

COMPARAÇÃO DE ELEMENTOS FILTRANTES NO GRAU DE OBSTRUÇÃO EM IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO

TULIO A. P. RIBEIRO¹, JOSÉ E. S. PATERNIANI²

RESUMO: Esta pesquisa teve como finalidade mostrar a variação da qualidade da água e sua influência na perda de carga de dois sistemas de filtragem (filtro de disco e manta sintética não tecida) utilizados em um sistema de irrigação localizada por gotejamento. Utilizou-se água de um reservatório aberto, onde foi instalado um módulo de irrigação localizada para o estudo. Para melhor comparação dos filtros, foram utilizados dois índices de uniformidade de distribuição de água para verificar o grau de entupimento dos gotejadores. A pesquisa foi desenvolvida em quatro etapas de 30 dias, realizadas em diferentes estações do ano. Em cada etapa, foram analisados os principais parâmetros físicos, químicos e biológicos da água de irrigação que causam problemas de entupimento nos emissores: sólidos suspensos, turbidez, pH, ferro, manganês, sulfetos, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos, dureza, índice de Langelier, algas e bactérias. Os resultados mostraram que os parâmetros químicos que apresentaram médio risco de obstrução aos emissores, foram: pH, ferro e sulfetos. Os parâmetros físicos e biológicos analisados apresentaram baixo risco de entupimento nos gotejadores. No filtro de manta sintética não tecida, a evolução da perda de carga foi mais acentuada e mais rápida em relação ao de disco.

PALAVRAS-CHAVE: qualidade de água, manta sintética não tecida, filtragem.

COMPARACION OF FILTER ELEMENTS IN OBSTRUCTION LEVEL IN DRIP IRRIGATION

ABSTRACT: The research had as objective to show the variation of water quality and its influence in the head loss of two filtration systems (disc filter and non-woven synthetic fabrics) used in a dripper irrigation system. For a better comparison of the filters were used two water uniformity distribution index to estimate the obstructions of emitters and analyzed the main physical, chemical and biological parameters of the irrigation water causing problem of obstruction in drippers during of the period of one year.. The evaluation criterions of the impurities in the irrigation water were based on the studies of the trickle irrigation systems. The parameters analyzed were: pH, turbidity, suspended solids, dissolved solids, EC, hardness, Langelier index, total iron, sulphites, algae and bacterium. The source of water used in this experiment was from an open reservoir, where it has been installed an experimental trickle irrigation system. The research was developed in four phases of 30 days each, in different seasons of year. The interpretation of the results showed that the chemical factors, which presented medium risk of clogging for the emitters, were pH and the concentration of iron and sulphites. The physical and biological analyzed parameters of water quality showed low risk of clogging in the drippers. In the filter of non-woven synthetic fabrics the evolution of head loss was sharper and faster than in the disc filter.

KEYWORDS: water quality, non woven synthetic fabric, filtration.

¹ Dr., Pesquisador Técnico, Feagri/Unicamp, Campinas - SP.

² Prof. Titular, Feagri/Unicamp, Campinas - SP.

Recebido pelo Conselho Editorial em: 10-10-2011

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 15-1-2013

INTRODUÇÃO

Devido ao avanço tecnológico na agricultura irrigada, que visa a métodos de irrigação que resultam em redução nos custos de produção e consumo de água e energia, o uso da irrigação localizada vem crescendo cada vez mais. No entanto, segundo MOURA et al. (2007), um problema frequente neste tipo de sistema de irrigação é o entupimento dos emissores, que está diretamente relacionado com a qualidade da água e a eficiência do sistema de filtragem. Normalmente, as obstruções são causadas pela combinação de fatores físicos, químicos e biológicos presentes na água de irrigação. Com a finalidade de remover partículas sólidas em suspensão e material biológico, tais como algas e bactérias presentes na água de irrigação, que são responsáveis pelo entupimento dos emissores, são utilizados filtros. BUSATO et al. (2012) comentam que ferro e manganês, em elevados teores, são os principais causadores das obstruções dos emissores em sistemas de irrigação localizada. Estes elementos, ao entrarem em contato com o oxigênio atmosférico ou incorporado à água, oxidam-se, passando para as formas Fe^{3+} e Mn^{4+} , de baixo coeficiente de solubilidade, e precipitam-se facilmente no interior das tubulações e dos emissores, impedindo ou dificultando a passagem normal da água.

PATERNIANI & SCATOLINI (2003), mostraram a viabilidade do uso de mantas não tecidas como elemento filtrante em filtros para irrigação localizada. As mantas sintéticas não tecidas são geralmente fabricadas com fibras de polipropileno, poliamida e poliéster, possuem alta porosidade (cerca de 80% a 90%, enquanto a areia apresenta porosidade em torno de 45%) e alta superfície específica.

Este trabalho tem como objetivo apresentar resultados de investigações experimentais que visaram a determinar:

I- a variação, em quatro estações do ano, dos parâmetros físicos, químicos e biológicos da água de irrigação que causam problemas de entupimento nos emissores;

II- comparar o desempenho dos elementos filtrantes de disco (130 μm) e a manta sintética não tecida, através dos seguintes itens:

- a evolução da perda de carga, em função do volume filtrado de dois filtros,
- o grau de entupimentos das parcelas do sistema de irrigação por gotejamento, através de dois índices de uniformidade de distribuição de água.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de Campinas, Estado de São Paulo. Os critérios para a avaliação das impurezas presentes na água de irrigação foram baseados nas citações de estudos realizados em sistemas de irrigação localizada, apresentados por ALMEIDA (2010). A água usada no experimento era proveniente de um reservatório com volume de 2.500 m^3 , constituído de um pequeno açude, que é abastecido pelo bombeamento de água de uma pequena represa, na qual ocorre a contribuição hídrica de outras nascentes que estão ao seu redor.

