

COMPARAÇÃO ENTRE ELEMENTOS FILTRANTES DE MANTA SINTÉTICA NÃO TECIDA E DE DISCO NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

Rogério Pereira da Silva Airoidi

José Euclides Stipp Paterniani

Túlio Assunção Pires Ribeiro

Marcelo Jacomini Moreira da Silva

Departamento de Água e Solo, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. CP 6011, CEP: 13083-970, E-mail:remiro@agr.unicamp.br.

1 RESUMO

A pesquisa realizada propôs uma investigação experimental para a avaliação do desempenho dos meios filtrantes disco (130 µm) e manta sintética não tecida na filtração da água utilizada em um sistema de irrigação por gotejamento com fertirrigação organomineral. Utilizou-se água de um reservatório aberto, localizado no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP, onde foi instalado um módulo de irrigação localizada para o estudo. O desempenho dos filtros foi avaliado através de análises físicas, químicas e biológicas da água afluyente e efluente aos filtros, e da evolução da perda de carga nos mesmos. A pesquisa foi desenvolvida em três etapas de 30 dias, realizadas em diferentes estações do ano. Os resultados apontaram que não houve diferenças significativas entre os dois elementos filtrantes com relação à remoção de partículas em suspensão na água. No entanto, o filtro de disco apresentou menor perda de carga localizada em relação ao filtro de manta. Desta forma, concluiu-se que, para as condições experimentais de qualidade da água, o filtro de disco apresentou desempenho pouco superior ao filtro de manta. No entanto, podem-se desenvolver filtros especialmente adaptados aos elementos filtrantes de manta sintética para que a eficiência deste elemento supere a do disco, principalmente com relação à perda de carga.

UNITERMOS: irrigação localizada, fertirrigação, filtração, qualidade de água.

AIROLDI, R. P. da S.; PATERNIANI, J. E. S.; RIBEIRO, T. A. P.; SILVA, M. J. M. da
COMPARISON OF NON-WOVEN SYNTHETIC FABRIC AND DISC FILTERS FOR
IRRIGATION WATER TREATMENT

2 ABSTRACT

The main purpose of this research was to evaluate the disc (130 mm) and non-woven synthetic fabric filter performance in water filtration using a trickle irrigation system with fertigation. The source of water used in this experiment was from an open reservoir, located in the experimental field of the Agricultural Engineer College – UNICAMP, where an experimental trickle irrigation system has been installed. The filter performance was evaluated through water analysis by physical, chemical and biological parameters and the head loss evolution on it. The research was developed over three phases of 30 days each in different seasons. The results have shown that there were not significant differences among filters concerning the water suspended particle removal. However, the disc filter

presented lower head loss than the non-woven synthetic fabric filter. Therefore, for these water quality conditions the disc filter presented higher performance than the non-woven synthetic fabric filter, although non-woven synthetic fabric filters should be improved in order to obtain filters with reduced head loss and increased performance.

KEYWORDS: localized irrigation, fertigation, filtration, water quality.

3 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional ocorrido em todo o mundo e no Brasil a partir da segunda metade do século XX demandou uma maior captação de água para o contínuo desenvolvimento das atividades humanas, provocando uma queda na qualidade deste recurso em suas fontes naturais.

Diante deste panorama de escassez de água fica clara a necessidade da utilização deste recurso natural com maior racionalidade, através de técnicas que permitam um aproveitamento mais eficiente da água nas diversas atividades humanas que envolvem o seu consumo.

Dentre os métodos de irrigação conhecidos, a irrigação localizada é o método que mais cresceu nas últimas décadas devido à maneira racional e econômica do uso da água (PIZARRO, 1996). A irrigação por gotejamento, especificamente, apresenta uma série de vantagens sobre outros métodos de irrigação, muito embora seu consumo seja sensivelmente inferior quando comparado aos demais, uma vez que a eficiência de aplicação de água é maior para este método quando comparado aos métodos de aspersão e irrigação superficial.

Mas, se por um lado este método reduz a quantidade de água necessária à produção dos alimentos, necessita também de águas de melhor qualidade. Segundo RAVINA et al (1992), todos os emissores utilizados em irrigação localizada são passíveis de entupimento por agentes físicos, biológicos e químicos presentes na água, devido ao pequeno diâmetro destes. Além disso, a má distribuição da água às plantas causa queda da produção das culturas.

O uso da fertirrigação, técnica de importância vital para garantir altos rendimentos das culturas, apresenta inúmeras vantagens para o produtor rural. No entanto, a introdução de nutrientes na água de irrigação promove o desenvolvimento de microorganismos, aumentando o risco de entupimento dos gotejadores (PIZARRO, 1996). Segundo COSTA et al (1994) existe no Brasil necessidade em se pesquisar dosagens, tipos de fertilizantes, modo e época de aplicação, problemas relacionados ao entupimento de gotejadores, levando-se em consideração as condições diversas de aspectos climáticos e qualidade de solos e águas encontradas no país.

Para garantir uma boa eficiência de aplicação de água às plantas, os sistemas de irrigação por gotejamento devem possuir sistemas de tratamento de água eficientes que previnam de forma satisfatória a obstrução dos emissores. Estes sistemas podem utilizar-se de processos físicos e químicos, sendo que os processos físicos de filtração da água são os mais utilizados devido a praticidade e economia de se tratar a água de irrigação e evitar a ocorrência de entupimento dos gotejadores (maior problema relacionado aos sistemas de gotejamento). Existem diversos tipos de filtros comerciais utilizados na irrigação com boa eficiência, entre eles os filtros de areia, de tela e de disco. No entanto, o estudo de meios filtrantes alternativos como as mantas sintéticas não tecidas, tem apresentado resultados muito satisfatórios quanto à eficiência de remoção de impurezas em suspensão na água (CRUZ, 1996; SCATOLINI, 2001).

Segundo PATERNIANI (1991), as mantas sintéticas não tecidas apresentam grande potencial de filtração e podem ser utilizadas em filtros rápidos. As mantas sintéticas não tecidas apresentam uma série de características que

potencializam a sua utilização como meio filtrante, entre outras, a alta porosidade e condutividade hidráulica, além de apresentarem um histórico de pesquisas bem sucedidas na filtração lenta de água (MABWETTE & GRAHAM, 1987; PATERNIANI, 1991).

Esta pesquisa objetivou realizar uma investigação científica com a finalidade de comparar o desempenho dos elementos filtrantes de disco (130 μm), comercialmente difundido entre os agricultores, e um elemento filtrante alternativo, a manta sintética não tecida, com a finalidade de se desenvolver tecnologia alternativa, mais acessível ao agricultor e tecnicamente viável.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, localizada no município de Campinas, Estado de São Paulo. Neste local foi instalado um módulo de irrigação por gotejamento automatizado, abastecido por um reservatório de água (pequeno açude) destinado à irrigação, com capacidade para 25 m³.

