. Apesar da existência de informações técnicas sobre o projeto, a operação e a manutenção desses filtros na literatura, elas estão dispersas e com detalhamento insuficiente para permitir otimização do dimensionamento da estrutura hidráulica e da escolha do meio poroso a ser utilizado. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é apresentar uma revisão de literatura, relacionando informações práticas com conhecimento científico existente, buscando induzir e ampliar as pesquisas sobre este tema e contribuir para que as funções operacionais estabelecidas para o equipamento sejam plenamente alcançadas. Espera-se, também, auxiliar na melhoria dos processos de filtração e de retrolavagem na irrigação agrícola e no desenvolvimento de procedimentos metodológicos de projeto e no uso racional desses dispositivos.

**PALAVRAS-CHAVE:** filtração, obstrução de emissores, meios porosos.

## LOCALIZED IRRIGATION SAND FILTERS: THEORY AND PRACTICE

**ABSTRACT:** The application of sand filters in localized irrigation systems is recommended in the presence of organic and algae contamination. The proper design and maintenance of these equipments are essential to assure an effective water quality control, in order to reduce the emitters clogging, to keep its water application uniformity, and to prevent increasing in the system operation costs. Despite the existence of some references about design, operation and maintenance of these filters, they are dispersed, with not enough details to guarantee the optimization of its hydraulics structure design and the proper selection of porous media to be used. Therefore, the objective of this work was to report a current literature review, relating practical information with scientific knowledge. The content of this review would help to induce and intensify the research on this subject and to contribute so the operational functions for the equipment are reached. It is also expected to assist the improvement of the filtration and flushing processes in the agricultural irrigation and the development of original design procedures and the rational use of these devices.

**KEYWORDS:** filtration, emitters clogging, porous media.

## INTRODUÇÃO

O entupimento de emissores na irrigação localizada por contaminantes físicos, químicos e biológicos afeta o desempenho hidráulico, amplia os problemas de manutenção e, conseqüentemente, o custo de operação do sistema, reduzindo a uniformidade de distribuição da água. A obstrução dos emissores afeta negativamente a operação do sistema, reduzindo as chances de sucesso da irrigação e tornando a qualidade da água a principal preocupação no manejo de culturas irrigadas por sistemas localizados.

A utilização de filtros de meios porosos, principalmente tendo como meio filtrante a areia, é recomendada quando a água possui contaminação orgânica e de algas, sendo o seu correto dimensionamento e operação essenciais para reduzir os problemas de obstrução de emissores. A existência de poucas referências bibliográficas sobre o projeto desses filtros e de informações

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Prof. Titular, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas - SP, Fone: (0XX19) 3521.1024, bob@feagri.unicamp.br

Recebido pelo Conselho Editorial em: 26-9-2007

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 3-10-2008

técnicas insuficientes e dispersas sobre a sua operação, de forma apropriada para as condições brasileiras e associadas à assistência técnica limitada, determinam que as funções estabelecidas para o equipamento não sejam plenamente alcançadas, frustrando os agricultores com o baixo desempenho dos sistemas de irrigação. Adicionalmente a esses fatores, o custo inicial do equipamento inibe a sua utilização, fazendo os produtores buscarem alternativas em outros tipos de filtros sem a mesma eficiência e aplicação.

A apresentação de informações técnico-científicas que aprofundem os conhecimentos envolvidos nos aspectos teóricos e práticos da operação dos filtros de areia e no entendimento de como ocorrem os processos de filtração e de retrolavagem, auxiliará no desenvolvimento de procedimentos metodológicos de projeto e no uso racional desses dispositivos. Complementarmente, o aprofundamento do equacionamento teórico do funcionamento desses filtros sob a condição de trabalho pressurizada, aplicando-se a teoria de escoamento em meios porosos, permitirá a simulação do seu dimensionamento e a avaliação do seu desempenho, empregados em diferentes condições de operações.

## REVISÃO

Filtros de areia consistem, basicamente, em tanques ou reservatórios cilíndricos metálicos ou de poliéster, em cujo interior se coloca espessa camada de areia através da qual se filtra a água de irrigação. Esses filtros operam pressurizados quando utilizados em sistemas de irrigação localizada, necessitando de dimensionamento mecânico correto, baseado na teoria de vasos de pressão, para evitar a ruptura de suas paredes às pressões de trabalho.