Equipamento

Na área experimental, foi montado um sistema de irrigação composto de uma motobomba centrífuga, um controlador automático de irrigação, duas válvulas elétricas com solenoide, gotejadores, um sistema de aquisição de dados (*datalogger*), dois transdutores diferenciais de pressão, dois reguladores de pressão, três hidrômetros digitais tipo turbina com faixa de vazão de 0,6 a 6 $m^3 h^{-1}$, dois manômetros, sistema de injeção de fertilizantes constituído de uma bomba dosadora tipo pistão, sistema de filtragem composto de dois filtros, sendo um filtro de disco (de 130 microns e diâmetro de 25,4 mm) e um de manta sintética (Figura 1).

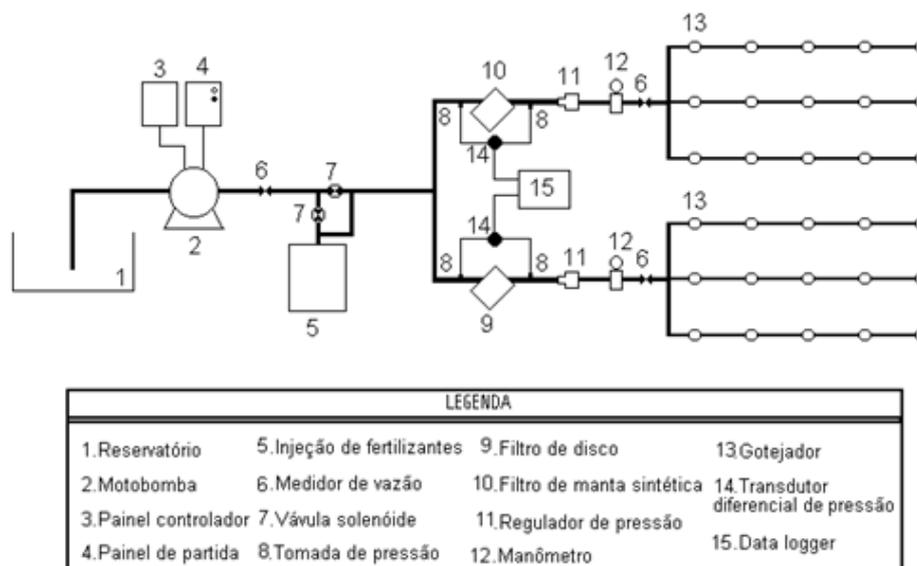


FIGURA 1. Esquema do experimento utilizado na pesquisa. **Irrigation system schema.**

No sistema de injeção, utilizou-se um fertilizante organomineral para aplicação via água de irrigação. O produto apresentou-se na forma líquida, e sua densidade é de 1.27 g cm^{-3} . Sua composição, segundo o fabricante, é de 25% de matéria orgânica, 3% de nitrogênio total e 9% de potássio na forma de K_2O .

A estrutura dos dois filtros era igual e foram confeccionadas com plástico, sendo diferentes apenas quanto ao elemento filtrante. Desta maneira, pôde-se garantir semelhança funcional entre os filtros. A escolha do filtro tipo manta sintética não tecida foi feita seguindo o procedimento de RIBEIRO et al. (2008c). A manta sintética não tecida utilizada como meio filtrante possui permeabilidade normal de $0,5 \text{ cm s}^{-1}$, permissividade de $1,6 \text{ s}^{-1}$, abertura dos poros de $0,150 \text{ mm}$, gramatura de 380 g m^{-2} e espessura de $3,8 \text{ mm}$.

O conjunto motobomba alimentou os dois filtros colocados em paralelo e, portanto, sob as mesmas condições de perda de carga. A vazão média através de cada filtro foi de $0,6 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e, para garantir pressão igual nos filtros, foram instalados reguladores de pressão de $69,94 \text{ kPa}$.

O controlador de irrigação foi programado para acionar o sistema duas vezes ao dia. Cada turno de rega tinha duração de duas horas, sendo que, durante uma hora e quarenta e cinco minutos, havia injeção de fertilizantes na linha principal do sistema. Nos quinze minutos finais de cada ciclo, havia uma limpeza das linhas laterais com a irrigação sem fertilizantes, a fim de evitar o acúmulo de material que representasse risco de entupimento aos emissores.

As amostragens da água do reservatório foram realizadas durante um ano, em quatro etapas, para abranger todas as estações do ano. Nas amostragens de campo foram determinados fatores relacionados com a qualidade de água para irrigação localizada, os quais poderiam causar obstrução nos gotejadores, como: pH, sólidos em suspensão (Ss), turbidez, condutividade elétrica (Ec), sólidos dissolvidos, ferro (Fe), sulfetos de hidrogênio (H_2S), manganês (Mn), dureza, índice de Langelier, concentração de algas e bactérias. O ponto de coleta era localizado na linha principal de irrigação, depois do sistema de bombeamento e antes do sistema injetor de fertilizantes. A classificação da água para o sistema de irrigação localizada por gotejamento, em relação a problemas de entupimentos devido a fatores físicos, químicos e biológicos, seguiu recomendações citadas por ALMEIDA (2010).

Para a determinação dos valores de sólidos dissolvidos na água, foi utilizada uma razão de proporcionalidade entre os valores de condutividade elétrica medidos relativos a este parâmetro. A relação para a determinação dos sólidos dissolvidos é dada por:

$$SD = Ec \cdot 640 \quad (1)$$

em que,

SD - sólidos dissolvidos mg L^{-1} , e

Ec - condutividade elétrica mS cm^{-1} .

Para a análise dos problemas de entupimentos relacionados com o bicarbonato (Bc), utilizou-se o índice de saturação de Langelier para analisar o risco de precipitação de CaCO_3 , segundo estudos mostrados por ALMEIDA (2010). Este índice indica a tendência de precipitação do CaCO_3 presente na água de irrigação; valores positivos indicam uma tendência do CaCO_3 de se precipitar, enquanto os negativos indicam que o CaCO_3 mantém-se em solução (ALMEIDA, 2010). Para a classificação da água do reservatório com relação à dureza, utilizou-se o mesmo critério utilizado por RIBEIRO et al. (2008c).