A instalação era composta por um sistema de bombeamento único, que abastecia duas parcelas de gotejadores. Cada parcela continha seu próprio filtro (de disco e de manta sintética não tecida). O programa do controlador comandava a abertura e o fechamento das válvulas solenóides, de forma a permitir a fertirrigação, ou simplesmente a irrigação. Uma bomba dosadora do tipo pistão foi utilizada para a injeção de uma solução fertilizante no sistema. Em ambos os filtros foram instaladas tomadas de pressão antes e após a passagem da água para medição da perda de carga localizada que foram conectadas a transdutores de pressão diferencial. As leituras foram armazenadas por um sistema de aquisição de dados (Datalogger). O Datalogger obtinha leituras referentes à perda de carga medida por meio dos transdutores de pressão a cada 6 segundos. O aumento da perda de carga

em função da retenção de impurezas nos filtros foi determinado em função do volume filtrado. Procurou-se efetuar a limpeza dos elementos filtrantes sempre que a perda de carga medida nos filtros atingisse 40 kPa. A Figura 1 ilustra o esquema da instalação experimental utilizada na pesquisa.

O filtro de 1" utilizando manta sintética não tecida como elemento filtrante possuía a mesma estrutura do filtro de disco. Apenas adaptou-se este elemento à estrutura interna do filtro prendendo-o com presilhas plásticas na suas extremidades e na parte central.

A Tabela 1 apresenta as características técnicas da manta sintética utilizada na pesquisa. A escolha da manta sintética não tecida foi feita a partir dos resultados obtidos por Scatolini (2001).

Tabela 1. Dados técnicos das mantas sintéticas não tecidas utilizadas na pesquisa.

CARACTERÍSTICAS	
Permeabilidade (mm/s)	7,2
Gramatura (g/m ²)	380
Espessura (mm)	3,0
Porosidade (%)	88

Fonte: Amoco do Brasil.

Para a fertirrigação utilizou-se um fertilizante líquido solúvel, organo-mineral e de densidade 1,27. A sua composição era de 25% matéria orgânica, 3% de nitrogênio total e 9% de potássio na forma de K₂O. A concentração de fertilizantes adotada foi a mesma recomendada pelo fabricante, de 0,35 mL de produto por metro quadrado de área por dia.

Cada parcela de irrigação apresentava 6 linhas laterais, com 3 m de comprimento cada e gotejadores espaçados entre si de 30 cm, num total de 60 emissores por parcela. Os gotejadores utilizados na pesquisa foram do tipo labirinto, marca Netafim, Modelo Streamline 80. Esta tubulação possui espessura de parede de 0,20 mm e diâmetro interno de 16 mm. Para uma pressão de serviço de 100 kPa, sua vazão nominal é de 1,0 L/h segundo o fabricante.

Tabela 2. Risco potencial de obstruções segundo qualidade da água de irrigação.

TIPO DE PROBLEMA	RISCO		
	Baixo	Médio	Alto
Físico			
Sólidos em suspensão (ppm)	< 50	50 a 100	>100
Químico			
pH	< 7,0	7,0 a 8,0	> 8,0
Sólidos dissolvidos (ppm)	< 500	500 a 2.000	> 2.000
Mn (ppm)	< 0,1	0,1 a 1,5	> 1,5
Ferro Total (ppm)	< 0,2	0,2 a 1,5	> 1,5
H ₂ S (ppm)	< 0,2	0,2 a 2,0	> 2,0
Biológico			
Bactérias (nº/mL)	< 10.000	10.000 a 50.000	> 50.000

Fonte: BUCKS & NAKAYAMA (1986).

Os ensaios programados foram realizados em três períodos de 30 dias, cada um em uma estação do ano distinta, operando segundo diferentes condições climáticas e de qualidade da água.

O experimento iniciou-se no mês de novembro de 2001, caracterizando a estação da primavera. A segunda etapa foi desenvolvida no mês de fevereiro do ano seguinte, na estação do verão, e a etapa final no mês de maio, estação do outono. Uma etapa anterior foi realizada na estação do inverno para calibração do sistema e realização de ensaios preliminares.

O delineamento experimental foi o em blocos aleatorizados. Foram considerados dois fatores, filtro (em dois níveis: disco e manta sintética) e estações (em três níveis: primavera, verão e outono), sendo estas últimas consideradas blocos homogêneos. Realizou-se a análise de variância dos dados obtidos pelos dois tratamentos distintos da água a fim de determinar diferença significativa entre tratamentos. O nível de significância adotado para o teste de variância foi de 5%. As médias de cada fator analisado para um e outro tratamento foram comparadas a partir do teste de Tukey. PIMENTEL (1982) afirma que este teste pode ser utilizado para comparar todo e qualquer contraste entre duas médias de tratamentos. Os resultados da análise de variância, e de comparação de médias dos dados experimentais, foram obtidos a partir do programa estatístico Sanest.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Água do Reservatório

Os resultados dos parâmetros analisados das amostras de água do reservatório estão apresentados na Tabela 3.

Os resultados dos parâmetros físicos apresentados na Tabela 1 apontam um crescimento constante dos valores médios da concentração de sólidos suspensos da água do reservatório de irrigação. Ainda assim, a concentração de sólidos suspensos na água de irrigação não representou risco de entupimento aos emissores por permanecer abaixo de 50 mg/L¹ nas 3 etapas experimentais.

Com relação aos parâmetros químicos analisados, pode-se afirmar que, exceto pela condutividade elétrica da água que esteve sempre em níveis muito baixos, houve risco de entupimento dos gotejadores segundo a classificação proposta por BUCKS & NAKAYAMA (1986). O fator que representou o maior risco de entupimento aos gotejadores foi a concentração de sulfetos, que apresentou valores médios crescentes ao longo das etapas. Além disso, nas 3 etapas sua concentração média representou um risco alto de entupimento dos gotejadores. Apesar das variações nos valores médios da concentração de ferro total da água em cada etapa, o risco de entupimento dos emissores representado por este fator foi sempre médio. ENGLISH (1985) relata que

Tabela 3. Resultados das análises dos parâmetros físicos, químicos e biológicos da água do reservatório de irrigação para as 3 etapas do experimento.

		Parâmetros da Água de Irrigação						
		Físico		Químicos			Biológicos	
		SS (mg/L)	pH	Ferro (mg/L)	Sulfetos (mg/L)	C. E. ⁴ (dS/m)	Algas (n°/cm ³)	Bactérias (n°/cm ³)
Etapa 1	Variação	8,5-13,5	6,4-8,1	0,5-1,7	1,0-9,0	0,044- 0,060	930-1820	1-7000
	Média	10,96	7,39	1,10	2,42	0,050	1377	1202
	Desv. Pad. ¹	1,37	0,46	0,38	2,27	0,010	287	2065
	c. v. ² (%)	12,53	6,23	34,89	94,13	9,96	20,88	171,81
	R. E. ³	B	M	M	A	S/C	S/C	B
Etapa 2	Variação	12,5-24,5	6,6-7,8	0,2-1,0	1,0-5,0	0,042- 0,056	120-705	10-760
	Média	17,61	7,13	0,74	2,83	0,050	459	223
	Desv. Pad. ¹	4,17	0,42	0,26	1,17	0,010	179	236
	c. v. ² (%)	23,66	5,86	34,97	41,39	8,33	38,97	105,74
	R. E. ³	B	M	M	A	S/C	S/C	B
Etapa 3	Variação	16,0-23,5	6,6-7,3	0,0-1,0	2,0-16,0	0,032- 0,090	205-950	200-5400
	Média	19,7	6,88	0,48	3,50	0,059	512	1702
	Desv. Pad. ¹	2,51	0,19	0,32	4,40	0,017	216	1798
	c. v. ² (%)	12,78	2,89	66,46	125,81	28,00	42,12	105,62
	R. E. ³	B	B	M	A	S/C	S/C	B

¹ - Desvio Padrão da média.