Os filtros de areia são efetivos para a retenção de materiais sólidos em suspensão, como algas, outros materiais orgânicos, areias finas e partículas de silte (DASBERG & BRESSLER 1985). Esses filtros podem remover quantidades significativas de sólidos suspensos com diâmetros equivalentes de até 20  $\mu\text{m}$ , sendo o seu uso também recomendado para o tratamento de águas residuárias que contêm materiais orgânicos em suspensão (VERMEREIN & JOBLING, 1984).

O desempenho superior do filtro de areia em reter material orgânico, comparado com outros tipos de filtro, se deve a sua capacidade de coletar esses contaminantes ao longo da trajetória percorrida na camada de areia e da possibilidade de acumular grandes quantidades de algas antes de ser necessária a sua limpeza (KELLER & BLIESNER, 1990). Esse comportamento está comprovado na pesquisa desenvolvida por DEHGHANISANIJ et al. (2004), que, ao avaliarem o impacto de contaminantes biológicos no entupimento de gotejadores, concluíram que o filtro de areia foi mais efetivo na remoção desses agentes biológicos do que os filtros de poliuretano e de disco, apesar de requerer maior número de retrolavagens.

### Processo de filtração

Segundo PIZARRO CABELO (1996), o processo de retenção de sólidos suspensos no meio granular ou poroso ocorre por meio de três ações distintas:

**Peneiramento ou coamento:** que é um fenômeno superficial que retém partículas de tamanho superior aos poros.

**Sedimentação:** a passagem da água pelos poros permite que cada espaço poroso funcione como um pequeno decantador, favorecido pela redução da velocidade da água.

**Adesão e coesão:** o contato entre uma partícula em suspensão com o grão do material filtrante ou sedimentos cria forças de atração elétrica, o que explica como os filtros retêm partículas muito menores que o tamanho dos poros.

Essas formas de ação do meio poroso na retenção de partículas sólidas são confirmadas por VERMEREIN & JOBLING (1984), que esclarecem que, durante a passagem da água pela areia, as partículas podem ser absorvidas pelos grãos, aglomerar-se em partículas maiores e depositar-se por processo idêntico à decantação.

Existem pesquisas que buscaram ampliar o campo de aplicação e a capacidade de retenção dos filtros de areia pela inclusão ou pela mistura de outros minerais ou substâncias no elemento filtrante (RATTASUK, 1992; SMITH & GABER, 1995). O estudo da interação de diferentes materiais com a areia para favorecer a qualidade do tratamento da água para fins de irrigação torna-se um campo importante de trabalho, tendo em vista a degradação contínua dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas e o aparecimento de novas formas de contaminação.

### **Seleção e dimensionamento**

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.

### **Características de fabricação**

A maioria dos filtros de areia disponíveis no mercado é fabricada com chapas de aço-carbono, geralmente SAC 50, com acabamentos internos em pintura epóxi, para assegurar a resistência à corrosão, e externos com resina poliéster, para proteção aos raios ultravioleta. Algumas empresas também disponibilizam equipamentos em aço inoxidável para utilizações específicas.

Outros materiais podem ser utilizados na fabricação desse equipamento. BUI (1995) avaliou o uso de filtros de areia fabricados com fibra de vidro, na produção da cana-de-açúcar no Havaí. Após dez anos em operação em condições climáticas adversas e expostos à aplicação de fertilizantes e cloro, o autor concluiu que os equipamentos operavam satisfatoriamente dentro do critério hidráulico, não requerendo pinturas externas e economicamente mais viáveis que os filtros com corpo de aço.

Como o custo de aquisição é fator limitante para a expansão do uso dos filtros de meios porosos por irrigantes brasileiros, é necessário que se desenvolvam pesquisas que avaliem o uso de novos materiais com o objetivo de tornar esses dispositivos mais econômicos e energeticamente mais eficientes.

### **Vazão de projeto**

A importância da definição do valor da vazão que passará através do meio poroso é justificada por KELLER & BLIESNER (1990), que afirmam que, para uma dada qualidade de água e tipo de meio poroso, o tamanho das partículas que passam pelo filtro sem serem retidas, aumenta com o aumento da vazão.