A determinação da população bacteriana foi realizada pelo método de contagem em placa de Petri, utilizando ágar (triptona, glucose e extrato de levedura) como meio de cultura e tempo de contagem de 48 horas (APHA, 1992a). A contagem de algas foi realizada pelo método de Sedgwick-Rafter, de acordo com o "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (APHA, 1985). Foram realizadas duas análises microbiológicas para a determinação dos principais gêneros de algas e bactérias encontradas nas mangueiras e gotejadores, em intervalos de 6 meses. Nas análises microbiológicas para a identificação dos gêneros de bactérias presentes no orifício de entrada, na parte interna e na saída do emissor das mangueiras dos dois sistemas de filtragem, foram realizadas pesquisas com bactérias dos gêneros *Pseudomonas* e *Micrococcus*. Para as bactérias sulfato redutoras e férricas, foi realizado um teste presuntivo para saber se ambas estavam presentes no material coletado. Contudo, elas não foram identificadas.

No monitoramento da perda de carga nos filtros, foram utilizados transdutores diferenciais de pressão com tomadas de pressão situadas antes e depois dos filtros. Os dados eram armazenados em um sistema de aquisição de dados (*datalogger*). O aumento da perda de carga em função da retenção de impurezas nos filtros foi determinado em função do volume filtrado. A limpeza dos filtros era realizada em diferenciais de pressão superiores a 40 kPa.

Os dois índices de uniformidade de distribuição de água utilizados para a determinação do grau de entupimento dos gotejadores foram o coeficiente de Uniformidade Estatística de Emissão (U_s) e outro baseado na metodologia proposta por BRALTS & KESNER (1983). Para o cálculo do coeficiente de uniformidade estatística de emissão (U_s), foram tomadas medidas de vazão em 60 gotejadores de cada parcela, e para a determinação do outro índice, foram selecionados seis gotejadores no início das linhas laterais de gotejamento, seis na metade e seis no final das mesmas, totalizando 18 gotejadores. Este procedimento era realizado duas vezes por semana, totalizando média de nove a 12 medições, conforme a época do ano.

O Coeficiente de Uniformidade Estatística de Emissão (U_s) é definido de acordo com a eq.(2):

$$U_s = 100 (1 - CV) \quad (2)$$

em que,

U_s - uniformidade estatística de emissão, em %, e

CV - coeficiente estatístico de variação de vazão dos emissores, em %.

BRALTS & KESNER (1983) recomendam, no mínimo, 18 medições de vazões dos gotejadores, aleatoriamente, na área irrigada. Através destas medidas, foi desenvolvido um nomograma estatístico de uniformidade, baseado num coeficiente estatístico de variação que pode ser usado para determinar a uniformidade de aplicação de água total no campo. Para mais detalhes sobre a metodologia de cálculo deste coeficiente de uniformidade de água, ver trabalho desenvolvido por SMAJSTRLA et al. (1985).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos parâmetros analisados na água do reservatório, durante as quatro etapas do ano, estão apresentados na Tabela 1. De maneira geral, pode-se afirmar que a qualidade da água utilizada para a irrigação do sistema de gotejamento variou durante as diferentes épocas do ano, sendo que o risco potencial de entupimento dos gotejadores só foi médio ou alto com relação aos parâmetros químicos (ferro, sulfetos e pH).

Os valores de pH encontrados no decorrer desta pesquisa apresentaram risco médio de dano ao sistema de irrigação, na primeira e na terceira etapas, e baixo na quarta, de acordo com a classificação citada (ALMEIDA, 2010). De acordo com estudos sobre a influência da qualidade da água no entupimento de sistemas de irrigação localizada, realizados por FRANCO & HERNANDEZ (2009) e RIBEIRO et al. (2005), os autores encontraram valores com maiores médias de pH entre 7,5 e 7,3, respectivamente, que indicam risco moderado de entupimento. No município de Campinas, utilizando água de reservatório abastecido por uma represa, RIBEIRO et al. (2008c) evidenciaram risco moderado de entupimento em sistema de irrigação por gotejamento, segundo a mesma classificação adotada nesta pesquisa.

O ferro foi o parâmetro que apresentou, de acordo com a classificação, médio risco de dano à operação do sistema de irrigação localizada por gotejamento durante todo o período. A presença de ferro em elevadas concentrações caracteriza-se como o principal problema de qualidade de água em irrigação localizada e teve no oeste paulista o primeiro relato feito por MOURA et al. (2010), caracterizando uma situação de grave problema. Este problema é devido à precipitação em consequência da oxidação deste elemento. Isso ocorre porque o ferro reduzido (Fe^{2+}) e, portanto, solúvel, ao atravessar o sistema de filtragem, pode oxidar-se, tornando-se insolúvel (Fe^{3+}), e acaba precipitando-se e causando obstrução dos emissores, segundo MARTINS et al. (2010). RIBEIRO & PATERNIANI (2008) encontraram na captação de um sistema de irrigação localizada valor de $2,3 \text{ mg L}^{-1}$ de ferro, e dentro do sistema valores que variaram entre 2,8 a $3,1 \text{ mg L}^{-1}$ devido à precipitação em consequência da oxidação deste elemento.

TABELA 1. Fatores físicos, químicos e biológicos na água de irrigação durante as quatro etapas do ano. **Physical, chemical, and biological parameters of the irrigation water in four phases of the year.**