² - Coeficiente de variação.

³ - Risco de Entupimento dos gotejadores, segundo BUCKS & NAKAYAMA (1986), onde: B - baixo risco; M - médio risco; A - alto risco e S/C - sem classificação.

⁴ - Condutividade elétrica.

problemas com interações bactéria-ferro têm ocorrido com concentrações de ferro tão baixas quanto 0,1 mg/L. Algumas bactérias filamentosas, como *Gallionella* e *Leptotrix*, oxidam o Fe⁺², transformando-o em Fe⁺³ que pode precipitar e provocar entupimento (PIZARRO, 1996).

Já em relação ao pH da água, na última etapa, com a redução de seu valor médio houve também uma redução no risco de entupimento de médio para baixo. Potenciais hidrogeniônicos elevados (acima de 8,0) podem promover a precipitação de sais, principalmente do carbonato de cálcio. O ideal é que o pH da água de irrigação por gotejamento esteja próximo de 6,5. Com relação à concentração de

manganês na água no reservatório em todas as amostras sempre foram encontrados valores abaixo do limite de detecção dos equipamentos. Desta forma, omitiu-se a apresentação destes valores nulos na Tabela 3.

Entre os fatores biológicos que podem provocar o entupimento dos gotejadores foram analisadas as concentrações de algas e bactérias do reservatório. Assim como a concentração de sólidos suspensos totais, os parâmetros biológicos não apresentaram concentrações de magnitude tal que pudesse elevar o risco de entupimento dos gotejadores de baixo para médio. Verificou-se uma grande variabilidade das medidas em cada fase e também entre duas etapas diferentes. Isto pode ser verificado pelo

elevado coeficiente de variação obtido em cada etapa tanto para as medidas de bactérias quanto para as de algas. Essa mudança dinâmica da população de algas e bactérias pode representar risco ao sistema se não houver tratamento eficiente da água de irrigação e indica sensibilidade destes organismos com relação à variação da qualidade da água. Quando ocorrem mudanças bruscas de valores com relação a parâmetros biológicos, geralmente devido a fatores relacionados com o ambiente, pode haver comprometimento da eficiência da filtração (NAKAYAMA & BUCKS, 1991). Neste caso os autores sugerem que se deve desligar temporariamente o equipamento até que o nível de sólidos suspensos na água de irrigação diminua até um valor aceitável.

Decorridas as 3 etapas do experimento, pode-se afirmar que a água do reservatório apresentou diferenças expressivas entre os diferentes parâmetros de qualidade de água analisados ao longo das diferentes etapas experimentais. Estas diferenças são decorrentes das mudanças climáticas locais, tais como temperatura, radiação solar, precipitação pluviométrica. Um risco alto de entupimento dos gotejadores só foi proporcionado pela alta

concentração de sulfetos na água. Já o pH e a concentração de ferro total da água, proporcionaram um risco médio de obstrução dos emissores. O fato do reservatório de irrigação ter água parada contribuiu para que houvesse sedimentação das partículas em suspensão da água, tornando-a com qualidade satisfatória para a irrigação por gotejamento.

5.2 Água Efluente aos Filtros

As amostras coletadas antes e após os elementos filtrantes representam a água advinda do reservatório e água filtrada por ambos os filtros. A partir destas amostras foram determinadas as concentrações de algas, bactérias e sólidos suspensos totais na água. Os resultados dos parâmetros físicos e biológicos determinados em cada amostragem nas três etapas são representados nas Figuras a seguir.

A Figura 2 mostra a variação dos valores medidos de sólidos suspensos nas amostras de água tomadas depois dos filtros de disco e manta sintética na primeira etapa da pesquisa.

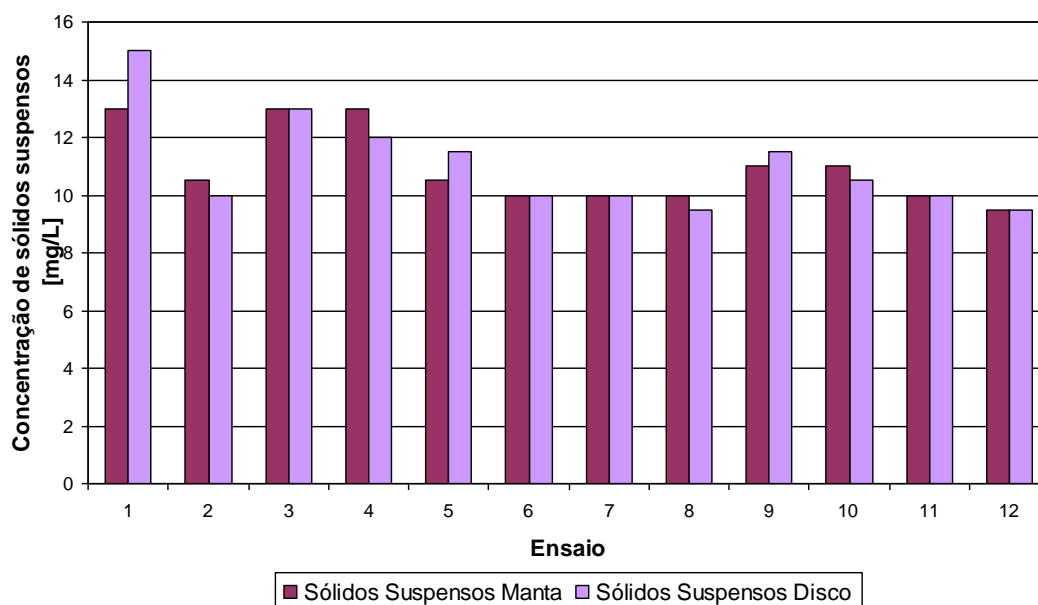


Figura 2. Análises da concentração de sólidos suspensos na água medidas após os elementos filtrantes, na primeira etapa.

Através da Figura 2 verifica-se uma tendência de queda dos valores de sólidos suspensos da água em ambos elementos filtrantes ao longo dos ensaios. Há uma alternância entre as medidas realizadas nas parcelas com filtro de manta e disco, ora os maiores valores são registrados em uma parcela, ora na outra.