Como a área de filtração é definida em função da vazão de projeto, é necessário diferenciar os conceitos existentes para esse parâmetro. Primeiramente, tem-se a área efetiva de filtração, que é definida como a área transversal do filtro disponível para a filtração, ou seja, a área total do meio poroso exposta ao fluxo. Não estão incluídas nessa área, as estruturas ou barreiras sólidas que impedem o fluxo e a separação das partículas. Outra definição relaciona a área com a porosidade do elemento filtrante, sendo conhecida como área aberta para filtração, ou seja, a área dos poros ou a soma de todas as aberturas no meio filtrante para a passagem da água. Esse parâmetro é expresso, geralmente, como percentagem da área efetiva de filtração.

A vazão para a escolha do filtro para um projeto de irrigação é expressa em volume por unidade de tempo e por unidade de área efetiva normal à direção do fluxo da filtração. VERMEREIN & JOBLING (1984) afirmam que, quanto menor a vazão por unidade de superfície, melhor é o processo de filtração, indicando o valor máximo de  $30 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-2}$  ( $108 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ), enquanto ASAE (1993) recomenda vazões entre  $10$  e  $18 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-2}$  ( $36$  e  $64,8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ). PIZARRO

CABELO (1996) aponta a aplicação do critério da velocidade média de filtração de  $16,7 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-2}$  ( $60 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ) no dimensionamento do diâmetro do filtro. BENHAM & ROSS (2002) recomendaram que a vazão de projeto não deve ultrapassar  $17 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-2}$  ( $61,2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ) em concordância com a afirmativa de PHILLIPS (1995), que sugeriu vazões entre  $10$  e  $17 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-2}$  ( $36$  e  $61,2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ) para a utilização de filtros de areia. Segundo esse autor, valores de vazões abaixo ou acima desses intervalos afetam negativamente o desempenho dos filtros. Para valores abaixo de  $10 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ , existe a possibilidade do surgimento de canais preferenciais que irão reduzir a perda de carga e diminuir a eficiência do sistema automático de retrolavagem e, no caso de vazões superiores a  $17 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ , poderá haver turbulência excessiva dentro do filtro e movimentação da camada filtrante.

A partir das curvas de perda de carga de filtros manufaturados por três empresas brasileiras, obteve-se o intervalo de operação de vazão de dois modelos de cada empresa, o que permitiu estimar os valores de vazões mínimas e máximas por unidade de área para cada modelo e comparar com os valores indicados pela literatura (Tabela 1).

TABELA 1. Vazões mínimas e máximas por área de filtração para filtros de areia com diâmetros diferentes para três fabricantes brasileiros. **Maximum e minimum flow rate values per square meter of filtration surface for different filters diameters of three Brazilian manufacturers.**

Marca	Diâmetro (mm)	Vazão Mínima ( $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$ )	Vazão Máxima ( $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$ )	Área ( $\text{m}^2$ )	Vazão Mínima Estimada ( $\text{m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ )	Redução (%)*	Vazão Máxima Estimada ( $\text{m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ )	Aumento (%)**
A	500	3	30	0,20	15,3	58	152,9	150
	1.050	11	110,0	0,87	12,7	65	127,1	108
B	400	ND	11	0,13	ND		87,6	43
	1.060	ND	60	0,88	ND		68,0	11
C	400	3	20	0,13	23,9	34	159,2	160
	1.000	21	110	0,79	26,8	26	140,1	129

\* - redução em relação ao valor mínimo recomendado pela literatura; \*\* - aumento em comparação ao valor máximo recomendado pela literatura; ND - não-disponível.

Comparando-se os valores apresentados na Tabela 1 para filtros com diâmetros similares, verifica-se que há diferenças significativas entre os fabricantes, apesar de os equipamentos possuírem dimensões praticamente idênticas. Adicionalmente, pode-se afirmar que todas as vazões mínimas estimadas são inferiores ao valor recomendado pela literatura ( $36 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ), com redução percentual máxima de 65%. Por outro lado, todas as vazões máximas estimadas são superiores ao valor recomendado ( $61,2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ), com aumento máximo de 160%.

As diferenças entre os valores de vazão encontrados, tanto na literatura como nas informações técnicas dos três fabricantes avaliados (Amanco, Hidrosolo e Marbella), demonstram a necessidade da realização de pesquisas nessa área, para comprovar a eficácia da filtração nos limites de vazão e, posteriormente, para permitir que os catálogos dos equipamentos sejam adequados aos resultados encontrados.