	Parâmetros da Água de Irrigação											
	Físico			Químicos					Biológicos			
	Sol. Susp. (mg L^{-1})	Turbidez (NTU)	pH	Ferro (mg L^{-1})	Sulfetos (mg L^{-1})	E.C. ⁴ (mS cm^{-1})	Sol. Dis. (mg L^{-1})	Dureza (mg L^{-1})	Índice Langelier	Algas ($\text{n}^\circ\text{cm}^{-3}$)	Bactérias ($\text{n}^\circ\text{cm}^{-3}$)	
Etapa 1	Variação	1,0 - 5,0	1,82 - 3,88	7,1 - 7,5	0,4 - 1,0	1,0 - 2,0	0,045 - 0,076	28,8 - 48,64	20,22 - 26,63	(-2,07) - (-1,39)	165 - 1295	270 - 6500
	Média	2,67	2,83	7,33	0,52	1,10	0,06	37,70	22,93	-1,95	497	2438
	Desvio ¹	1,51	0,68	0,23	0,18	0,32	0,01	6,33	2,14	0,30	345	2812
	Coef. Var. ² (%)	56,46	24,18	3,09	33,68	28,75	16,80	16,79	9,32	15,57	69,46	115,36
	Risco de entupimento ³	B	S/C	M	M	M	S/C	B	S/C	S/C	S/C	B
Etapa 2	Variação	8,5 - 13,5	5,19 - 11,9	6,4 - 8,1	0,5 - 1,7	1,0 - 9,0	0,044 - 0,06	26,8 - 38,40	20,2 - 22,7	(-2,62) - (-1,90)	930 - 1820	1 - 7000
	Média	10,96	8,27	7,39	1,10	2,42	0,05	32,21	20,71	-1,95	1377	1202
	Desvio ¹	1,37	1,91	0,46	0,38	2,27	0,01	3,68	1,04	0,42	287	2065
	Coef. Var. ² (%)	12,53	23,13	6,23	34,89	94,13	9,96	11,42	5,00	21,53	20,88	171,81
	Risco de entupimento ³	B	S/C	M	M	A	S/C	B	S/C	S/C	S/C	B
Etapa 3	Variação	12,5 - 19	7,12 - 16,9	6,8 - 7,8	0,2 - 1,0	1,0 - 5,0	0,042 - 0,056	26,88 - 35,84	13,77 - 19,29	(-2,96) - (-0,98)	120 - 705	10 - 760
	Média	17,61	11,30	7,13	0,74	2,83	0,05	31,72	17,96	-2,23	459	223
	Desvio ¹	4,17	2,93	0,42	0,26	1,17	0,01	2,64	1,96	0,66	179	236
	Coef. Var. ² (%)	23,66	25,95	5,86	34,97	41,39	8,33	8,33	10,90	29,76	38,97	105,74
	Risco de entupimento ³	B	S/C	M	M	A	S/C	B	S/C	S/C	S/C	B
Etapa 4	Variação	16,0 - 23,5	7,45 - 14,5	6,6 - 7,3	0,0 - 1,0	2,0 - 16	0,032 - 0,090	20,48 - 57,60	20,68 - 22,96	(-3,63) - (-2,07)	205 - 950	200 - 5400
	Média	19,7	10,14	6,88	0,48	3,50	0,059	38,02	21,25	-2,566	512	1702
	Desvio ¹	2,51	2,23	0,19	0,32	4,40	0,017	10,65	0,72	0,425	216	1798
	Coef. Var. ² (%)	12,78	21,97	2,89	66,46	125,81	28,00	28,00	3,37	16,57	42,12	105,62
	Risco de entupimento ³	B	S/C	B	M	A	S/C	B	S/C	S/C	S/C	B

¹ Desvio-padrão da média; ² Coeficiente de variação; ³ B: baixo risco; M: médio risco; A: alto risco; S/C: sem classificação.

De acordo com RIBEIRO et al. (2008c), os valores da dureza da água do reservatório durante as quatro etapas do ano foram considerados de baixo potencial de entupimento com relação à formação de precipitados de CaCO_3 . Isto também pode ser confirmado através dos resultados dos valores do índice de Langelier calculado que sempre foram negativos, indicando que não há problema na formação de precipitados de acordo com ALMEIDA (2010).

Os valores da condutividade elétrica indicaram que a água utilizada para a irrigação tem salinidade muito baixa, de modo que ocorreram poucas variações ao longo de todas as quatro etapas. Isto é confirmado pelos valores das concentrações de sólidos dissolvidos que não foram elevados, ou seja, todas as amostras analisadas ficaram no potencial de baixo risco que possui concentração inferior a 500 mg L^{-1} , segundo ALMEIDA (2010).

O sulfeto foi o parâmetro que apresentou risco alto ao sistema de irrigação na segunda e quarta etapas e médio na primeira, de acordo com a classificação citada por ALMEIDA (2010). O autor relata que os valores apresentados neste estudo podem ocasionar o desenvolvimento de bactérias sulfurosas, como a *Thiothix nivea*, dentro do sistema de irrigação. Elas formam uma massa gelatinosa que obstrui filtros e emissores.

Foi notório o crescimento constante dos valores médios, tanto de turbidez, quanto da concentração de sólidos suspensos da água do reservatório de irrigação. Mesmo crescendo, na média, cerca de nove vezes da primeira para a quarta etapa, a concentração de sólidos suspensos não atingiu magnitudes muito elevadas, a ponto de oferecer riscos médios ou altos de entupimento dos emissores, de acordo com a classificação apresentada por ALMEIDA (2010). Os maiores valores de sólidos suspensos foram constatados nos meses mais chuvosos. Este comportamento também foi observado em estudo sobre a qualidade da água de irrigação feito por FRANCO & HERNANDEZ (2009).

A turbidez é um indicador de sólidos suspensos, mas somente ela não é um parâmetro preciso para se determinar o grau de risco de entupimento de emissores para fontes de água superficial. Estudos feitos por RIBEIRO et al. (2008c) constataram a ocorrência de alta correlação significativa entre turbidez e sólidos suspensos, com valor de coeficiente de determinação da regressão (R^2) de 0,834.

As concentrações de algas e bactérias apresentaram coeficientes de variação elevados durante cada estação do ano, como também variações significativas entre as estações. A mudança dinâmica da população de algas pode representar um risco ao sistema se não houver um tratamento eficiente da água de irrigação e indica uma grande sensibilidade destes organismos com relação à variação da qualidade da água. As variações sazonais de algas em regiões tropicais, onde a luz e a temperatura da água não variam muito durante o ano, são devidas ao efeito das chuvas ou seca, e fundamentalmente da ação dos ventos. A coincidência entre uma ligeira diminuição da temperatura e aumento da intensidade e da duração de ventos pode causar a circulação da água em profundidades maiores e, conseqüentemente, uma variação brusca na concentração de algas. Para estudos quantitativos de algas, há necessidade de se levar em conta que a distribuição espacial das populações de algas não é uniforme e que variações, tanto sazonais quanto espaciais, podem ser apreciáveis. Não há um método universal para a coleta de amostra que garanta a presença de todas as formas dos organismos fitoplanctônicos, pois há uma grande diversidade de tamanho, amostra e mobilidade de algumas espécies algais (SPELLMAN, 2006). Estudos realizados por RIBEIRO et al. (2008b), sobre problemas de entupimentos devido a problemas biológicos, indicaram a ocorrência de entupimentos nos gotejadores devido à alta concentração de algas presente na água que abastecia o sistema de irrigação localizada por gotejamento, que foram causados pela presença de fósforo, cuja concentração era de 1 mg L^{-1} .