O valor médio da concentração de sólidos suspensos na parcela com filtro de manta foi de 10,96 mg/L, com desvio padrão de 1,30 mg/L e coeficiente de variação de 11,91%. A média calculada para a parcela com filtro de disco, para o mesmo parâmetro, foi de 11,04 mg/L, com desvio padrão de 1,66 mg/L e coeficiente de variação de 15,01%. Desta forma, verifica-se que as concentrações de sólidos suspensos medidas nas parcelas de irrigação por gotejamento foram muito próximas.

A Figura 3 mostra a variação dos parâmetros biológicos analisados nesta primeira etapa.

Observa-se, pela Figura 3, que há grande alternância entre os valores obtidos em ambas parcelas de irrigação tanto para os

valores das concentrações de algas como de bactérias. Há uma tendência de crescimento das populações de algas e bactérias ao longo dos ensaios, principalmente das últimas. O valor médio da concentração de algas, medidas na parcela com filtro de manta foi de 905 n^o/cm³, com desvio padrão de 348 n^o/cm³ e coeficiente de variação de 38,39%. A parcela contendo filtro de disco registrou uma média de 829 n^o/cm³, com desvio padrão de 214 n^o/cm³ e coeficiente de variação de 25,78%.

A média de bactérias encontradas após a passagem da água pelo filtro de manta foi de 1262 n^o/cm³, o desvio padrão de 1159 n^o/cm³ e o coeficiente de variação de 91,88%. Após o filtro de disco, foram encontradas, em média, 1296 n^o/cm³, com desvio padrão de 1293 n^o/cm³ e coeficiente de variação de 99,77%.

Assim, na primeira etapa da pesquisa, os valores médios da concentração de sólidos suspensos nas duas parcelas de irrigação estiveram muito próximos.

As Figuras 4 e 5 a seguir mostram a variação dos resultados obtidos na segunda etapa experimental.

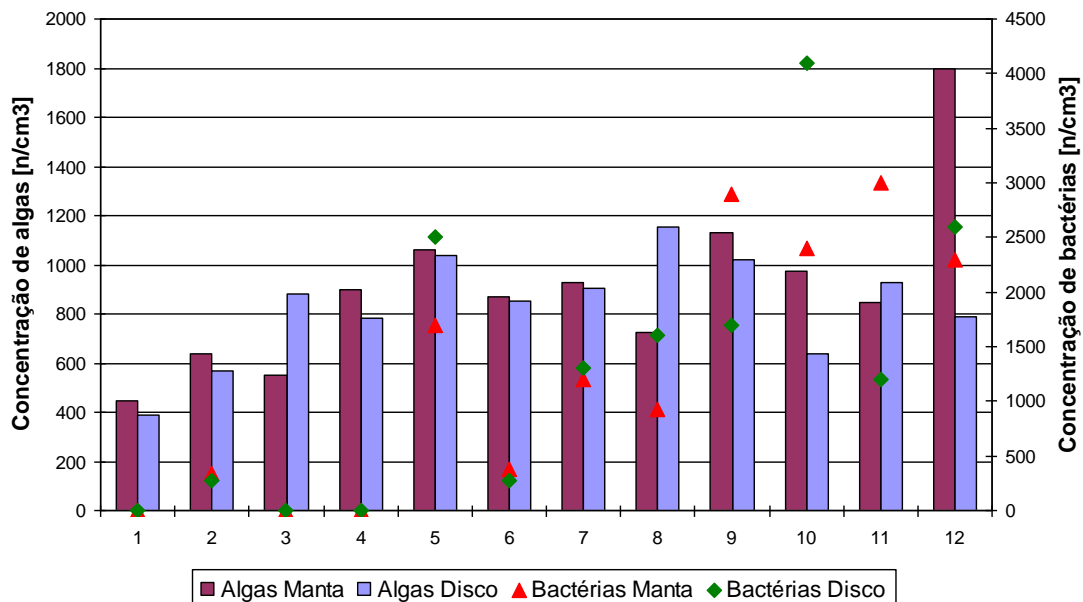


Figura 3. Análises das concentrações de algas e bactérias da água medidas após os elementos filtrantes, na primeira etapa.

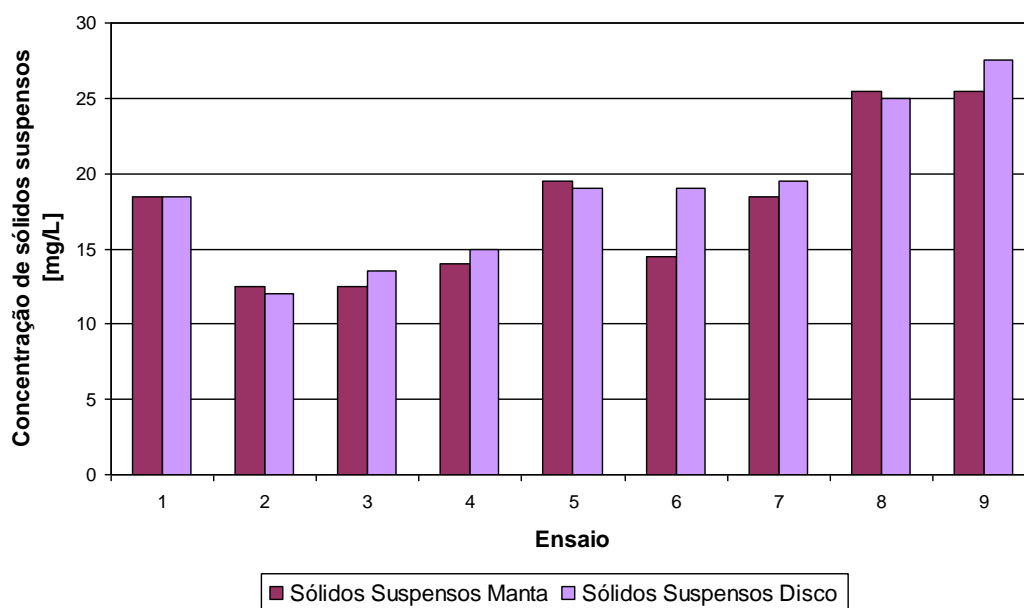


Figura 4. Análises da concentração de sólidos suspensos da água medidas após os elementos filtrantes, na segunda etapa.