### Perda de carga

Outro parâmetro importante para o dimensionamento de filtros é a determinação da perda de carga ou a diferença de pressão que é causada pela passagem da água de irrigação pelo interior do filtro, resultante da resistência das partículas do meio filtrante ao movimento da água e das perdas de atrito na estrutura hidráulica dos filtros. De acordo com PIZARRO CABELO (1996), a perda de carga, quando os filtros de areia estão limpos, é da ordem de 10 a 20 kPa, dependendo do tipo de

areia e da velocidade média de filtração, enquanto DASBERG & BRESSLER (1985) indicam que a perda de carga característica para um filtro de areia limpo é de 20 kPa.

À medida que ocorre a filtração, as partículas vão acumulando-se na superfície e no meio filtrante, determinando aumento na perda de carga, cujo valor pode chegar de 40 a 60 kPa, quando se deve proceder a limpeza do filtro (PIZARRO CABELO, 1996). O tempo necessário para se atingir esses valores depende da qualidade de água, vazão de filtração e da espessura da camada filtrante.

MATSURA et al. (1989) compararam a perda de carga para três alturas de camada filtrante para a condição de filtro limpo, concluindo que os valores de perda de carga total dos filtros se mantiveram praticamente constantes para baixos valores de vazão, e o filtro com camada de 0,40 m, a maior avaliada, apresentou valores 20% superiores à camada de 0,29 m e 40% para a camada de 0,19 m, para valor de vazão de  $20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , o maior ensaiado.

TRUSSEL & CHANG (1999) apresentaram o desenvolvimento de um modelo de simulação para escoamento em meios porosos com ênfase em perdas de carga em elementos filtrantes limpos aplicados em filtros de água. Os autores aplicaram modelos empíricos existentes sobre a teoria hidrodinâmica no desenvolvimento de um modelo na forma da equação de Forchheimer, derivando modelo não-linear para estimar o valor de perda de carga, a partir de características do meio filtrante e do filtro utilizado (eq.(1)):

$$\frac{\Delta H}{\Delta L} = \alpha_F V + \beta_F V^2 \quad (1)$$

em que,

H - perda de carga no meio filtrante, L;

L - altura da camada filtrante, L;

V - velocidade superficial,  $\text{L T}^{-1}$ ;

$\alpha_F$  - coeficiente de permeabilidade associado a componente linear da perda de carga, e

$\beta_F$  - coeficiente de permeabilidade associado a componente não-linear da perda de carga.

TESTEZLAF & MATSURA (2005) aplicaram o modelo proposto por TRUSSEL & CHANG (1999) nos dados experimentais da pesquisa desenvolvida por MATSURA et al. (1989), buscando validar o modelo na determinação da perda de carga correspondente à camada filtrante com diferentes alturas para filtros de areia, e concluíram que há necessidade da ampliação do estudo para a validação do modelo e de desenvolvimento de um novo modelo de simulação para a determinação da perda de carga que inclua o efeito dos elementos hidráulicos dos filtros de areia, como a forma e a posição do sistema defletor para a entrada de água no filtro e do sistema coletor na saída. PUIG-BARGUÉS et al. (2005) desenvolveram equações de perda de carga para filtros de disco, tela e areia, utilizando a metodologia de análise dimensional, e encontraram ajuste satisfatório entre as equações e os dados experimentais.

O desenvolvimento de modelos matemáticos mais precisos que estimem a perda de carga em filtros de areia sob condições pressurizadas que tenham como base a teoria de escoamento em meios porosos e considere as diferenças estruturais entre equipamentos, permitirá a otimização do dimensionamento pela simulação do seu desempenho quando empregado em diferentes condições de operação.

### Elemento filtrante

A escolha correta do elemento filtrante é importante para a eficiência de remoção do filtro. Para HAMAN et al. (1994), a eficiência de filtração dos filtros de areia é medida pela sua capacidade de remover partículas de um determinado tamanho, e seu valor aumenta com a redução da granulometria do elemento. Areias muito grossas podem resultar em filtração ineficiente e permitir o entupimento dos emissores, enquanto areias muito finas podem entupir rapidamente seus poros e requerer retrolavagens freqüentes.

