

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**UTILIZAÇÃO DE MANTAS NÃO TECIDAS COMO ELEMENTO
FILTRANTE EM SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA.**

MARCOS EDUARDO SCATOLINI
Eng. Agrônomo

Campinas - SP

Março de 2001

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**UTILIZAÇÃO DE MANTAS NÃO TECIDAS COMO ELEMENTO
FILTRANTE EM SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA.**

MARCOS EDUARDO SCATOLINI

Eng. Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. JOSÉ EUCLIDES STIPP PATERNIANI

Tese para obtenção de título de Doutor em
Engenharia Agrícola, Área de Concentração:
Água e Solo.

Campinas - SP

Março de 2001

À minha mulher Gláucia e
minhas filhas Camila e Bárbara
ofereço

Aos meus pais Raul e Lucilla

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. José Euclides Stipp Paterniani por estar presente em mais esta etapa de aprendizado, sempre nos conduzindo aos nossos objetivos com sabedoria e tranquilidade e, principalmente, pela amizade e confiança depositada.

Aos professores da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp que, de forma direta ou indireta contribuíram para a concretização deste trabalho.

Aos técnicos Túlio e Gelson pelo auxílio na condução dos experimentos.

Aos colegas Miller Marani Lima e Rogério Pereira da Silva Airoidi por compartilhar da fase experimental, desenvolvendo um produtivo trabalho em equipe.

À Agropecuária Kortstee, nas pessoas de Paulo e Gradus Kortstee, pela cessão do local e instalações onde foram realizadas a segunda e terceira etapas do experimento.

À FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo suporte financeiro para a realização deste trabalho.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	III
LISTA DE FIGURAS.....	VI
LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	IX
RESUMO.....	X
SUMMARY	XII
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MATERIAL E MÉTODOS	5
2.1. LOCAL DO EXPERIMENTO E MATERIAIS UTILIZADOS.....	5
2.2. ENSAIOS DE LABORATÓRIO (PRIMEIRA ETAPA).....	7
2.3. ENSAIOS DE CAMPO (SEGUNDA ETAPA)	10
<i>2.3.1. Calibração dos transdutores de pressão:</i>	<i>13</i>
<i>2.3.2. Procedimento para determinação dos sólidos suspensos totais.....</i>	<i>14</i>
<i>2.3.3. Avaliação dos meios filtrantes quanto à remoção de sólidos suspensos</i>	<i>15</i>
2.4. ENSAIOS DE CAMPO COM EMISSORES (TERCEIRA ETAPA)	16
<i>2.4.1. Procedimento para determinação da quantidade de algas</i>	<i>18</i>

2.4.2. Avaliação dos meios filtrantes quanto à remoção de algas	18
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
3.1. RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA	20
3.2. RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA.....	21
3.3. RESULTADOS DA TERCEIRA ETAPA.....	22
4. ARTIGOS.....	25
4.1. ARTIGO CIENTÍFICO I.....	26
4.2. ARTIGO CIENTÍFICO II.....	27
4.3. ARTIGO CIENTÍFICO III	28
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Filtro de discos de 1” AMIAD	6
Figura 2: Estrutura de fixação da manta sintética não tecida	7
Figura 3: Sistema hidráulico para teste em laboratório.	8
Figura 4: Módulo de ensaio da Segunda fase	11
Figura 5: Datalogger e transdutor diferencial de pressão	12
Figura 6: Equação de calibração do transdutor de pressão	13
Figura 7: Linhas de gotejadores – terceira etapa do ensaio.	17
Figura 8: Principais gêneros de algas encontrados	23
Figura 9: Gráficos da perda de carga da manta M1 em laboratório.	35
Figura 10: Gráficos da perda de carga da manta M2 em laboratório.	35
Figura 11: Gráficos da perda de carga da manta M3 em laboratório.	36
Figura 12: Gráfico da perda de carga da manta M4 em laboratório	36
Figura 13: Gráfico da perda de carga da manta M5 em laboratório	37
Figura 14: Gráfico da perda de carga da manta M6 em laboratório	37
Figura 15: Gráfico da perda de carga da manta M7 em laboratório	38
Figura 16: Gráfico da perda de carga da manta M8 em laboratório	38
Figura 17: Gráfico da perda de carga do elemento de tela em laboratório	39
Figura 18: Gráfico da perda de carga do elemento de discos em laboratório.....	39
Figura 19: Remoção média de sólidos suspensos –fase 2	41
Figura 20: Evolução média da perda de carga – fase 2	41

Figura 21: Remoção média de algas – fase 3.....	45
Figura 22: Evolução média da perda de carga – fase 3	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características do filtro AMIAD	6
Tabela 2: Característica das mantas sintéticas não tecidas (Fabricante: Tapetes São Carlos).	9
Tabela 3: Característica das mantas sintéticas não tecidas (Fabricantes: AMOCO Ltda. e OBER S.A.).	9
Tabela 4: Perda de carga (kPa) em função da vazão.	20
Tabela 5: Características físico-químicas da água.....	24
Tabela 6: Remoção de sólidos suspensos.	40
Tabela 7: Análise estatística da remoção de sólidos suspensos.....	42
Tabela 8: Contagem de algas	43
Tabela 9: Porcentagem de remoção de algas	44
Tabela 10: Análise estatística da remoção de algas	46

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

A_{fl}	-	Concentração de sólidos em suspensão no afluente
E_{fl}	-	Concentração de sólidos em suspensão no efluente
$Rem_{\%}$	-	Porcentagem de remoção de sólidos em suspensão
h_f	-	Perda de carga (kPa)
SST	-	Sólidos suspensos totais (mg/L)
P_1	-	Peso do filtro mais sólidos (mg/L)
P_0	-	Peso do filtro limpo
Vol	-	Volume da amostra (L)
M1 / M8	-	Mantas sintéticas não tecidas 1 a 8
q_i	-	vazão do emissor
n	-	número de emissores
V_{qs}	-	coeficiente de variação
U_s	-	Uniformidade estatística
$\mu S/cm$	-	microsiemens por centímetro
mV	-	milivolt
kPa	-	Quilopascal
L/h	-	litro por hora
m^3/h	-	metro cúbico por hora
mg/L	-	miligrama por litro