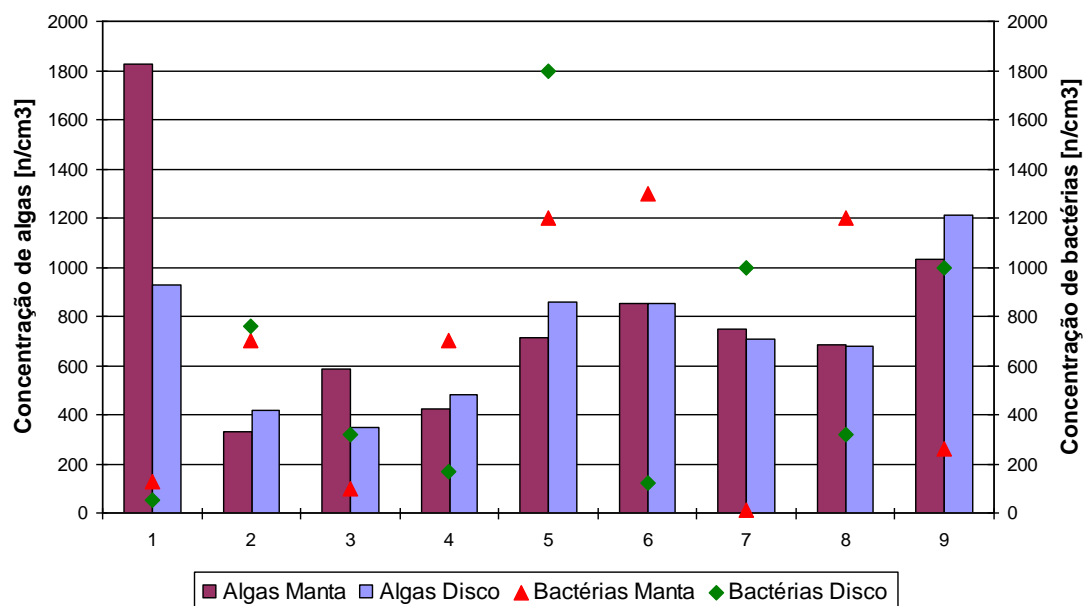


Figura 5. Análises das concentrações de algas e bactérias da água medidas após os elementos filtrantes, na segunda etapa.

Na Figura 4 pode-se verificar que a concentração de sólidos em suspensão apresentou tendência de crescimento ao longo da etapa para ambas parcelas experimentais. A média obtida na parcela com elemento filtrante

de manta foi de 17,89 mg/L, com desvio padrão de 5,05 mg/L e coeficiente de variação de 28,22%. A média na outra parcela foi de 18,78 mg/L, com desvio padrão de 5,04 mg/L e coeficiente de variação de 26,86%.

A Figura 5 mostra a grande variância dos resultados das concentrações de algas e bactérias, obtidos nesta etapa do experimento. As concentrações de bactérias foram maiores nos ensaios 5 e 6, e as de algas, no primeiro e no último ensaio. A concentração média de algas na parcela com filtro de manta foi de $800 \text{ n}^\circ/\text{cm}^3$, com desvio padrão de $438 \text{ n}^\circ/\text{cm}^3$ e coeficiente de variação de 54,79%. Na parcela com filtro de disco a média atingiu $721 \text{ n}^\circ/\text{cm}^3$, com desvio padrão de $520 \text{ n}^\circ/\text{cm}^3$ e coeficiente de variação de 83,51%.

A concentração média de bactérias, medida na parcela com filtro de manta nesta fase, foi de $622 \text{ n}^\circ/\text{cm}^3$, com desvio padrão de $520 \text{ n}^\circ/\text{cm}^3$ e coeficiente de variação de 83,51%. Já na outra parcela o valor médio foi de $616 \text{ n}^\circ/\text{cm}^3$, o desvio padrão foi $576 \text{ n}^\circ/\text{cm}^3$ e

coeficiente de variação de 93,64%. Os valores médios obtidos nas parcelas são muito próximos, mostrando que houve equivalência no desempenho dos filtros em relação à remoção de algas e bactérias.

Nesta última fase da pesquisa, os valores de sólidos suspensos da água, apresentaram menor variabilidade ao longo dos ensaios, quando comparados aos resultados das fases anteriores.

As medidas da concentração de sólidos suspensos na água, realizadas na parcela com filtro de manta, resultaram num valor médio de $18,70 \text{ mg/L}$, desvio padrão de $2,31 \text{ mg/L}$ e coeficiente de variação de 12,36%. Na outra parcela, os valores foram de: média $19,90 \text{ mg/L}$, desvio padrão de $2,88 \text{ mg/L}$ e coeficiente de variação de 14,50%.

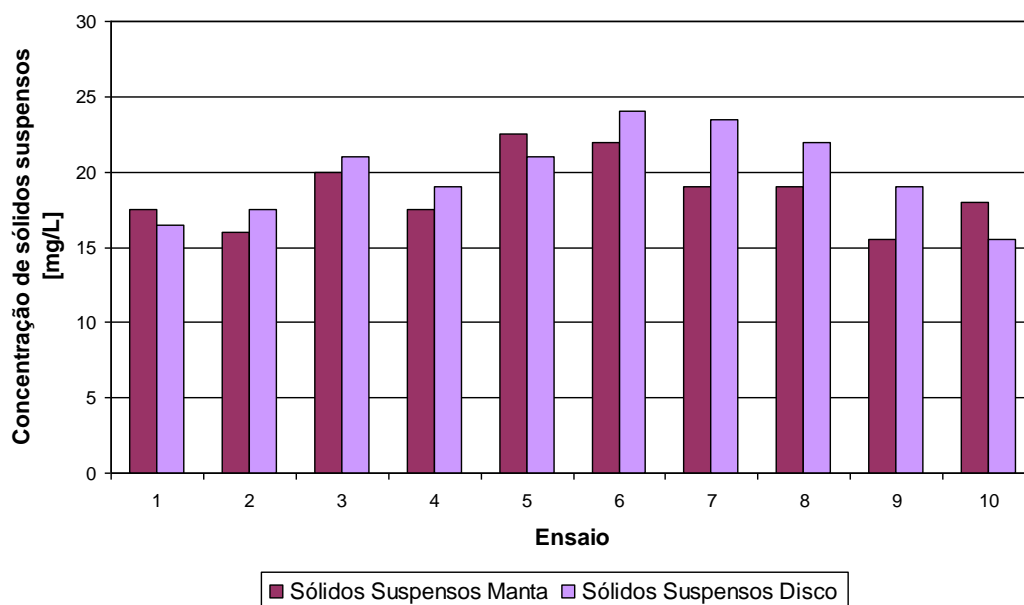


Figura 6. Análises da concentração de sólidos suspensos da água medidas após os elementos filtrantes, na terceira etapa.