No Brasil, não existem normas específicas para a caracterização de material filtrante utilizado em filtros de areia de irrigação, havendo somente a norma EB-2097 (ABNT, 1990), que fixa as condições para recebimento e colocação de areia, antracito e pedregulho como camada suporte em filtros de abastecimento público de água.

HAMAN et al. (1994) indicaram que, para a seleção correta da areia utilizada em filtros de irrigação, devem ser utilizados dois parâmetros característicos: diâmetro efetivo médio das partículas e coeficiente de uniformidade. A Norma EB-2097 estabelece também o uso desses dois parâmetros na classificação de areia, incluindo uma terceira classificação, que é o nível de reação das partículas de areia com possíveis ácidos presentes na água.

O diâmetro efetivo médio ou tamanho efetivo é definido como a abertura da malha, em mm, da peneira, que permite a passagem de 10% da massa de uma amostra do material poroso. Para irrigação, o seu valor caracteriza o menor diâmetro de partículas na classificação da areia e indica o tamanho da partícula que será removida pelo meio filtrante. A partir do valor do diâmetro efetivo da areia, é possível definir a dimensão das partículas que ficarão retidas no elemento filtrante. Segundo PIZARRO CABELO (1996), ficarão retidas partículas com diâmetros superiores ao intervalo de 1/10 a 1/12 do diâmetro efetivo da camada filtrante. Na Tabela 2, é apresentada a relação entre o diâmetro efetivo médio e o tamanho das partículas a serem removidas pelo elemento filtrante, de acordo com KELLER & BLIESNER (1990).

TABELA 2. Relação entre o diâmetro efetivo médio e o diâmetro de partículas removidas.  
**Relationship between the mean effective diameter and the diameter of removed particles.**

Material Filtrante	Diâmetro Efetivo Médio ( $\mu\text{m}$ )	Tamanho de Partículas Removidas ( $\mu\text{m}$ )
Granito moído	1.900	> 160
Granito moído	1.000	> 80
Areia de sílica	800	> 60
Areia de sílica	550	> 40
Areia de sílica	340	> 20

O coeficiente de uniformidade é definido pela norma EB-2097 (ABNT, 1990), como a relação entre a abertura da malha da peneira, em mm, que permite a passagem de 60% do material poroso, e o seu diâmetro efetivo médio, e seu valor caracteriza a variação do tamanho das partículas de areia dentro do intervalo de sua curva granulométrica. HAMAN et al. (1994) recomendam valor de coeficiente de uniformidade de 1,5 para areias a serem utilizadas em filtros de irrigação, informando que a utilização de areias com coeficientes superiores a esse valor pode ocasionar perdas de material durante a retrolavagem. Já PIZARRO CABELO (1996) considera aceitável areia com coeficientes entre 1,4 e 1,6.

O critério correto de escolha da areia para filtros deve considerar também a retenção de partículas que podem entupir o diâmetro de saída dos emissores instalados no sistema de irrigação da propriedade. HAMAN et al. (1994) citam que, na falta de informações do fabricante, pode-se utilizar a regra de projetar o filtro para reter partículas superiores a 74  $\mu\text{m}$ , o que corresponderia à areia com diâmetro efetivo médio de 0,8 mm. Outro critério existente requer a retenção de partículas com tamanhos maiores que 1/10 do diâmetro do orifício do gotejador e 1/5 do diâmetro do orifício do microaspersor (PIZARRO CABELO, 1996; GILBERT & FORD, 1986; TESTEZLAF, 2006). Devido à relação entre o diâmetro efetivo e as dimensões das partículas retidas no filtro, pode-se afirmar que a areia adequada é aquela com diâmetro efetivo médio igual ao diâmetro mínimo do gotejador e ao dobro do diâmetro mínimo do microaspersor.

Além da escolha correta do diâmetro de areia, PHILLIPS (1995) recomenda que as partículas da areia selecionada devem caracterizar-se por possuírem arestas afiadas e angulares, permitindo,

assim, a criação de um caminho tortuoso para a água, contribuindo para a retirada dos sólidos suspensos e a retenção de algas.