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência das mantas sintéticas não tecidas na remoção de sólidos suspensos e especificamente algas presentes na água utilizada em sistemas de irrigação localizada. Para a avaliação das mantas sintéticas os ensaios foram divididos em três etapas: na primeira etapa foram analisados em laboratório oito tipos de mantas sintéticas não tecidas quanto à evolução da perda de carga em função da vazão utilizando água tratada, sem impurezas que pudessem ser retidas e ocasionassem aumento na perda de carga; na segunda etapa, três mantas sintéticas selecionadas foram colocadas junto a elementos de tela e discos de 120MESH para avaliações comparativas, quanto à remoção de sólidos suspensos presentes na água de irrigação e quanto à evolução na perda de carga; para a terceira etapa foi selecionada uma manta sintética e colocada junto aos elementos de tela e discos de 120 MESH para avaliações quanto à remoção de algas presentes na água e quanto à obstrução dos gotejadores com vazão de 4 L/h e 8L/h instalados após os elementos filtrantes. A avaliação da eficiência dos meios filtrantes foi feita à partir de amostras de água coletadas do afluente e efluente dos filtros, determinando-se a concentração de sólidos suspensos (mg/L) na segunda etapa e fazendo-se a contagem de algas pelo método de Sedgwick-Rafter na terceira etapa. As

porcentagens de sólidos suspensos e algas foram analisadas aplicando-se o teste F para análise da variância e os dados, em porcentagem, foram transformados segundo o arco seno da raiz de $x/100$. A partir destes dados foi feita análise estatística (teste de Duncan) para verificar diferenças significativas entre os elementos filtrantes. Os resultados demonstraram que as mantas sintéticas não tecidas apresentaram desempenho superior aos elementos de tela e disco na remoção de sólidos suspensos, com média de 28% de remoção, enquanto que os elementos de tela e disco apresentaram média de 20% de remoção. As três mantas sintéticas não apresentaram diferença significativa na remoção de sólidos suspensos mas foram significativamente mais eficientes que os elementos de tela e discos a 1% de significância. Também quanto à remoção de algas, as mantas sintéticas foram mais eficientes, a 1% de significância, que os elementos de tela e disco, com 35% de remoção de algas, enquanto que estes apresentaram 26% de remoção. Quanto à obstrução dos gotejadores de 4 L/h e 8L/h, não foi verificada evolução definida para nenhum tratamento, quando analisadas a Uniformidade Estatística (Us) e a vazão média dos gotejadores.

SUMMARY

The objective of this work was to evaluate the efficiency of non woven synthetic fabrics on algae removal from water used in trickle and drip irrigation systems. For the evaluation of the non woven synthetic fabrics, the assays have been divided in three stages: in the first stage eight types of synthetic fabrics were evaluated in relation to the head loss evolution, as a function of the outflow, in laboratory using treated water without impurities that could be restrained and cause increase in the head loss. On the second stage, three selected non woven synthetic fabrics have been placed together with screen and disks filters of 120MESH for comparative evaluations related to suspended solids removal from the irrigation water and the evolution in the head loss. For the third stage it was selected one of the non woven synthetic fabrics, putting it together with the screen and disks filters for evaluating it in relation to algae removal from the water and dripper clogging with outflow of 4L/h and 8L/h, installed after the filters. The evaluation of the filter efficiency was made collecting water samples of the influent and effluent of the filters, determining the suspended solid concentration (mg/L) in the second stage and counting algae by the method of Sedgwick-Rafter in the third stage. The percentages of suspended solids and algae have been analyzed applying the test F for analysis of the variance. The data, in percentage, has been transformed according to arc sine of the root

of $x / 100$. These data were analyzed (test of Duncan) to verify significant differences between the filter elements. The results demonstrated that the non woven synthetic fabrics presented better performance than the screen and disks filter for suspended solid removal, with average removal of 28%, while the screen and disk filters presented an average of 20% of removal. The three synthetic fabrics haven't presented significant differences in the suspended solid removal, but they have been significantly more efficient than the screen and disks filters (1% of significance). Also in relation to algae removal, the synthetic fabrics have been more efficient (1% of significance) than the screen and the disks filters, with 35% of algae removal, against 26% for the filters. In relation to dripper clogging of 4 L/h and 8L/h, a defined evolution was not verified, when analyzed with the Uniformity Statistics (Us) and the average outflow of the drippers.

1. Introdução

O contínuo desenvolvimento dos métodos de irrigação e a busca constante por maior eficiência e, conseqüentemente redução de custos, consumo dos recursos hídricos e energéticos têm levado ao desenvolvimento de materiais e equipamentos para melhorar o desempenho dos sistemas de irrigação.

Os sistemas de irrigação localizada por gotejamento apresentam diversas vantagens sobre os sistemas de irrigação convencionais. Dentre as principais pode-se destacar a economia de água, a facilidade e eficiência da injeção de fertilizantes, menor exigência de mão-de-obra e redução dos riscos de contaminação de alimentos por organismos patogênicos (Paterniani et al., 1994), uma vez que a água é aplicada diretamente no solo, não havendo contato com as folhas e frutos.

No entanto, para que o sistema apresente eficiência na aplicação de água, são necessários sistemas de filtragem que evitem a passagem de partículas minerais sólidas, materiais de origem orgânica e precipitados químicos.

Na irrigação localizada, um dos fatores que eleva os custos de operação e manutenção do sistema e, em certos casos, inviabiliza a utilização desse método é a obstrução de emissores por sólidos presentes na água.

Diversos trabalhos de pesquisa e observações de campo indicam que as causas de obstrução em emissores e sistemas de filtragem podem ser divididas em três principais categorias: material em suspensão; precipitados químicos; e crescimento microbiano (Nakayama, et al., 1977).

Normalmente as obstruções são causadas pela combinação desses fatores, como por exemplo a presença de argila e produtos de corrosão envoltos em massa biológica e cimentados com precipitados de CaCO_3 . No entanto, tem sido observado que os maiores problemas de obstrução normalmente são causados pela presença de materiais em suspensão, como silte, algas, etc. (Adin & Alon, 1986).

Inclusive, com a crescente difusão de técnicas de fertirrigação, observa-se a intensificação de problemas decorrentes de crescimento de algas nas águas dos mananciais e no interior das tubulações dos sistemas de irrigação, exigindo cada vez mais eficiência dos sistemas de filtragem.

A eficiência ou não de diversos procedimentos e equipamentos de filtragem é função da qualidade da água utilizada na irrigação. Porém uma caracterização detalhada da qualidade da água é muitas vezes de difícil realização em condições de campo e, também pode ser prejudicada pelas variações temporais na concentração de diversos materiais orgânicos e inorgânicos.

Hills & El-Ebaby (1990) avaliaram diferentes gotejadores, em condições de laboratório, quanto à obstrução causada por algas e materiais de origem inorgânica em suspensão. Os resultados mostraram que os gotejadores não foram muito afetados por impurezas inorgânicas, porém, impurezas orgânicas resultaram em obstrução gradual dos emissores devido ao crescimento microbiano.

Processos físicos de filtração e tratamentos químicos são muitas vezes utilizados nesses sistemas para minimizar a obstrução de emissores (Gilbert, et al., 1981; Nakayama, et al., 1977; Oron, et al., 1980; Solomon & Keller, 1978).

Os mecanismos de filtração podem ser divididos em duas categorias: os filtros de tela e discos, classificados como elementos de filtração mecânica ou de superfície, onde o processo de filtração é baseado no princípio segundo o qual os poros do meio filtrante são menores que o diâmetro das partículas a serem filtradas; e os filtros granulares ou de areia, onde as partículas a serem retidas são menores que os poros do elemento filtrante, porém a retenção dessas partículas é conseguida por processos físico-químicos (Adin & Alon, 1986).