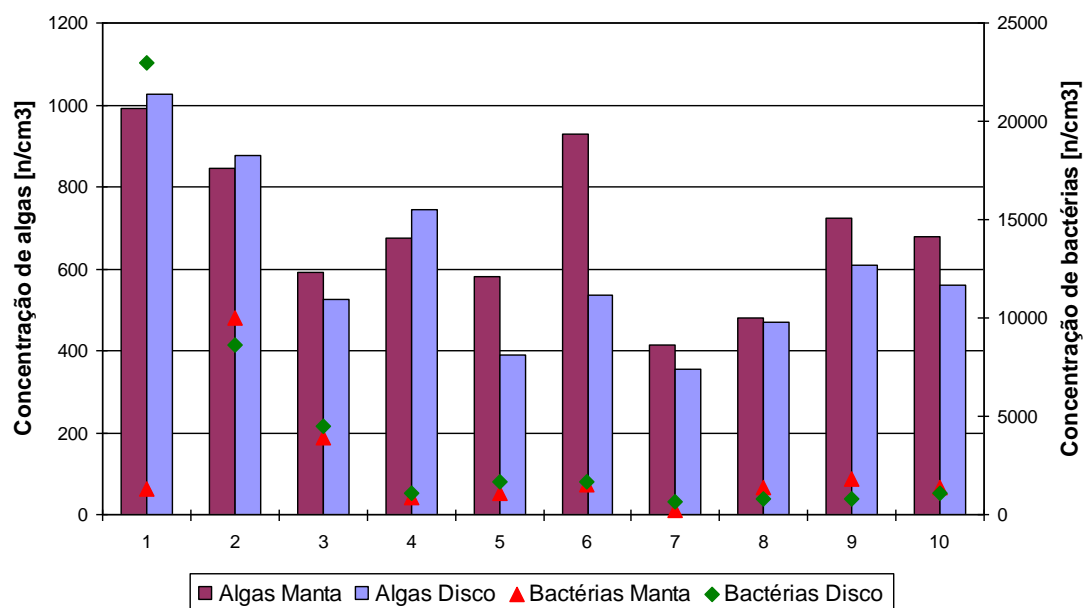


Figura 7. Análises das concentrações de algas e bactérias da água medidas após os elementos filtrantes, na terceira etapa.

A Figura 7 mostra a variação temporal do desenvolvimento das populações de algas e bactérias, presentes na água de irrigação em cada parcela do sistema.

A concentração média de algas na parcela com filtro de manta foi de 691 n°/cm³, o desvio padrão foi de 187 n°/cm³ e o coeficiente de variação 27,07%. Já na parcela com filtro de disco, a média obtida foi de 609 n°/cm³, com desvio padrão de 213 n°/cm³ e coeficiente de variação de 35,01%.

Com relação às bactérias, nesta etapa final, obtiveram-se concentrações, tanto na parcela com filtro de disco, quanto na com filtro de manta, elevadas o suficiente para que o risco de entupimento dos emissores pudesse ser considerado médio. No entanto, estes valores só foram verificados em um ensaio para cada parcela. No primeiro ensaio, a concentração de bactérias no filtro de disco foi de 23000 n°/cm³, bem acima dos 10000 n°/cm³ necessários para elevar o risco potencial de obstrução dos gotejadores de baixo para médio. No segundo ensaio realizado, a concentração de bactérias na parcela com filtro de manta foi de exatamente 10000 n°/cm³. No entanto, os valores medidos nos demais ensaios, embora, na média, fossem maiores que os obtidos nas fases anteriores, não

mantiveram a mesma magnitude. Desta forma, a concentração média de bactérias medida no período foi de 2348 n°/cm³, com desvio padrão de 2852 n°/cm³ e coeficiente de variação de 121,48% na parcela com filtro de manta. Já na parcela com filtro de disco, a média foi de 4397 n°/cm³, o desvio padrão foi de 6991 n°/cm³ e o coeficiente de variação foi de 158,98%. Verificou-se novamente a grande variabilidade das medidas da concentração de bactérias nas linhas de irrigação, especialmente na parcela com filtro de disco.

Após a realização das 3 etapas verificou-se uma similaridade entre o desempenho de ambos filtros com relação às concentrações de sólidos suspensos medidas nos seus efluentes. Verificou-se também que, ao longo de todas as etapas, os valores obtidos para a concentração de sólidos suspensos foram muito próximos para o afluente e para o efluente de ambos os filtros. Além dos valores medidos destes parâmetros serem baixos, admite-se que pode ter havido transpasse de partículas de origem biológica retidas pelos elementos filtrantes que se desmembravam no decorrer do tempo em função da pressão da água no interior dos filtros. Desta forma, a qualidade da água à jusante dos filtros pode tornar inferior à água afluente aos mesmos.

A similaridade dos resultados médios finais de cada fase foi comprovada a partir da análise estatística de variância (Tabela 4) que confirmou não ter havido diferença significativa ao nível de 5% entre os tratamentos (filtros de disco e manta sintética) para nenhuma das variáveis (sólidos suspensos, concentração de

algas e bactérias). Já com relação às estações do ano, ou etapas, o teste de Tukey indicou que houve diferenças significativas entre os diferentes períodos de experimentação, exceto para a variável algas (Tabela 5 e 6). Estas diferenças são causadas principalmente pelas mudanças climáticas entre as estações.

Tabela 4. Análise da variância de sólidos suspensos, algas e bactérias, medidos após os filtros de irrigação.

VARIÁVEL	CAUSAS DA VARIAÇÃO	G. L.	Q. M.	VALOR F	PROB. > F
Sólidos Suspensos	FILTRO	1	7,3472034	0,7975	0,62126
	ESTAÇÃO	3	1002,9181468	108,8596	0,0001
	FIL*EST	3	2,6898211	0,2920	0,83268
	RESIDUO	64	9,2129515		
	Total	71			
	Média (mg/L)			16,41	
	Coef. Variação (%)			23,082	
Algas	FILTRO	1	0,0035011	0,0231	0,87416
	ESTAÇÃO	3	6,1218911	40,4736	0,00001
	FIL*EST	3	0,0681711	0,4507	0,72158
	RESIDUO	64	0,1512564		
	Total	71			
	Média transformada (n ^o /cm ³)			6,258687	
	Coef. Variação (%)			6,214	
Bactérias	FILTRO	1	0,9609200	0,2477	0,62624
	ESTAÇÃO	3	22,8889075	5,8993	0,00161
	FIL*EST	3	0,1679838	0,0433	0,98731
	RESIDUO	64	3,8799308		
	Total	71			
	Média transformada (n ^o /cm ³)			6,134080	
	Coef. Variação (%)			32,112	

Tabela 5. Resultados do Teste de Tukey para médias de Filtro.

VARIÁVEL	ESTAÇÃO	NUM. REPET.	MÉDIAS ORIGINAIS	5%
Sólidos Suspensos	Manta	36	15,96	a
	Disco	36	16,85	a
Algas	Manta	36	525,14	a
	Disco	36	517,95	a
Bactérias	Manta	36	409,98	a
	Disco	36	516,80	a

Tabela 6. Resultados do Teste de Tukey para médias de Estação.

VARIÁVEL	ESTAÇÃO	NUM. REPET.	MÉDIAS ORIGINAIS	5%
Sólidos Suspensos	Primavera	18	11,30	b
	Verão	18	18,33	a
	Outono	18	19,58	a
Algas	Primavera	18	791,26	a
	Verão	18	683,63	a
	Outono	18	621,89	a
Bactérias	Primavera	18	119,93	b
	Verão	18	344,09	ab
	Outono	18	1809,63	a

5.3 Evolução da Perda de Carga nos Filtros

Decorrido os 30 dias de ensaio de cada fase, todos os dados de perda de carga localizada armazenados pelo sistema de aquisição de dados, foram reunidos em uma mesma planilha e trabalhados. Em todo o período, com dois turnos de rega diários, os quais têm duração de 2 horas, totalizam-se 72,0 m³ de água filtrada por cada elemento filtrante.

Os resultados finais das 3 etapas, com referência à evolução da perda de carga

medidas em ambos filtros contendo os dois elementos filtrantes podem ser visualizados nas Figuras 8, 9 e 10.