VERMEREIN & JOBLING (1984) afirmam que a espessura da camada filtrante, a vazão e a pressão que a água exerce sobre a superfície da areia, afetam a eficiência de remoção desse equipamento. Recomendam que a altura da camada filtrante dentro do filtro não deve exceder de 0,5 a 1,0 m, de forma a impedir, após a retrolavagem, a formação de espaços com agregados de maior tamanho, reduzindo a eficiência de remoção do filtro. PIZARRO CABELO (1996) recomenda espessuras de camada entre 0,4 e 0,6 m. Afirma que existe um valor crítico para a espessura do meio filtrante a partir do qual a qualidade da água filtrada não apresenta melhora, mas somente aumenta o tempo de contaminação total, requerendo limpezas mais frequentes. Além disso, espessuras excessivas de areia irão dificultar a retrolavagem do filtro.

Um dos fatores que colaboram para o uso inadequado de filtros de areia no Brasil é a falta de informação sobre a classificação do meio poroso baseado em suas características físicas e em seu desempenho hidráulico dentro dos limites recomendados. Dessa forma, é necessária a realização de estudos mais detalhados sobre os efeitos da granulometria no escoamento da água no meio poroso, comparando com os parâmetros de classificação de areias fornecidas pelas empresas que a comercializam e contribuindo para o melhor aproveitamento na filtração da água utilizada na irrigação.

## **Operação e manutenção**

### **Retrolavagem**

Pela retenção das partículas suspensas no meio filtrante, os filtros sujam com o passar do tempo, causando aumento na perda de carga, sendo necessário proceder à limpeza para retirar todas as impurezas retidas e retornar a eficiência de limpeza à condição original. Essa limpeza, que é realizada mediante a mudança na direção de fluxo a partir da tubulação de saída, é denominada de retrolavagem. Assim, tanto a tubulação de entrada deve possuir uma derivação para eliminar a água suja, como o sistema deve permitir essa mudança de direção de forma manual ou automática.

NAKAYAMA & BUCKS (1986) afirmam que não existe uma regra universal para prever com precisão o momento da limpeza do filtro ou da retrolavagem. A maioria dos filtros são retrolavados manualmente a intervalos de tempo predefinidos ou utilizando sistemas automáticos baseados em valores de perda de pressão desenvolvida a partir do entupimento da camada filtrante.

VERMEREIN & JOBLING (1984) afirmam que a frequência de retrolavagem pode variar de algumas horas até vários dias, dependendo do material filtrante e da concentração de materiais em suspensão na água de irrigação. SILVA et al. (2003) recomendam que a retrolavagem deve ser realizada a cada aumento de 10 a 20% da perda de carga correspondente ao filtro limpo. De acordo com KELLER & BLIESNER (1990), a máxima perda de carga que pode ocorrer em um filtro de areia deve ser de 70 kPa, valor confirmado por NAKAYAMA & BUCKS (1986). Por outro lado, DASBERG & BRESSLER (1985) indicam que o filtro deve ser retrolavado quando atingir perda de 100 kPa.

A vazão de retrolavagem tem de ser suficiente para originar a fluidização do leito filtrante, ou seja, a passagem reversa da água pela camada de areia deve determinar um estado de suspensão das partículas de areia na água, com expansão progressiva do leito até certo limite, que possibilite a manutenção da areia dentro do filtro e remova as partículas contaminantes. A vazão de retrolavagem varia com o diâmetro efetivo médio da areia, com a altura da camada filtrante e com o modelo construtivo de filtro. KELLER & BLIESNER (1990) recomendam vazões médias de 7 a 10 L s<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> (25,2 e 36 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>) para diâmetros efetivos médios de areia entre 1.900 e 1.000 µm, e de 14 a 17 L s<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> (50,4 e 61,2 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>) para areias com diâmetros efetivos entre 1.000 e 825 µm. HAMAN et al. (1994) recomendaram vazões de retrolavagem em função do diâmetro do reservatório do filtro e do diâmetro médio efetivo da areia, cujos valores convertidos para o SI estão apresentados na Tabela 3.