A remoção de algas por filtros de superfície não é considerada eficiente. No entanto, poucos experimentos têm caracterizado a capacidade de remoção destes meios filtrantes, sendo que recentes experimentos têm demonstrado a possibilidade do uso de mantas não tecidas como elemento filtrante mais eficiente na remoção de sólidos suspensos em filtros para irrigação localizada (Paterniani & Silva, 1996).

As mantas sintéticas não tecidas são geotêxteis constituídos por fibras poliméricas, sendo que aproximadamente 75% dos materiais utilizados atualmente são baseados em resinas de polipropileno, enquanto que 20% em poliéster e outros 5% em um conjunto de resinas que abrange polietileno, poliamida, etc (Daniel & Koerner, 1995). A estas resinas normalmente são adicionados vários aditivos, para conferir às mesmas, diferentes propriedades.

As mantas sintéticas utilizadas neste experimento são chamadas de mantas agulhadas, sendo produzidas a partir do uso combinado de fios de diferentes materiais,

por meio de agulhas que os entrelaçam e constituídos por poliéster (PES), poliamida (PA) e polipropileno (PP) (Mawette & Graham, 1987; Di Bernardo et al., 1990).

O objetivo do presente trabalho foi determinar a eficiência da utilização de manta sintética não tecida como elemento filtrante, principalmente quanto à retenção de algas, colocando-o como uma alternativa ao uso de sistemas de filtragem mais complexos, principalmente em projetos de baixa vazão.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local do experimento e materiais utilizados

Este experimento foi delineado para ser realizado em três etapas distintas, sendo que os resultados parciais de cada etapa serviram de referência para a seleção do material a ser utilizado na etapa seguinte. Nas três etapas foram avaliados três meios filtrantes, sendo dois deles comercialmente utilizados: a tela de nylon e o disco, ambos com 120MESH; e um terceiro: a manta sintética não tecida. Durante os ensaios foram avaliadas e selecionadas diversas mantas sintéticas com características diferentes quanto à espessura, densidade e composição da fibra, para verificar a mais eficiente.

A primeira etapa foi realizada no laboratório de Hidráulica e Irrigação da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP e as segunda e terceira etapas em uma propriedade agrícola de produção de flores e plantas ornamentais, localizada no município de Holambra –SP, onde se utiliza água de superfície para irrigação localizada.

Para a avaliação dos meios filtrantes foi selecionado um corpo de filtro disponível comercialmente, marca AMIAD de 1” (Figura 1), fabricado em material plástico e com as dimensões descritas na Tabela 1.

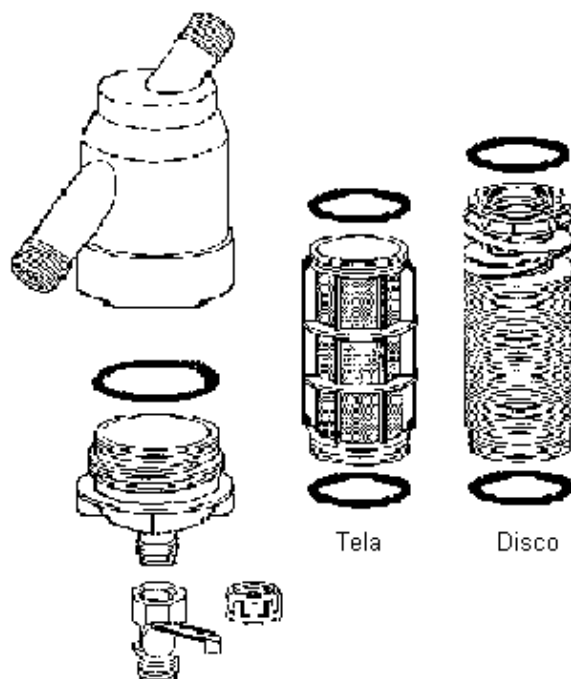


Figura 1: Filtro de discos de 1" AMIAD

Tabela 1: Características do filtro AMIAD

CARACTERÍSTICA	DIMENSÕES
Diâmetro nominal	1"
Diâmetro interno	5 – 6cm
Altura	9,8cm
Código do fabricante	112-00
Área de filtração do disco	195cm ²
Área de filtração da tela	185cm ²

Como elementos filtrantes foram avaliados a tela de nylon com 120MESH, discos ranhurados em material plástico com 120MESH e as mantas sintéticas não tecidas.

Para fixação da manta sintética não tecida foi utilizado o próprio suporte dos discos, conseguindo-se assim uma superfície de filtração similar à dos outros elementos filtrantes, com 173cm^2 (Figura 2).



Figura 2: Estrutura de fixação da manta sintética não tecida

2.2. Ensaios de laboratório (primeira etapa)

A primeira etapa, realizada no laboratório de Hidráulica e Irrigação da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, consistiu na construção de um sistema hidráulico para teste do filtro de 1" com diferentes elementos filtrantes, onde foi determinada a perda de carga em função da vazão através dos meios filtrantes.

O sistema hidráulico foi composto por uma motobomba centrífuga elétrica ligada a um reservatório, válvula reguladora de pressão de 2", tubulação adutora em PVC de 2",

filtro, 2 tomadas de pressão para determinação da pressão diferencial medida em manômetro de mercúrio com escala em milímetros, medidor de vazão CONAUT e tubulação de retorno ao reservatório (Figura 3).



Figura 3: Sistema hidráulico para teste em laboratório.

Na construção deste sistema observou-se a distância mínima de dez vezes o diâmetro da tubulação antes e depois do filtro para a instalação das tomadas de pressão, o que equivale à distância de 50,8cm. Este procedimento é recomendado para evitar transientes hidráulicos que possam interferir nas determinações de pressão. A utilização de válvula reguladora de pressão na saída do conjunto motobomba permitiu a variação da vazão mantendo-se a pressão constante na entrada do filtro.

Os elementos filtrantes testados neste módulo hidráulico foram a tela de 120MESH, os discos de 120MESH e oito diferentes mantas sintéticas não tecidas (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2: Característica das mantas sintéticas não tecidas (Fabricante: Tapetes São Carlos).

MANTAS	M1	M2	M3	M5
COR	Verde	Cinza	Preta	Branca2
Massa específica do fio ρ_f (g/cm ³)	1,2031	1,1237	0,9835	1,1215
Massa específica da manta ρ_f (g/cm ³)	0,1081	0,1235	0,1151	0,1713
Porosidade ε_o (%)	91,02	89,01	88,29	84,72
Diâmetro médio do fio d_f (μm)	37,81	42,43	45,09	29,58
Superfície específica S_o (m ² /m ³)	9500	10360	10388	20662
Permeabilidade (mm/s)	7,33	7,01	7,16	1,31

Tabela 3: Característica das mantas sintéticas não tecidas (Fabricantes: AMOCO Ltda. e OBER S.A.).