A Figura 8 mostra uma evolução muito intensa da perda de carga no elemento filtrante manta sintética se comparada à mesma ocorrida no filtro com disco. O gráfico final é semelhante à figura do dente de serra, onde há crescimento da perda de carga contínuo até um momento em que há uma queda abrupta. Em seguida, há novo crescimento seguido de nova queda, e assim sucessivamente.

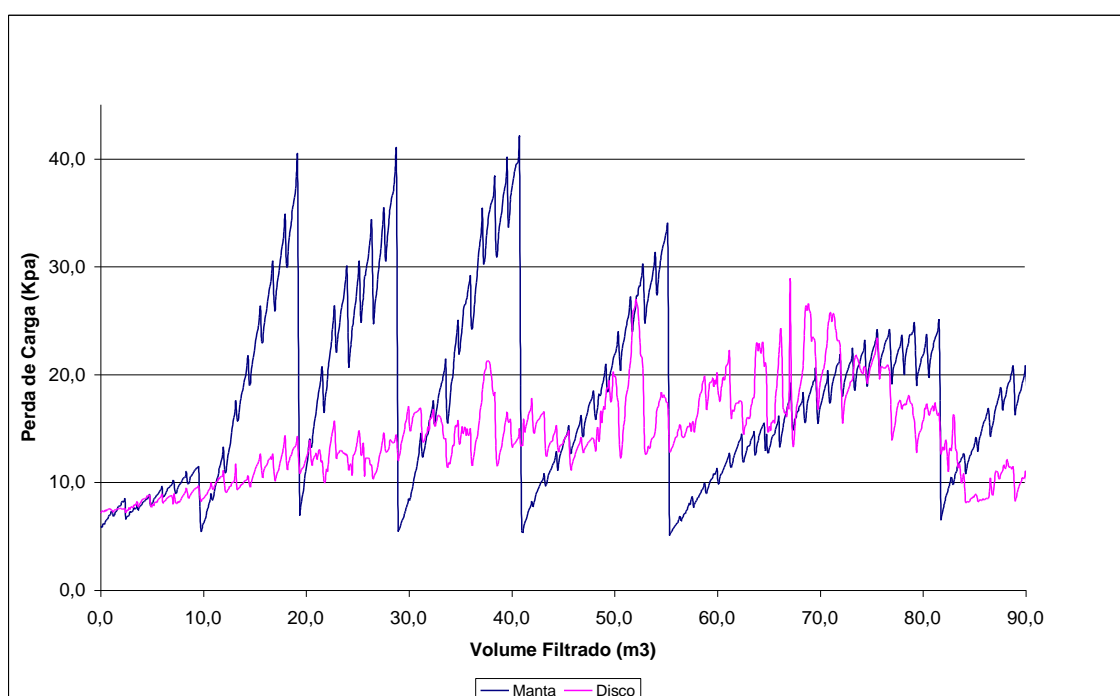


Figura 8. Variação da perda de carga nos elementos filtrantes disco e manta sintética na primeira fase do experimento.

As quedas mais bruscas, em que a perda de carga retorna a um valor abaixo de 20 kPa (para o filtro de manta) representam os momentos de limpeza do elemento filtrante, ao passo que quedas de menor intensidade representam apenas a transição entre um turno e o seguinte de irrigação. É importante destacar que as limpezas dos elementos filtrantes eram realizadas entre os turnos de rega, manualmente e com água de abastecimento urbano. Procurou-se efetuar a limpeza do referido elemento filtrante toda vez que o diferencial de pressão medido no mesmo atingisse 40 kPa.

Nesta primeira etapa da pesquisa, houve necessidade de efetuar a limpeza do filtro de manta cinco vezes. O filtro de disco não precisou ser lavado.

Nesta segunda etapa, observou-se um aumento intenso da concentração de sólidos suspensos na água do reservatório. Verificou-se na Figura 9 que houve maior necessidade de limpeza dos filtros em função desta piora da qualidade da água. No filtro de manta foram realizadas 13 operações de limpeza, sendo que em alguns casos a perda de carga chegou a valores de 100 kPa pela rapidez da elevação das perdas localizadas. No filtro de disco foram necessárias 7 limpezas no período.

Verifica-se através da Figura 10 que, como na etapa final da pesquisa a concentração média de sólidos em suspensão atingiu seus maiores valores, os filtros operaram sob condições mais severas. Assim como nas fases anteriores, a 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 neste filtro ultrapassou rapidamente a perda máxima programada de 40 kPa. Foram necessárias, no período, 19 operações de limpeza do filtro de manta e 5 do filtro de disco.

Depois de finalizadas as 3 etapas da pesquisa, pode-se afirmar que as perdas de carga desenvolvidas no filtro contendo mantas sintéticas não tecidas superaram sempre aquelas desenvolvidas no filtro de disco. Houve, portanto, uma necessidade de se efetuar a retrolavagem no filtro de manta sintética com mais frequência que no filtro com elemento filtrante de disco. Esta desvantagem aparente dos filtros de manta só é confirmada se este filtro não apresentar maior retenção das partículas em suspensão da água. Caso contrário, o maior aumento da perda de carga seria justificado por uma maior eficiência e retenção de materiais em suspensão na água.

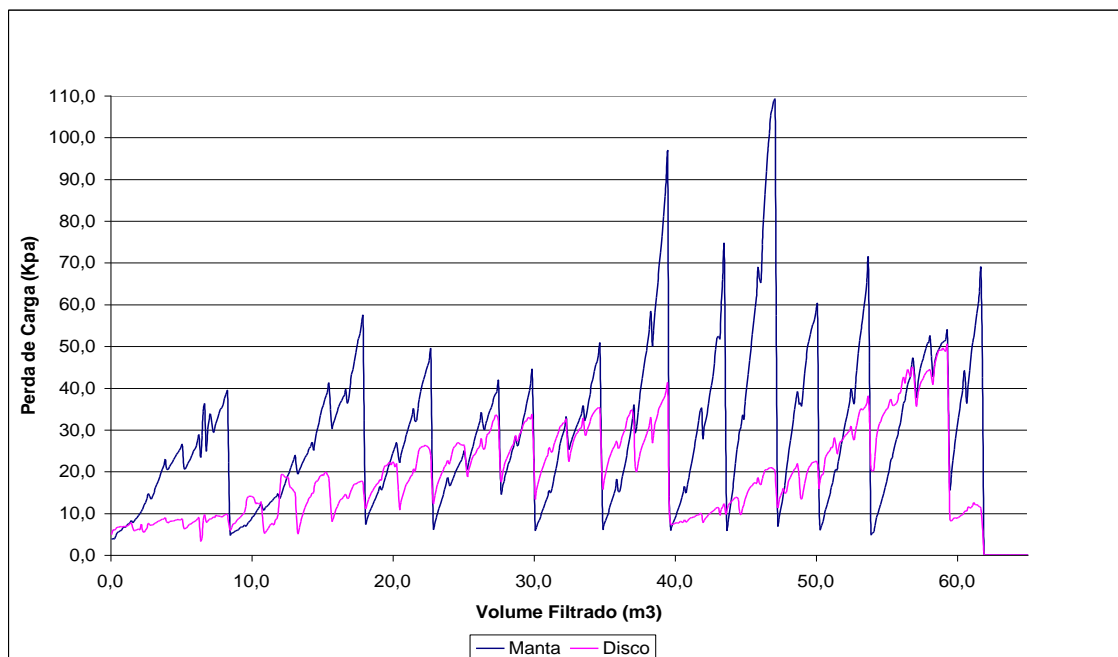


Figura 9. Variação da perda de carga nos elementos filtrantes disco e manta sintética na segunda fase do experimento.