TABELA 3. Vazões recomendadas de retrolavagem ( $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ ) e por unidade de área ( $\text{L s}^{-1} \text{m}^{-2}$ ) para diferentes diâmetros efetivos de areia (HAMAN et al., 1994). **Recommended backwash flow rates ( $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ ) and per square meter of filtration surface ( $\text{L s}^{-1} \text{m}^{-2}$ ) for different mean effective size of sand.**

Diâmetro Médio Efetivo ( $\mu\text{m}$ )	Diâmetro do Filtro (mm)				
	457	610	762	914	1.220
1.500	11,6 (19,7)	20,7 (19,7)	32,0 (19,5)	45,7 (19,4)	81,8 (19,4)
780	5,9 (10,0)	10,9 (10,4)	16,8 (10,2)	23,8 (10,1)	42,7 (10,2)
660	7,3 (12,4)	12,9 (12,3)	20,2 (12,3)	28,6 (12,1)	51,1 (12,1)
460	5,9 (10,0)	10,9 (10,4)	16,8 (10,2)	23,8 (10,1)	42,7 (10,2)

Na Tabela 3, é mostrado que os filtros de maior dimensão e com areias de maior granulometria necessitam de maiores valores de vazão para a realização da retrolavagem, exigindo, assim, maior capacidade de bombeamento para garantir a pressão e a vazão requeridas para a boa limpeza. Dessa forma, recomenda-se que, no caso de projeto de sistemas de irrigação de grande porte, seja utilizado maior número de filtros com menor capacidade, em vez de poucos filtros com alta capacidade, devido ao elevado valor da vazão de retrolavagem requerida para a limpeza adequada desses equipamentos (ENGLISH, 1985)

A complexidade da definição do valor correto da vazão de retrolavagem deve-se ao fato de essa determinação ser função 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. Outro problema que ocorre na retrolavagem são as perdas de água durante a sua operação, que, dependendo da forma de manutenção e do tempo utilizado pelo agricultor, pode atingir valores excessivos. Um dos aprimoramentos no processo foi estudado por CHIPPS et al. (1995), que recomendaram a realização da retrolavagem com a introdução conjunta de ar e água com vazão abaixo do valor de fluidização do leito, o que garantiria a remoção das impurezas e manteria os valores de perda de carga próximos à condição de filtros pouco sujos, permitindo o desempenho do filtro por maior tempo.

SUMMERFELT & CLEASBY (1996) aplicaram técnicas para calcular parâmetros hidráulicos de fluidização em leitos granulares, com o objetivo de desenvolver unidades de leitos fluidizados biológicos para a aplicação em aquícultura. Esses conceitos podem ser aplicados com modificações para cálculos de vazões de retrolavagem em filtros de areia, respeitando as características dos meios filtrantes utilizados nesses equipamentos. HALL & FITZPATRICK (1998) desenvolveram modelo matemático derivado da teoria de leitos fluidizados para a remoção e a separação do sedimento durante a retrolavagem de filtros pressurizados. Concluíram que a concentração produzida durante a retrolavagem foi predita com boa correlação com os dados de turbidez.

Os catálogos dos fabricantes brasileiros de filtros trazem pouca informação sobre a vazão de retrolavagem, devido às dificuldades de estimar esse parâmetro. Por outro lado, mesmo tendo disponível um valor recomendado, o agricultor ainda enfrentaria o desafio de regular corretamente em campo o valor da vazão de retrolavagem. Essa dificuldade faz com que, muitas vezes, ocorram perdas de areia junto com o refluxo, devido ao uso de vazões excessivas, ou ocasionam a falsa impressão de limpeza, pela aplicação de vazões menores que as recomendadas, causando a colmatação da camada filtrante.

## CONCLUSÕES

Várias são as razões para que filtros de areia estejam operando deficientemente em campo e comprometendo o desempenho dos sistemas de irrigação. Entre as questões mais relevantes estão os erros de seleção de equipamentos e dos elementos filtrantes, e a inadequada operação de campo.



A apresentação desta revisão de literatura, relacionando-se informações práticas com conhecimento científico, busca contribuir para que as discussões sobre filtros de areia sejam ampliadas a fim de que as funções operacionais estabelecidas para o equipamento sejam plenamente alcançadas.

A busca por inovações na área de filtração deve ser constante para os pesquisadores na área de irrigação, pois existe falta de informações sobre a operação dos filtros de areia sob as condições de qualidade de água existentes no Brasil, distinta dos recursos hídricos dos países onde essas tecnologias foram desenvolvidas.