MANTAS	M4	M6	M7	M8
Identificação	AMOCO - 380	OBER - G150	OBER - G200	OBER - G300
Gramatura (g/m ²)	380	150	200	300
Espessura (mm)	3,8	1,50	2,15	2,80
Porosidade ε_o (%)		90	90	90
Permeabilidade (mm/s)	5	4	4	4
Abertura de filtragem (μm)	150	100	100	100

O teste foi realizado utilizando-se água tratada e com concentração de sólidos em suspensão insignificante para os meios filtrantes utilizados, caracterizando-se as

diferenças de perda de carga (kPa) apenas em função da variação da vazão (m^3/h) através do meios porosos.

Para a determinação da perda de carga foram realizadas três repetições com os elementos filtrantes submetidos a vazões crescentes, de 0,5 a 6,0 m^3/h , com incrementos de 0,5 m^3/h . A vazão limite foi determinada de acordo com a recomendação do fabricante para elementos de tela e discos.

2.3. Ensaios de campo (segunda etapa)

Na segunda etapa foi instalada uma unidade de bombeamento em um reservatório de água superficial, o qual é utilizado para irrigação na propriedade agrícola de produção de plantas ornamentais. Este reservatório apresenta acúmulo de sólidos em suspensão e, especificamente material de origem orgânica.

Após a unidade de bombeamento foi montada uma tubulação com cinco filtros em paralelo, e reguladores de pressão para garantir pressão igual na entrada dos filtros e equivalente a 106 kPa. A vazão total média do sistema foi de 12 m^3/h , apresentando cada filtro a vazão de 2,4 m^3/h (Figura 4).



Figura 4: Módulo de ensaio da Segunda fase

A evolução da perda de carga foi monitorada por transdutores diferenciais de pressão marca Motorola, modelo MPX-2100, com capacidade para até 200kPa. Os dados de perda de carga foram armazenados em um datalogger marca Campbell Scientific, modelo CR-10X, sendo feitas leituras de perda de carga a cada segundo e determinadas as médias a cada 60 segundos. O tempo de cada ensaio foi variável, em função da concentração de sólidos em suspensão e, conseqüentemente, da evolução da perda de carga (Figura 5).

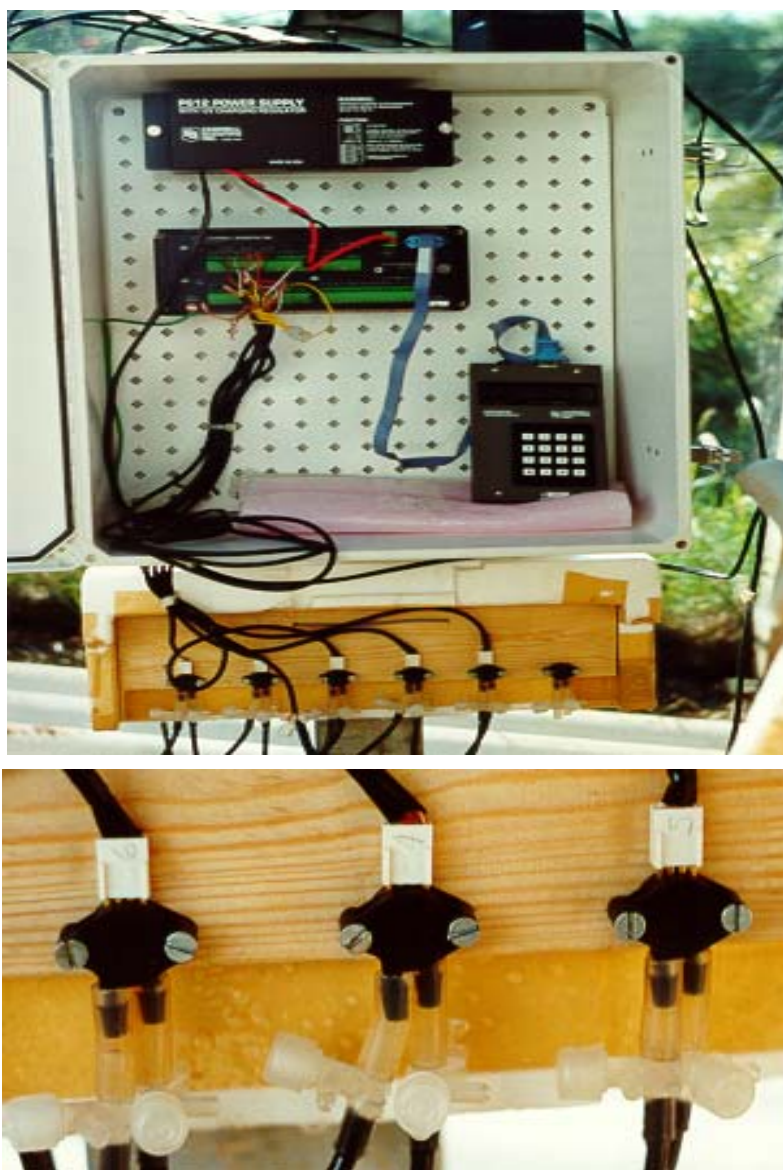


Figura 5: Datalogger e transdutor diferencial de pressão

2.3.1. Calibração dos transdutores de pressão:

Para a calibração dos transdutores de pressão foram utilizadas as instalações hidráulicas da 1^o etapa. Foram feitas três repetições de calibração de cada transdutor, fazendo-se leitura da pressão diferencial no manômetro de mercúrio e do sinal, em milivolts, emitidos pelo transdutor de pressão e coletado pelo datalogger. Como todos os transdutores de pressão apresentaram equações semelhantes, foi elaborada uma equação média dos cinco transdutores correlacionando a pressão (kPa) e o sinal (mV) (Figura 6).

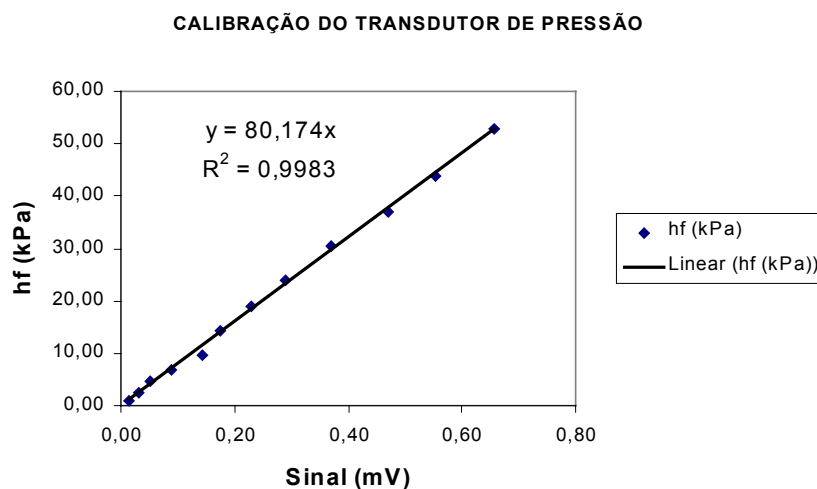


Figura 6: Equação de calibração do transdutor de pressão

2.3.2. Procedimento para determinação dos sólidos suspensos totais

A determinação da concentração de sólidos suspensos totais foi feita pelo método gravimétrico, utilizando-se um filtro de fibra de vidro modelo “GF 52/C (Ø 47mm), que foi pesado dentro de um suporte de alumínio, em balança analítica, o qual foi previamente calcinado na mufla a 550 °C por 30 minutos e resfriado em dessecador; colocou-se o filtro no suporte e conectou-se a um kitassato, ligado ao sistema de vácuo; filtrou-se uma quantidade conhecida de amostra bem misturada, aplicando vácuo no sistema.