Nas concentrações de bactérias, também foram verificadas mudanças rápidas em seus valores. Estas mudanças bruscas foram constatadas através das variações das medidas feitas na água do reservatório em laboratório. As variações bruscas do crescimento bacteriano são devidas às diferentes condições do meio ambiente, como temperatura, pH, necessidade de oxigênio e

nutrientes (TUNDISI et al., 2006). Para a maioria das bactérias, o pH ótimo de crescimento localiza-se entre 6,5 e 7,5. O pH da água do reservatório variou, em média, de 7,39 (segundo período de coleta) a 6,88 (terceiro período de coleta). Quando ocorrem mudanças bruscas de valores com relação aos parâmetros biológicos, devido a fatores relacionados com o meio ambiente, pode haver o comprometimento da eficiência de filtragem dos sistemas de irrigação localizada e, conseqüentemente, a ocorrência de problemas de obstrução dos emissores (ALMEIDA, 2010).

Evolução da perda de carga versus volume filtrado para os sistemas de filtragem

As Figuras 2, 3, 4 e 5 contêm os resultados das quatro etapas da pesquisa referentes à evolução da perda de carga localizada nos dois filtros de irrigação ao longo do tempo. A perda de carga apresenta um crescimento contínuo até um momento em que há uma queda abrupta; em seguida, há novo crescimento seguido de nova queda, e assim sucessivamente. As quedas mais bruscas, em que a perda de carga retorna a um valor abaixo de 20 kPa, representam os momentos de lavagem do elemento filtrante, ao passo que quedas de menor intensidade representam apenas a transição entre um turno de irrigação e o seguinte. A evolução da perda de carga no filtro de manta é muito mais rápida que aquela observada no filtro de disco na primeira etapa (Figura 2). A perda de carga no filtro de manta, inicialmente, apresentou maior crescimento ao longo do tempo. Neste primeiro período de experimentação, a qualidade da água do reservatório esteve sempre muito boa, com baixas concentrações de sólidos suspensos, algas e bactérias (Tabela 1). Nesta fase, não foi necessário realizar qualquer operação de limpeza no filtro de disco, e a perda de carga desenvolvida foi praticamente estável, situando-se no intervalo de 5 a 10 kPa.

Nesta primeira etapa da pesquisa, houve necessidade de efetuar a limpeza do filtro de manta quatorze vezes, enquanto o filtro de disco não precisou ser lavado. As limpezas dos elementos filtrantes eram realizadas entre os turnos de rega, manualmente e com água de abastecimento urbano.

Nesta segunda etapa (Figura 3), houve piora da qualidade da água evidenciada pelo aumento dos valores médios obtidos para as concentrações dos parâmetros sólidos suspensos, turbidez e algas analisadas (Tabela 1). Assim como ocorrido na primeira fase da pesquisa, na segunda etapa, a evolução da perda de carga desenvolvida no filtro de manta foi mais rápida que no filtro de disco.

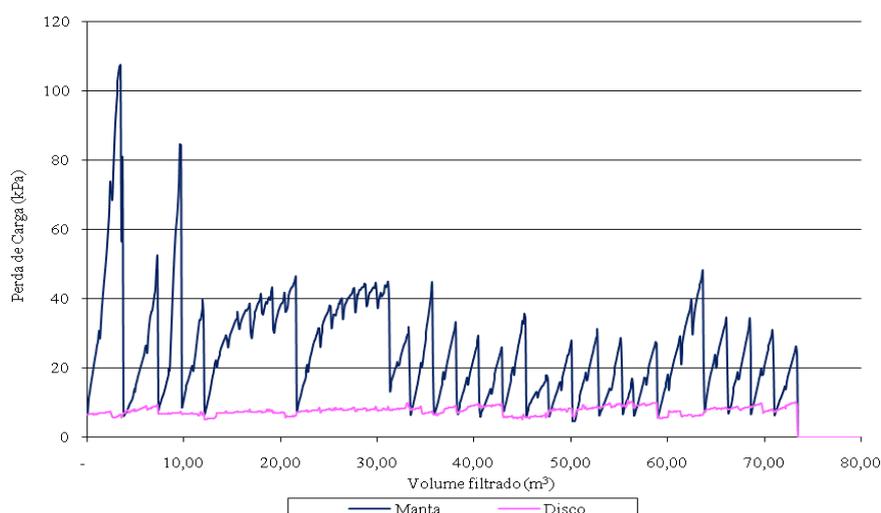


FIGURA 2. Variação da perda de carga versus volume filtrado para filtros de disco e manta sintética não tecida na primeira etapa. **Variation of the head loss versus filtered volume for the disc and non-woven synthetic filters in the first phase.**

Foram necessárias cinco lavagens no filtro de manta e nenhuma no filtro de disco. Com a piora da qualidade da água de irrigação, a perda de carga variou de 5 a 35 kPa no filtro de disco, estando mais frequentemente entre 20 e 30 kPa durante toda a segunda etapa. Observou-se que a

evolução da perda de carga dos filtros, na segunda fase, nunca foi superior a 60 kPa, enquanto na primeira este fato ocorreu várias vezes, apesar de a qualidade da água nesta fase ser melhor que a da segunda. Isto aconteceu porque durante a segunda fase ocorreu deformação da manta sintética nos dois filtros devido à pressão do sistema, indicando a necessidade de uma estrutura mais reforçada na parte interna do filtro como suporte da manta.