## REFERÊNCIAS

- ASAE EP405.1. *Design and installation of microirrigation systems*. St Joseph: ASAE STANDARDS Dec.92., 1993. 5 p.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. EB 2097: *Material filtrante - areia, antracito e pedregulho* – Especificação. 1990. 7 p.
- BENHAM, B.; ROSS, B. *Filtration, treatment, and maintenance: considerations for micro-irrigation systems*. Virginia Cooperative Extension, 2002. 8 p. (Publication 442-757).
- BUI, W. Experience with fiberglass filters in Hawaii's Sugar Industry. In: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 15., 1995, Orlando. *Proceedings...* Orlando: ASAE, 1995. p.592-6.
- CHIPPS, M.J.; BAUER, A.J.; BAYLEY, R.G. Achieving enhanced filter backwashing with combined air scour and sub-fluidizing water at pilot and operational scale. *Filtration & Separation*, Amsterdam, v.32, n.1, p.55-62, 1995.
- DASBERG, S.; BRESSLER, E. *Drip irrigation manual*. Bet Dagan: International Irrigation Information Center, 1985. 95 p.
- DEHGHANISANIJ, 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.
- ENGLISH, S.D. Filtration and water treatment for micro-irrigation. In: INTERNATIONAL DRIP/TRICKLE IRRIGATION CONGRESS, 3., 1985, Fresno. *Proceedings...* St. Joseph: ASAE. 1985. v.I, p.50-7.
- GILBERT, R.G.; FORD, H.W. Operational principles. In: NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. *Trickle irrigation for crop production: design, operation and management*. Amsterdam: Elsevier, 1986. chap. 3, p.148-63.
- HALL, D.; FITZPATRICK, C.S.B. A mathematical filter backwash model. *Water Science and Technology*, Amsterdam, v.37, n.12, p.371-9, 1998.
- HAMAN, D.Z.; SMAJSTRLA, A.G.; ZAZUETA, F.S. *Media filters for trickle irrigation in Florida*. Gainesville: University of Florida, 1994. 5 p. (Fact Sheet AE-57)
- KELLER, J.; BLIESNER, R.D. *Sprinkle and trickle irrigation*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.
- MATSURA, E.E.; TESTEZLAF, R.; ALMEIDA NETO, J.A. Perda de carga nos filtros de areia e tela do sistema de irrigação por gotejamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 18., 1989, Recife. *Anais...* Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1991. v.2, p.584-607.
- NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. *Trickle irrigation for crop production: design, operation and management*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1986. 383 p.

- 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 CABELO, F. *Riegos localizados de alta frecuencia*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1996. 511 p.
- PUIG-BARGUÉS, J.; RAMÍREZ DE CARTAGENA, F.; BARRAGÁN, J. Development of equations for calculating the head loss in effluent filtration in microirrigation systems using dimensional analysis. *Biosystems Engineering*, London, v.192, n.3, p.383-90, 2005.
- RATTASUK, N. Effectiveness of iron removal from synthetic groundwater using ungraded sand charcoal and burnt rice husk. *Journal of Environmental Research*, Thailand, v.14, n.1, p.9-20, 1992.
- 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)
- SMITH P.G.; GABER, A. The use of limestone bed filtration for the treatment of ferruginous groundwater. *Journal of the Institution of Water and Environmental Management*, London, v.9, n.2, p.192-8, 1995.
- SUMMERFELT, S.T.; CLEASBY, J.L. A review of hydraulics in fluidized-bed biological filters. *Transactions of ASAE*, St. Joseph, v.39, n.3, p.1.161-73, 1996.
- TESTEZLAF, R. Técnicas de filtragem para irrigação. In: SIMPÓSIO DE CITRICULTURA IRRIGADA, 4., 2006, Bebedouro. *Anais...* Bebedouro: GTACC, 2006. 1 CD-ROM.
- TESTEZLAF, R.; MATSURA, E.E. Efeito da camada filtrante na perda de carga de filtros de areia. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 15., 2005, Teresina. *Anais...* Brasília: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 2005. v.1, p.1-6.
- TRUSSEL, R.R.; CHANG, M. Review of flow through porous media as applied to head loss in water filters. *Journal of Environmental Engineering*, Reston, v.25, n.11, p.998-1.006, 1999.
- VERMEREIN, L.; JOBLING, G.A. *Localized irrigation*. Rome: FAO, 1984. 203 p. (Irrigation and Drainage, Paper 36)
- ZIER, K.R.; HILLS, J.D. Trickle irrigation screen filter performance as affected by sand size and concentration. *Transactions of ASAE*, St. Joseph, v.30, n.3, p.735-9, 1987.