Encerrada a filtragem da amostra, adicionou-se 3 vezes sucessivas 10ml de água destilada, para lavar a amostra e deixando secar por alguns minutos no suporte de alumínio. Após este período, a amostra foi seca em estufa a 103 – 105 °C, por 1 hora e pesada em balança analítica.

De posse dos dados necessários usamos a seguinte equação para determinação dos sólidos suspensos totais:

$$SST = \frac{(P_1 - P_0) \times 1000}{Vol} \dots\dots\dots \text{Equação 1}$$

Onde: *SST* = Sólidos suspensos totais em (mg/l)
P₁ = peso do filtro mais sólidos em (g)
P₀ = peso do filtro limpo em (g)
Vol = volume de amostra usado em (l)

2.3.3. Avaliação dos meios filtrantes quanto à remoção de sólidos suspensos

Nesta etapa foram realizados 27 ensaios para a determinação da perda de carga gerada pelos filtros e da concentração de sólidos em suspensão do afluente e dos efluentes dos diferentes meios filtrantes, com a finalidade de calcular a porcentagem de remoção para cada meio filtrante (Equação 2). Durante cada ensaio, que variou de 2 a 4 horas de duração, em função da evolução da perda de carga, foi coletada uma amostra de com 1 litro do afluente e dos efluentes dos 5 elementos filtrantes.

$$REM_{\%} = 100 \times [1 - (Efl / Afl)] \dots\dots\dots \textbf{Equação 2}$$

onde: $REM_{\%}$ = porcentagem de remoção de sólidos em suspensão
 Efl = concentração de sólidos em suspensão no efluente
 Afl = concentração de sólidos em suspensão no afluente

Para a avaliação de diferenças na eficiência de remoção de sólidos em suspensão pelos diferentes meios filtrantes, foi aplicado o teste F às médias de porcentagem de remoção dos dados de 27 ensaios transformados segundo o arc sen da raiz quadrada de x/100 e aplicado o teste de DUNCAN para determinação de diferenças significativas a 5% e 1% de probabilidade.

2.4. Ensaios de campo com emissores (terceira etapa)

Na terceira etapa, também realizada à partir do mesmo reservatório localizado na propriedade agrícola, foram instalados no interior de um viveiro de plantas ornamentais quatro linhas de gotejamento para vasos com duas vazões diferentes em cada linha. Os gotejadores utilizados foram da marca PLASTRO GVAT, modelo TUFF-TIFF, com vazão nominal de 4L/h e 8L/h. Estes emissores foram instalados alternados em uma tubulação de polietileno de baixa densidade com diâmetro interno de 20mm com 30 metros de comprimento, espaçados de 25cm, num total de 120 emissores (60 emissores de 4L/h e 60 emissores de 8L/h). Estes emissores foram selecionados por serem gotejadores de labirinto normalmente utilizados em sistemas de irrigação localizada em estufas e possuírem facilidade de abertura e exposição do labirinto para análise. Antes de cada linha de gotejadores foi instalado um filtro e um regulador de pressão com capacidade para 106 kPa para garantir pressão constante na saída dos filtros e, consequentemente, vazão uniforme nos gotejadores (Figura 7).

Antes de cada linha de gotejadores foram instalados os filtros com o elemento de tela, de discos, a manta sintética não tecida selecionada na primeira e segunda etapa, e uma linha de gotejadores foi deixada sem elemento filtrante.

Nesta etapa foi iniciada a coleta de amostras do afluente e do efluente para a identificação e contagem de algas com a finalidade de determinar a eficiência dos meios filtrantes e, particularmente, da manta sintética não tecida, na remoção de algas presentes na água de irrigação. Além da identificação e contagem de algas, também foi determinada

a concentração de sólidos em suspensão, a condutividade elétrica e o pH do afluente e dos efluentes.



Figura 7: Linhas de gotejadores – terceira etapa do ensaio.

A finalidade da utilização de gotejadores foi ter mais um parâmetro para a avaliação da eficiência de remoção dos meios filtrantes. Para tanto foram medidas as vazões das linhas de gotejamento durante o período de ensaio para determinar a evolução e o grau de obstrução dos gotejadores. A linha de gotejadores utilizada sem elemento filtrante serviu para caracterizar o potencial de obstrução da água utilizada.

A partir das amostras de água foram feitas análises de acordo com as metodologias apresentadas no “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” - AWWA, APHA, WPCF (1985). A contagem de algas foi feita pelo método de Sedgwick-Rafter, determinando-se a concentração média de algas presentes no afluente e efluente dos meios filtrantes (Branco, 1978).

2.4.1. Procedimento para determinação da quantidade de algas

O procedimento para a contagem de algas presentes no afluente e efluente dos tratamentos realizados foi a concentração da amostra de água em 100 vezes por meio de filtração e posterior adição de água em volume 100 vezes menor que o inicial.

A determinação da quantidade de algas, realizada em câmara de Sedgwick-Rafter, consistiu em colocar 1ml da amostra preparada em uma lâmina com a forma de uma pequena cuba medindo 5cm de comprimento por 2cm de largura por 1 milímetro de altura. Para a contagem de organismos na amostra foi utilizado um disco com um impresso reticulado quadrado, denominado micrômetro de Whipple, subdividido em 100 quadrículas. Devido à baixa concentração de algas na amostra, foram contadas 10 faixas com 10 quadrículas cada, num total de 100 quadrículas por amostra.

2.4.2. Avaliação dos meios filtrantes quanto à remoção de algas

A eficiência da manta sintética não tecida como meio filtrante foi caracterizada a partir da capacidade de remoção de algas pelos elementos filtrantes.

A determinação da capacidade de remoção dos elementos filtrantes foi feita a partir de 23 amostras onde foram determinadas a porcentagem de remoção de algas conforme a equação 1 utilizada na segunda etapa. Para a determinação de diferenças significativas entre os elementos filtrantes foi utilizado o mesmo procedimento estatístico da segunda etapa do experimento, ou seja, aplicou-se o teste F às médias de porcentagem de remoção dos dados de 48 ensaios transformados segundo o $\arcsin$ da raiz quadrada

de $x/100$ e aplicado o teste de DUNCAN para determinação de diferenças significativas a 5% e 1% de probabilidade.