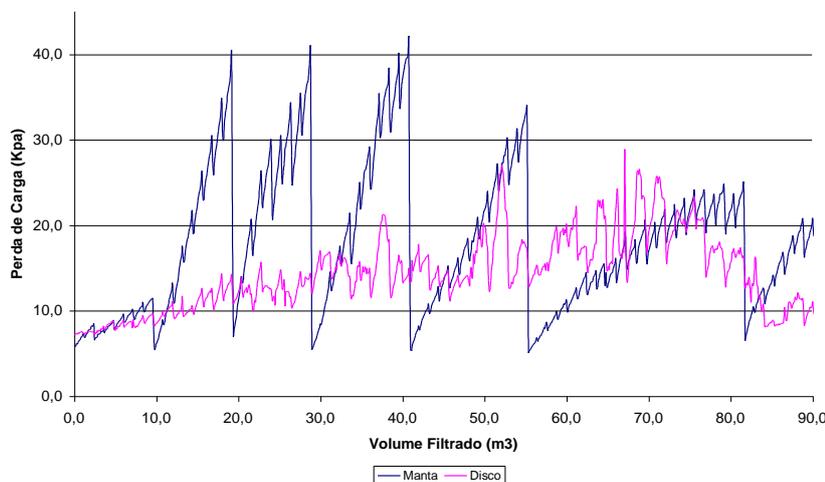


FIGURA 3. Variação da perda de carga versus volume filtrado para filtros de disco e manta sintética não tecida na segunda etapa. **Variation of the head loss versus filtered volume for the disc and non-woven synthetic filters in the second phase.**

As tendências observadas na primeira e segunda etapas repetiram-se na etapa seguinte, ou seja, houve maior necessidade de limpeza dos filtros em função desta piora da qualidade da água na terceira etapa. No filtro de manta, foram realizadas doze operações de limpeza, sendo que, em alguns casos, a perda de carga chegou a valores de 110 kPa pela rapidez da elevação das perdas localizadas (Figura 4). No filtro de disco, foram necessárias sete limpezas no período.

A piora na qualidade da água do reservatório, nesta terceira etapa, evidenciada pelo aumento da média da concentração de sólidos em suspensão e turbidez na água do reservatório (Tabela 1), provocou rápida elevação na perda de carga dos filtros. Em diversos momentos, a perda de carga no filtro de manta ultrapassou 50 kPa devido à rapidez com que o material em suspensão da água promovia uma obstrução dos poros dos elementos filtrantes, já que a proposta era efetuar a limpeza dos filtros sempre que a perda de carga localizada atingisse 40 kPa. Estes resultados corroboram os encontrados por RIBEIRO et al. (2008c), que, estudando sistemas de irrigação localizada em que utilizaram filtros para retenção de partículas, observaram que, com a piora da qualidade da água devido aos parâmetros sólidos suspensos e turbidez, houve aumento no número de retrolavagens dos filtros devido à perda de carga em função do volume filtrado.

Na quarta etapa (Figura 5), as concentrações médias de sólidos em suspensão e turbidez atingiram seus maiores valores (Tabela 1); por conta disto, os filtros operaram em condições mais severas. Assim como nas fases anteriores, a evolução da perda de carga desenvolvida no filtro com manta sintética não tecida foi superior àquela desenvolvida no filtro de disco. Em alguns momentos, a perda de carga no filtro de disco ultrapassou rapidamente a perda máxima programada de 40 kPa.

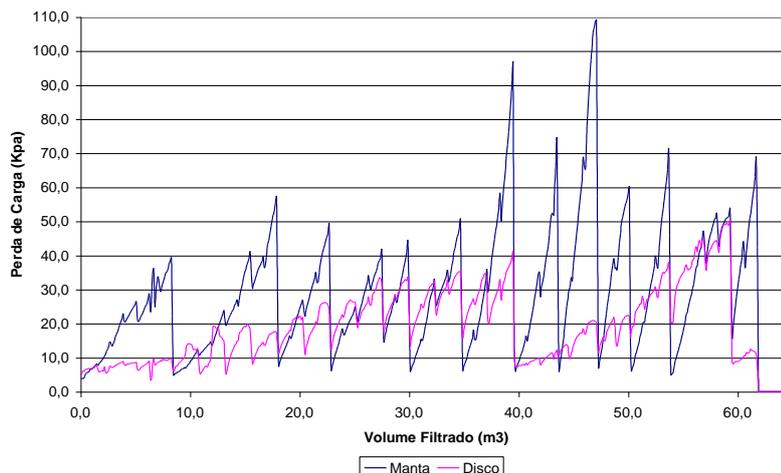


FIGURA 4. Variação da perda de carga versus volume filtrado para filtros de disco e manta sintética não tecida na terceira etapa. **Variation of the head loss versus filtered volume for the disc and non-woven synthetic filters in the third phase.**

Foram necessárias, no período, 19 operações de limpeza do filtro de manta, enquanto no filtro de disco somente cinco. A alta frequência de lavagem do filtro de manta não tecida, bem como os altos valores de perda de carga atingidos no filtro de disco são condizentes com o aumento das concentrações médias de sólidos suspensos e turbidez da água do reservatório.

Depois de finalizadas as quatro etapas da pesquisa, pode-se afirmar que a evolução da perda de carga em função do volume filtrado no filtro de manta sintética não tecida foi mais rápida que no filtro de disco. Portanto, ocorreu maior número de lavagens no filtro de manta sintética. Esta desvantagem aparente do filtro de manta é porque o mesmo apresenta maior retenção das partículas em suspensão da água. Este processo está associado à maior aderência das impurezas no emaranhado de fibras e à formação de uma camada biológica devido à remoção de algas e bactérias presentes na água. Segundo estudos feitos por RIBEIRO et al. (2008c) com filtros de manta e disco, um fator a considerar é que a estrutura do filtro de manta possui maior área efetiva de filtragem em comparação com o filtro de disco. Este fato ajuda a explicar a rapidez da evolução da perda de carga no filtro de manta.