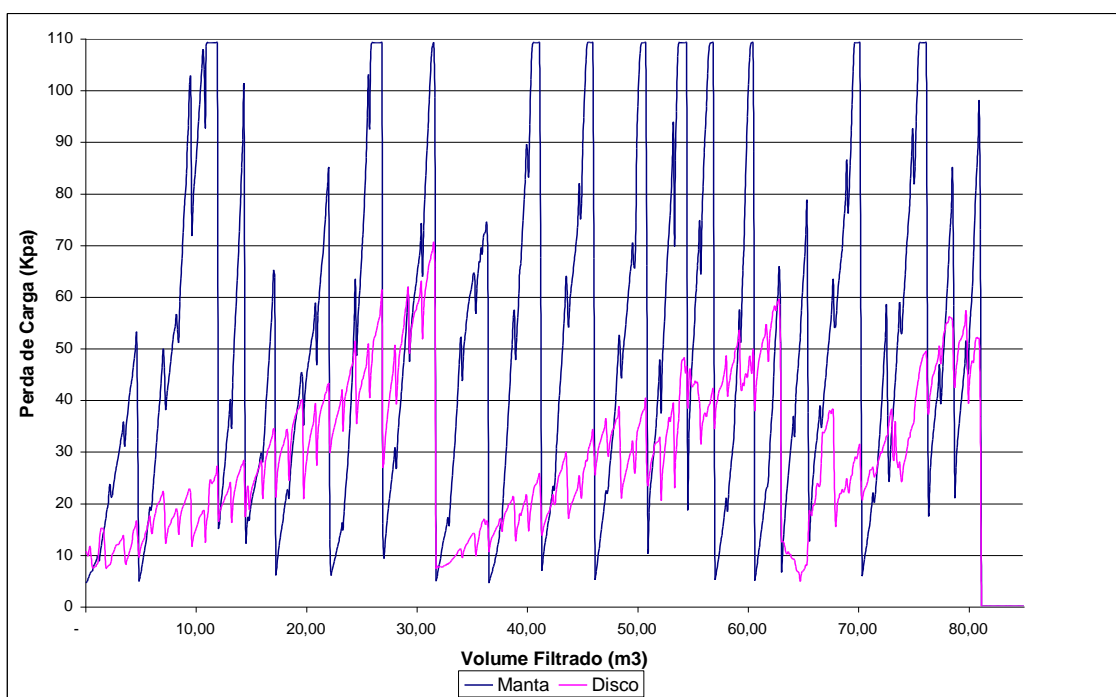


Figura 10. Variação da perda de carga nos elementos filtrantes disco e manta sintética na terceira fase do experimento.

Vale salientar também que o sistema de aquisição de dados funcionou perfeitamente, possibilitando a obtenção de dados precisos e confiáveis.

Devem ser realizados ensaios com outros tipos de mantas não tecidas a fim de encontrar mantas que apresentem uma boa eficiência na remoção de impurezas com menor perda de carga em função do volume filtrado. Pesquisas futuras alterando o tipo de manta, espessura e área de filtragem poderão indicar quais as melhores características desse elemento filtrante para uso na irrigação localizada.

6 CONCLUSÕES

a) Não foram detectadas diferenças significativas entre os elementos filtrantes de disco e manta sintética não tecida com relação à

remoção de sólidos suspensos totais da água, algas e bactérias, num nível de significância de 5%.

b) O filtro de manta sintética não tecida apresentou uma evolução mais acentuada da perda de carga que o filtro de disco durante o período do experimento e necessitou de limpezas mais frequentes.

c) Devido aos resultados de perda de carga, pode-se afirmar que o elemento filtrante de disco apresentou melhor desempenho geral que a manta sintética não tecida para as condições experimentais desta pesquisa. No entanto, podem-se desenvolver filtros com estruturas mais adequadas ao elemento filtrante de manta sintética não tecida, de forma a reduzir a sua perda de carga e elevar a sua eficiência. Este desenvolvimento pode ser acompanhado de mecanismos de lavagem automática para que a elevação da perda de carga não se torne um fator limitante ao uso deste elemento filtrante, embora aumente os custos fixos do sistema.

7 AGRADECIMENTOS

À FAPESP pelo auxílio financeiro para a realização deste projeto (Processo:00/01292-5) e pelas bolsas de Mestrado e Iniciação Científica concedidas (Processos: 01/02058-9 e 01/01719-1).

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUCKS, D.A.; NAKAYAMA, F.S. **Trickle irrigation for crop production: design, operation and management.** Amsterdam: Elsevier, 1986. 383 p.
- CRUZ, L.B. **Utilização de mantas sintéticas não tecidas na filtração sob pressão.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.
- COSTA, E.F. et al. **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação.** Brasília: Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo/Embrapa, 1994. 315 p.
- ENGLISH, S.D. Filtration and water treatment for micro-irrigation. In. INTERNACIONAL DRIP/TRICKLE IRRIGATION CONGRESS, 3, 1985, Fresno. **Proceedings.** St Joseph: AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. p. 50-57.
- GILBERT, R.G.; FORD, H.W. Operational principles/emitter clogging. In: NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. **Trickle irrigation for crop production: design, operation and management** Amsterdam: Elsevier, 1986. cap.3, p.142-163.
- MBWETTE, T. S. A.; GRAHAM, N. J. D. Improving the efficiency of slow sand filtration with non woven synthetic fabrics. In: **Filtration and separation.** v. 24, p. 46-50, 1987.
- NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. Water quality in drip/trickle irrigation: a review. **Irrigation Science,** v.12, p.187-192, 1991.
- PATERNIANI, J.E.S. **Utilização de mantas sintéticas não tecidas na filtração lenta em areia de águas de abastecimento.** 245 f. 1991. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- PIMENTEL, F.G. **Curso de estatística experimental.** 10 ed. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1982. 430 p.
- PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia.** 3. ed. Madrid: Mundi Prensa, 1996. 513 p.
- RAVINA, I.; PAZ, E.; SOFER, Z. MARCU, A.; SHISHA, A.; SAGI, G. Control of emitter clogging in drip irrigation with reclaimed wastewater. **Irrigation Science,** v. 13. p. 129-139, 1992.
- SCATOLINI, M.E. **Utilização de mantas não tecidas como elemento filtrante em sistemas de irrigação localizada.** 141 f. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.