Para a avaliação dos gotejadores foram determinados 17 pontos de amostragem para cada linha de gotejamento e para cada uma das duas vazões (28,3% do total). Nestes pontos foram feitas medidas semanais de vazão, num total de 15 amostras durante um período de 22 semanas. Para cada ensaio foi determinada a variação da vazão dos emissores de acordo com a metodologia apresentada pela ASAE EP485 (1992) à partir da determinação do coeficiente de uniformidade estatística (U_s) (Equação 3) e da vazão média dos gotejadores, sendo aplicado o teste de DUNCAN para verificação de diferenças significativas entre os tratamentos.

$$U_s = 100(1 - V_{qs}) \dots\dots\dots \textbf{Equação 3}$$

$$V_{qs} = \frac{Sq}{\bar{q}} \dots\dots\dots \textbf{Equação 4}$$

$$Sq = \left\{ \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n qi^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n qi \right)^2 \right] \right\}^{1/2} \dots\dots\dots \textbf{Equação 5}$$

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n qi \dots\dots\dots \textbf{Equação 6}$$

Onde: qi = vazão do emissor
 n = número de emissores randomicamente selecionados
 V_{qs} = coeficiente de variação
 U_s = uniformidade estatística de vazão do emissor

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Resultados da primeira etapa

Os resultados demonstraram que todos os elementos filtrantes apresentaram desempenho semelhante, não se verificando qualquer restrição quanto à evolução da perda de carga. Apenas o elemento de discos apresentou perda de carga ligeiramente superior aos demais elementos, o que pode ser explicado pela espessura do meio filtrante, em torno de 10mm, enquanto que as mantas apresentaram espessura média de 3,5mm e a tela 1mm (Tabela 4).

Tabela 4: Perda de carga (kPa) em função da vazão.

Vazão (m ³ /h)	M1 (kPa)	M2 (kPa)	M3 (kPa)	M4 (kPa)	M5 (kPa)	M6 (kPa)	M7 (kPa)	M8 (kPa)	DISCO (kPa)	TELA (kPa)
0,5	0,89	1,16	1,02	1,16	1,24	0,89	1,02	1,20	1,07	0,89
1,0	1,87	2,05	2,18	2,05	2,03	2,09	2,00	2,36	2,33	1,87
1,5	3,29	3,78	3,87	3,78	3,53	3,56	4,18	4,13	4,73	3,42
2,0	5,74	6,27	6,31	6,27	6,20	6,14	6,22	6,58	6,94	5,29
2,5	8,49	9,29	9,29	9,29	8,73	8,67	9,25	9,91	9,74	8,4
3,0	11,78	12,67	12,76	12,67	12,54	12,36	12,76	13,52	14,2	12,23
3,5	15,78	16,67	16,81	16,67	16,56	15,92	16,94	17,43	18,87	15,87
4,0	19,87	20,81	21,74	20,81	21,13	20,18	21,83	22,41	23,87	21,03
4,5	25,03	26,14	26,10	26,14	25,74	24,63	26,68	27,97	30,41	26,23
5,0	30,59	31,88	32,10	31,88	31,41	31,03	32,63	33,66	37,08	32,28
5,5	36,41	39,48	37,39	39,48	38,99	36,15	39,75	39,21	43,81	39,12
6,0	41,75	46,68	45,48	46,68	45,33	42,95	45,75	45,79	52,88	45,66

Como não se observou diferenças significativas entre as mantas sintéticas, optou-se por escolher três mantas, para a segunda etapa, em função de sua disponibilidade e facilidade de aquisição no mercado. As mantas escolhidas foram a M2, M3 e M4.

3.2. Resultados da Segunda etapa

A determinação do desempenho dos elementos filtrantes quanto à remoção de sólidos suspensos presentes na água de irrigação, durante a segunda etapa do experimento, foi realizada à partir do monitoramento da perda de carga, utilizando-se transdutores diferenciais de pressão, e da concentração de sólidos em suspensão presentes no afluente e efluente.

Os resultados, apresentados e discutidos no ARTIGO CIENTÍFICO I, demonstraram que os elementos de manta sintética não tecida foram mais eficientes na remoção de sólidos suspensos, porém a evolução da perda de carga foi mais acelerada na manta sintética. Esta condição de perda de carga foi decorrente da maior quantidade de sólidos suspensos retidos na manta e também devido à possibilidade de deformação do material em função da obstrução dos poros, e conseqüentemente o aumento da resistência à passagem de água pelo meio filtrante.

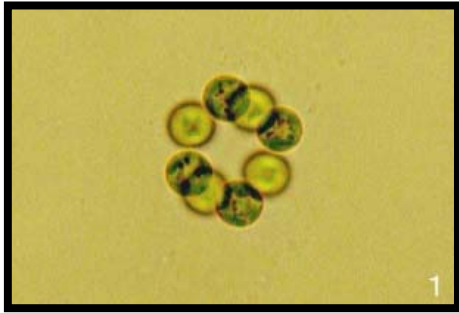
Como as três mantas sintéticas não apresentaram diferenças significativas, foi selecionada para a terceira etapa a manta M4, considerada mais facilmente disponível no mercado.

3.3. Resultados da terceira etapa

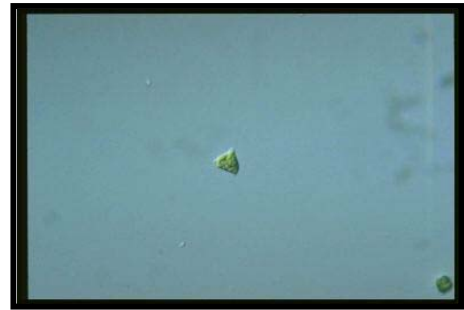
Na terceira etapa, também realizada à partir do mesmo reservatório, foram identificados os principais gêneros, avaliadas a remoção de algas e a obstrução, causada pelos sólidos suspensos, em gotejadores instalados após os elementos filtrantes.

Os principais gêneros de algas presentes na água de irrigação, em ordem decrescente de concentração, foram: *Scenedesmus*, *Chlorella*, *Selenastrum*, *Sphaerocystis* e *Tetraedron* (Figura 8). Além da identificação e contagem de algas, também foi determinada a concentração de sólidos em suspensão, a condutividade elétrica e o pH da água de irrigação (Tabela 5).

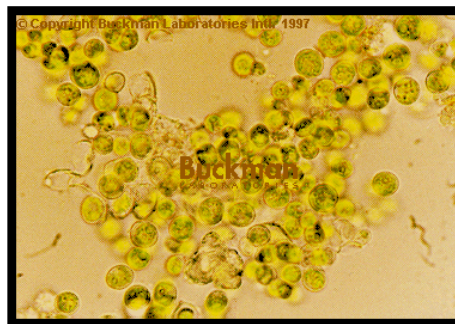
Os resultados da remoção de algas, apresentados e discutidos no ARTIGO CIENTÍFICO II, mostraram que a manta sintética foi mais eficiente que os elementos de tela e discos. Estes resultados positivos criam perspectivas de desenvolvimento de novos meios de filtração, uma vez que os elementos de tela e discos não são considerados eficientes na remoção de materiais de origem orgânica e que, normalmente são necessários sistemas de filtração mais complexos para a remoção destes materiais.