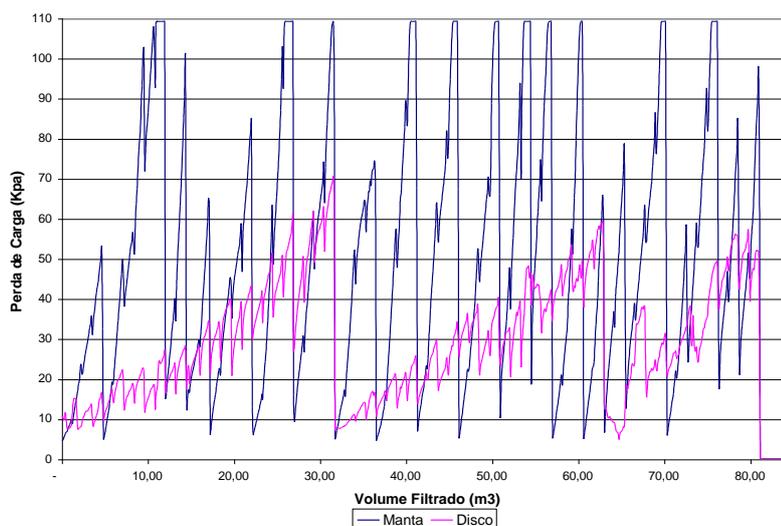


FIGURA 5. Variação da perda de carga versus volume filtrado para filtros de disco e manta sintética não tecida na quarta etapa. **Variation of the head loss versus filtered volume for the disc and non-woven synthetic filters in the fourth phase.**

Análise dos coeficientes de uniformidade nas quatro etapas

Na Tabela 2, observa-se que ocorreu uma diminuição dos dois índices de uniformidade de distribuição de água ao longo do tempo, entre a primeira e a quarta etapa para os dois sistemas de filtragem. Isto indica que realmente houve uma tendência de entupimento dos gotejadores, sendo que a diminuição da uniformidade foi mais acentuada entre a terceira e a quarta etapa. Portanto, pode-se concluir que os dois filtros apresentaram, na média, valores dos índices de uniformidade muito próximos, sendo considerados, segundo a sua classificação, como excelentes e bons, dependendo da época do ano. Na primeira, segunda e terceira etapas não ocorreram grandes variações das médias dos valores dos índices analisados, somente ocorrendo maior variação na quarta etapa. As causas das variações ao longo do ano podem ser relacionadas com o tempo de uso dos gotejadores, variações da qualidade da água durante o ano, maior controle na retrolavagem dos filtros e queda na eficiência de remoção de impurezas contidas na água, principalmente de origem biológica.

Na parcela com filtro de disco, ocorreu um processo de obstrução dos gotejadores, porque, nos dois índices de uniformidade, os valores mudaram de excelentes na primeira etapa, para bons na etapa final. Na parcela com filtro de manta, os valores médios sempre foram excelentes durante todas as etapas. Portanto, ao longo do tempo, a parcela com filtro de manta apresentou melhores resultados que a parcela com o filtro de disco, ou seja, apresentou-se como uma alternativa viável para a filtração de água em irrigação por gotejamento.

TABELA 2. Resultados das médias dos valores de uniformidade de distribuição de água para os índices de uniformidade estatística de emissão e do UNIF 36, durante as quatro etapas.
Results of the average values of the water uniformity distribution for the uniformity statistical emission indices and the UNIF 36 during the four phases.

		Índice de Uniformidade de Distribuição de Água			
		Us (%)		UNIF 36	
		Manta	Disco	Manta	Disco
Etapa 1	Média	96,95	95,75	97,55	97,57
	Classificação ¹	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Etapa 2	Média	96,81	97,08	97,42	97,14
	Classificação ¹	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Etapa 3	Média	94,80	97,84	97,19	98,24
	Classificação ¹	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Etapa 4	Média	91,55	89,61	94,48	87,79
	Classificação ¹	Excelente	Bom	Excelente	Bom

¹ Classificação de Us proposta pela AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS (ASAE, 1996) e UNIF 36 por meio da classificação desenvolvida por BRALTS & KESNER (1983).

Análises microbiológicas de algas e bactérias nas mangueiras e gotejadores

Algas

Os resultados das análises microbiológicas para a determinação dos principais gêneros de algas e bactérias encontrados nas mangueiras e gotejadores estão apresentados nas Tabelas 3 e 4.

Existem espécies de algas que podem proliferar-se dando origem, juntamente com impurezas da própria água, a uma camada biológica nos filtros e nos gotejadores, o que pode prejudicar o desempenho dos equipamentos em questão.

TABELA 3. Resultados das análises microbiológicas das mangueiras e gotejadores. **Micribiological analysis on mainfolds and drippers.**

Filtro	Gêneros	
	Primeiro Semestre	Segundo Semestre
Manta	<i>Selenastrum sp</i>	<i>Chlorella sp, Cyndrospermum sp,</i>
Disco	<i>Selenastrum sp, Scenedesmus sp,</i>	<i>Cyndrospermum sp, Selenastrum</i>

De acordo com os dados apresentados na Tabela 3, observa-se que a alga do gênero *Selenastrum sp.* ocorreu durante todo ano nas parcelas dos dois sistemas de filtragem. No segundo semestre, ocorreu uma piora da qualidade, por ser época chuvosa e com aumento de temperatura (primavera e verão). Isto acarretou aumento nas espécies de algas. Este fato pode ter sido influenciado pelo uso da fertirrigação, já que o produto utilizado apresentou 25% de matéria orgânica em sua composição. Para ALMEIDA (2010), as algas e outros microrganismos podem criar problemas, quando o seu desenvolvimento é estimulado por excesso de nutrientes, como, por exemplo, nitrogênio e fósforo. O uso de águas residuárias nos sistemas de irrigação localizada é particularmente problemático devido a seus conteúdos de nutrientes, substâncias orgânicas e microrganismos.

Bactérias

TABELA 4. Resultado das análises microbiológicas de bactérias dos gotejadores e mangueiras, para os dois sistemas de filtragem. **Microbiological bacteria analysis on mainfolds and drippers.**

Bactérias	Filtros	
	Manta	Disco
Pseudomonas	1 ufc mL ⁻¹	1 ufc mL ⁻¹
Micrococcus	Ausentes em 10 mL	Ausentes em 10 mL
Sulfato Redutoras	Ausentes em 10 mL	Ausentes em 10 mL
Férricas	Presentes em 10 mL	Presentes em 10 mL

ufc - unidade formadora de colônia.