Sphaerocystis



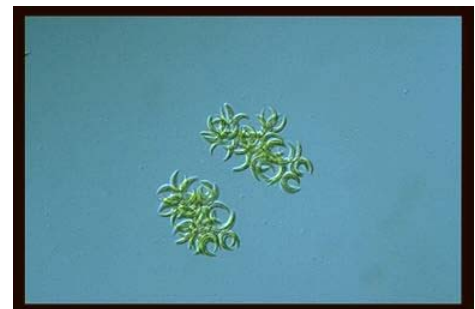
Tetraedrom



Chlorella



Scenedesmus



Selenastrum

Figura 8: Principais gêneros de algas encontrados

Tabela 5: Características físico-químicas da água

Parâmetro	
Condutividade elétrica da água	52,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$
pH	7,0 -
Resíduo total	85 Mg/l
Turbidez	28 UNT

Os resultados da remoção de algas, apresentados e discutidos no ARTIGO CIENTÍFICO II, mostraram que a manta sintética foi mais eficiente que os elementos de tela e discos. Estes resultados positivos criam perspectivas de desenvolvimento de novos meios de filtragem, uma vez que os elementos de tela e discos não são considerados eficientes na remoção de materiais de origem orgânica e que, normalmente são necessários sistemas de filtragem mais complexos para a remoção destes materiais.

No entanto, quanto à obstrução de gotejadores, os resultados não apresentaram dados que caracterizasse um melhor desempenho de qualquer dos meios filtrantes. Observou-se que houve diferenças significativas quanto à Uniformidade Estatística (Us), com melhor resultado para o elemento de discos, porém, não se observou uma redução contínua na vazão média de nenhum tratamento, que pudesse caracterizar uma crescente obstrução dos gotejadores, como pode ser observado no ARTIGO CIENTÍFICO III. Estes resultados demonstraram que a combinação entre as condições de qualidade da água, características construtivas do gotejador e o tempo de ensaio não foi suficiente para comprometer o sistema de gotejamento ou caracterizar o potencial de prevenção de entupimento dos elementos filtrantes utilizados.

4. ARTIGOS

4.1. Artigo Científico I

AValiação DA Eficiência DA MANTA Sintética NÃO Tecida NA remoção DE sólidos em suspensão PRESENTES NA água DE Irrigação.

Marcos Eduardo SCATOLINI¹, José Euclides S. PATERNIANI².

RESUMO: Foram realizados ensaios com três tipos diferentes de mantas sintéticas não tecidas, elemento de tela e elemento de disco, a fim de verificar a eficiência de remoção de sólidos em suspensão quando utilizados em filtros para irrigação localizada. Os resultados demonstraram que as mantas não tecidas apresentaram desempenho superior aos elementos de tela e disco, com 27% a 29% de remoção de sólidos em suspensão, enquanto que os elementos de tela e disco apresentaram 19% a 20% de remoção. Dentre as três mantas avaliadas não foram observadas diferenças significativas, o mesmo ocorrendo entre os elementos de tela e disco.

PALAVRAS-CHAVE: Mantas sintéticas não tecidas, Irrigação localizada, Qualidade da água.

EFFICIENCY OF THE NON WOVEN SYNTHETIC FABRICS IN THE (SÓLIDOS SUSPENSOS) IN THE IRRIGATION WATER.

SUMMARY: Assays with three different types of non woven synthetic fabrics, screen and disk elements had been carried through, in order to verify the efficiency of solid in suspension removal when used in filters for trickle irrigation. The results had demonstrated that non woven synthetic fabrics presented upper performance to the screen and disk elements, with 27% 29% of solid in suspension removal, while that the screen and disk elements had presented 19% 20% of removal. Amongst

¹ Doutorando em Enga. Agrícola FEAGRI/UNICAMP, bolsista FAPESP

² Doutor em Hidráulica e Saneamento, Professor DAGSOL, FEAGRI, UNICAMP, E-mail: pater@agr.unicamp.br

the three evaluated blankets significant differences had not been observed, the same occurring enter the screen and disk elements.

KEYWORDS: non woven synthetic fabrics, trickle irrigation, water quality.

INTRODUÇÃO

A irrigação localizada, por se tratar de um método de irrigação tecnicamente eficiente e econômico, tem recebido especial atenção por parte de agricultores irrigantes e pesquisadores. Embora este método apresente diversas vantagens comparativas em relação a outros, como a economia de água, a facilidade e eficiência da injeção de fertilizantes, menor exigência de mão-de-obra e redução dos riscos de contaminação de alimentos por organismos patogênicos (Paterniani et al., 1994), uma vez que a água é aplicada diretamente no solo, os principais problemas para sua implantação estão relacionados à qualidade da água a ser utilizada. Para tanto são utilizados filtros, com a finalidade de remover partículas sólidas em suspensão presentes na água de irrigação, responsáveis pelo entupimento de emissores.

Alguns experimentos têm demonstrado 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 que a areia apresenta porosidade em torno de 45%) e alta superfície específica.

O presente trabalho avaliou e comparou a eficiência de remoção de partículas sólidas em suspensão presentes na água de irrigação por mantas sintéticas não tecidas, elementos de disco e de tela.

REVISÃO DE LITERATURA

Diversos trabalhos de pesquisa e observações de campo indicam que as causas de obstrução em emissores e sistemas de filtragem podem ser divididas em três principais categorias: material em suspensão;

precipitados químicos; e crescimento microbiano (Nakayama, et al., 1977).

Normalmente as obstruções são causadas pela combinação desses fatores, como por exemplo a presença de argila e produtos de corrosão envoltos em massa biológica e cimentados com precipitados de CaCO_3 . No entanto, tem sido observado que os maiores problemas de obstrução normalmente são causados pela presença de materiais em suspensão, como silte, algas, etc. (Adin & Alon, 1986).

A eficiência ou não de diversos procedimentos e equipamentos de filtragem é função da qualidade da água utilizada na irrigação. Porém uma caracterização detalhada da qualidade da água é muitas vezes de difícil realização em condições de campo e, também pode ser prejudicada pelas variações temporais na concentração de diversos materiais orgânicos e inorgânicos.

Processos físicos de filtragem e tratamentos químicos são muitas vezes utilizados nesses sistemas para minimizar a obstrução de emissores (Gilbert, et al., 1981; Nakayama, et al., 1977; Oron, et al., 1980; Solomon & Keller, 1978).

Os mecanismos de filtragem podem ser divididos em duas categorias: os filtros de tela e discos, classificados como elementos de filtragem mecânica ou de superfície, onde o processo de filtragem é baseado no princípio segundo o qual os poros do meio filtrante são menores que o diâmetro das partículas a serem filtradas; e os filtros granulares ou de areia, onde as partículas a serem retidas são menores que os poros do elemento filtrante, porém a retenção dessas partículas é conseguida por processos físico-químicos (Adin & Alon, 1986).

A remoção de algas por filtros de superfície não é considerada eficiente. No entanto, poucos experimentos têm caracterizado a capacidade de remoção destes meios filtrantes, sendo que recentes experimentos têm demonstrado a possibilidade do uso de mantas não tecidas como elemento filtrante mais eficiente na remoção de sólidos suspensos em filtros para irrigação localizada (Paterniani & Silva, 1996).