Os resultados mostram que a *Pseudomonas* e as bactérias férricas estão presentes nas duas amostras analisadas. Isto é devido ao fato de que bactérias do gênero *Pseudomonas* são oxidantes de Fe⁺², que é oxidado a Fe⁺³, que se precipita. Isto, por sua vez, ajuda na formação de ferrobactérias, tais como, *Gallionella*, *Leptothrix* e *Crenothrix*, causando a formação de crostas de ferrugem no interior das tubulações, bem como precipitando hidróxido férrico que causa entupimento nos gotejadores. Estes resultados são convergentes aos encontrados por BUSATO & SOARES (2010), que, com o objetivo de caracterizar a qualidade da água utilizada na irrigação e identificar os gêneros de bactérias causadoras de entupimento, em três modelos de gotejadores, encontraram as bactérias do gênero *Gallionella* e *Leptothrix*, como as causadoras de obstrução dos gotejadores.

Foram encontrados nos finais de todas as linhas de gotejadores dos sistemas de filtragem sedimentos de cor avermelhada. Estes sedimentos são formados pela oxidação do ferro solúvel na forma de hidróxido de ferro insolúvel. O complexo ferroso pode ser carregado para as linhas de irrigação e contribuir para o problema de entupimento por ferro.

CONCLUSÕES

Os parâmetros biológicos da água de irrigação apresentaram um maior coeficiente de variação, enquanto a concentração de bactéria indicou a maior variação.

A evolução da perda de carga nos filtros de manta sintética não tecida e de disco foi influenciada pela qualidade da água, sendo tal influência maior no primeiro filtro, o que resultou em maior número de limpezas.

O filtro de manta sintética não tecida mostrou-se com uma tendência de melhor remoção de partículas orgânicas e inorgânicas presentes na água por apresentar melhores índices de uniformidade de distribuição de água.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo aporte financeiro destinado a esta pesquisa (Processo nº 00/01292-5).

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, O. A. *Qualidade da água de irrigação*. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. Disponível em: <http://www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/livro/livro_qualidade_agua.pdf>
- APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard methods for examination of water and wastewater*. Washington: APHA, 1992a. p.9.32-9.34: Heterotrophic plate count.
- APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 16th. ed. Washington: APHA; AWWA; APCF 1985. 1.268 p.
- ASAE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. *Field evaluation of microirrigation systems*, 1996. p.792-797.
- BRALTS, V. F.; KESNER, C. D. Drip irrigation field uniformity estimation. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.26, n.5, p.1.369-1.374, 1983.
- BUSATO, C. C. M.; SOARES, A. Desempenho de gotejadores, utilizando água de baixa qualidade química e biológica. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v.26, n.5, p.739-746, sept./oct. 2010.
- BUSATO, C. C. M.; SOARES, A. A.; RAMOS, M. M.; REIS, E. F.; BUSATO, C. Dicloroisocianurato na prevenção do entupimento devido ao uso de águas ferruginosas em sistemas de irrigação por gotejamento. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v.33, n.1, p.49-56, jan./mar. 2012.
- FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T. Qualidade da água para irrigação na microbacia do Coqueiro, Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.5, p.382-385, 2009.
- MARTINS, C. C.; SOARES, A. A.; RAMOS M. M.; REIS E. F. Aplicação de cloro orgânico no tratamento de tubogotejador utilizado na irrigação com água ferruginosa. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v.32, n.1, p.1-5, 2010.
- MOURA, R.S.; HERNANDEZ, F.B.T.; LEITE, M.A.; FRANCO, R.A.M.; FEITOSA, D.G.; MACHADO, L.F. Qualidade da água para uso em irrigação na microbacia do córrego do cinturão verde, município de Ilha Solteira. In: WORKSHOP INTERNACIONAL DE INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS NA IRRIGAÇÃO, 3., 2010, Fortaleza.
- MOURA, R. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; VANZELA, L. S. Monitoramento da qualidade química da água para fins de irrigação no córrego Três Barras, Marinópolis - SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36., 2007, Bonito. *Resumos...* Bonito: SBEA, 2007. CD-ROM.
- PATERNIANI, J. E. S.; SCATOLINI, M. E. Eficiência de diferentes elementos filtrantes na prevenção de obstrução de gotejadores. *Irriga*, Botucatu, v.8, p.78-87, 2003.

RIBEIRO, T. A. P.; PATERNIANI, J. E. S. Microaspersores entupidos devido a problemas de ferro na água. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.38, n.5, p.1.456-1.459, 2008a.

RIBEIRO, T. A. P.; PATERNIANI, J. E. S.; AIROLDI, R. P. S.; SILVA, M. J. M. Comparison of filtrating elements in the treatment of irrigation water. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.51, p.441-453, 2008c.

RIBEIRO, T. A. P.; PATERNIANI, J. E. S.; COLETTI, C. Chemical treatment to unclogg dripper irrigation systems due to biological problems. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v.65, n.1, p.1-9, 2008b.

RIBEIRO, T. A. P.; PATERNIANI, J. E. S.; SILVA, M. J. M.; AIROLDI, R. P. S.; SILVA, M. J. M. Variação dos parâmetros físicos, químicos e biológicos da água em um sistema de irrigação localizada. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.9, n.3, p.295-301, 2005.

SMAJSTRLA, A.G.; HARRISON, D. S.; ZAZUETA, F. S. Gainesville: *Field evaluation of trickle irrigation systems: uniformity of water application*. University of Florida, 1985. (IFAS Bulletin, 195).

SPELLMAN, F. R. *Handbook of water and wastewater treatment plant operations*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2006.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, M. T.; ABE, D. S.; ROCHA, O.; STARLING, F. Limnologia de águas interiores: impactos, conservação e recuperação de ecossistemas aquáticos. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.). *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. 3.ed. São Paulo: Escrituras Editoras, 2006. cap.7, p.203-240.