As características e propriedades físicas das mantas sintéticas não tecidas sugerem sua adequação para a filtração de água contendo partículas sólidas em suspensão, uma vez que não se deterioram na água e apresentam facilidade para limpeza.

A combinação das características de porosidade, superfície específica e espessura das mantas, assim como a taxa de filtração, a qualidade da água e o sistema de filtração utilizado são parâmetros que

determinam a manta mais adequada às condições de filtração(Paterniani,1991).

Silva (1996) realizou diversos ensaios experimentais simulando contaminação na água por sólidos suspensos, utilizando areia em concentrações de 70 a 300 mg/l , observando que filtros de manta removeram de 15% a 25 % dos sólidos suspensos, enquanto que os elementos de tela e discos removeram de 2% a 10 %.

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados em uma propriedade agrícola, onde foi captada água de um reservatório superficial. Neste reservatório foi instalado um conjunto de bombeamento que alimentou 5 filtros plásticos de 1” colocados em paralelo e, portanto, sob as mesmas condições de perda de carga. A vazão média através de cada filtro foi de 2,4 m³/h, porém o tempo de ensaio variou em função da concentração de sólidos em suspensão. Para garantir pressão igual nos filtros foram instalados reguladores de pressão de 106 kPa. Os 5 elementos filtrantes utilizados foram tela de nylon 120MESH, discos 120 MESH, manta M2, manta M3 e manta M4 (Tabela1).

Foram realizados 27 ensaios de filtragem para cada um dos 5 tratamentos (tela, discos manta M2, manta M3 e manta M4). Durante cada ensaio foram coletadas 4 amostras de água do afluente e do efluente para a determinação da concentração média de sólidos em suspensão e, conseqüentemente, a porcentagem de remoção de cada elemento filtrante (Equação1).

Os dados, em porcentagem, foram transformados segundo o arco seno da raiz de $x/100$. A partir destes dados foi feita análise estatística (teste de Duncan) para verificar diferenças significativas entre os elementos filtrantes.

Tabela 1: Característica das mantas sintéticas não tecidas.

MANTAS COR	M2 Cinza	M3 Preta	M4 Cinza N
Massa específica do fio ρ_f (g/cm ³)	1,1237	0,9835	-
Massa específica da manta ρ_f (g/cm ³)	0,1235	0,1151	0,10
Porosidade ϵ_o (%)	89,01	88,29	-
Diâmetro médio do fio d_f (μ m)	42,43	45,09	-
Superfície específica S_o (m ² /m ³)	10360	10388	-
Permeabilidade (mm/s)	7,01	7,16	5,0
Espessura (mm)	-	-	3,8
Abertura de filtragem (μ m)	-	-	150

$$REM\% = 100 \times [1 - (Efl / Afl)] \dots\dots\dots \text{Equação 1}$$

onde: REM% = porcentagem de remoção de sólidos em suspensão
Efl = concentração de sólidos em suspensão no efluente
Afl = concentração de sólidos em suspensão no afluente

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de remoção de sólidos suspensos indicaram um coeficiente de variação elevado, o que pode ter ocorrido devido à variação nas dimensões das partículas presentes na água, que proporcionaram maior ou menor porcentagem de remoção (Tabela2).

Tabela 2: Remoção de sólidos suspensos

CONC. MÉD		% REMOÇÃO				
DIA	mg/l	Tela	Disco	M4	M3	M2
232	5,13	8,9%	7,1%	23,8%	16,3%	20,3%
234	3,29	10,9%	10,9%	21,5%	17,3%	23,3%
237	3,92	14,9%	20,2%	18,1%	18,5%	21,3%
239	6,58	5,8%	4,8%	22,2%	18,3%	27,8%
244	6,58	11,4%	7,6%	14,6%	15,2%	15,8%
251	4,17	13,1%	12,0%	14,7%	17,0%	16,6%
253	3,17	15,8%	21,1%	36,8%	23,7%	26,3%
256	10,04	9,3%	12,3%	12,0%	10,4%	11,3%
260	6,12	7,5%	7,5%	11,6%	12,9%	10,6%
261	5,33	9,4%	6,3%	25,0%	14,8%	15,2%
263	1,13	23,0%	11,1%	25,9%	23,0%	18,5%
266	3,96	16,8%	13,7%	22,1%	22,1%	20,0%
268	4,63	15,3%	12,6%	23,4%	14,4%	15,3%
286	1,38	27,3%	30,3%	35,4%	37,0%	27,3%
300	8,17	14,3%	24,5%	50,0%	42,9%	48,0%
300	4,92	10,2%	11,9%	30,5%	30,5%	30,5%
301	2,46	18,6%	16,9%	39,0%	33,9%	32,2%
303	14,75	13,0%	14,7%	44,1%	33,3%	32,2%
303	11,42	3,6%	5,1%	25,5%	24,8%	23,4%
303	5,71	8,8%	5,6%	16,8%	13,1%	16,1%
306	4,50	22,2%	11,1%	27,8%	27,8%	22,2%
306	4,67	10,7%	7,1%	21,4%	14,3%	16,1%
306	8,75	10,5%	9,5%	26,7%	21,9%	23,8%
306	7,33	8,0%	5,7%	13,6%	13,6%	13,6%
308	3,75	11,8%	8,1%	24,4%	22,2%	22,2%
308	3,58	9,3%	7,0%	16,3%	14,0%	18,6%
308	5,42	7,7%	4,6%	16,0%	10,3%	14,6%
média	5,59	12,5%	11,5%	24,4%	20,9%	21,6%
Desvpad	3,02	5,4%	6,4%	9,8%	8,6%	8,0%
CV%	54%	44%	56%	40%	41%	37%

No entanto, a análise estatística dos dados ajustados demonstrou que a porcentagem média de remoção dos elementos filtrantes foi de 19% para o elemento de discos, 20% para o elemento de tela, 27% para a

manta M2, 27% para a manta M3 e 29% para a manta M4. Verificou-se que a remoção da tela e do disco não diferiram significativamente e que as três mantas diferiram significativamente da tela e do disco, não diferindo, no entanto, entre elas (Tabela 3).

Tabela 3: Análise estatística da remoção de sólidos suspensos
QUADRO DA ANALISE DE VARIANCIA

CAUSAS DA VAR.	G.L.	S.Q.	Q.M	VALOR F	PROB.>F
TRATAM	4	2197.3795	549.3449	17.6805	0.00001
RESIDUO	130	4039.1935	31.0707		
TOTAL	134	6236.5729			

MEDIA GERAL = 24.5844 COEFICIENTE DE VARIACAO = 22.67 %

TESTE DE DUNCAN PARA MEDIAS DE TRATAMENTOS

No.ORDEN	No.TRAT.	NOME	No.REPET.	MÉD.	MÉD.ORIG.	5%	1%
1	3	M4	27	29.2277	23.8420	a	A
2	5	M2	27	27.3799	21.1497	a	A
3	4	M3	27	26.7904	20.3155	a	A
4	1	TELA	27	20.3243	12.0640	b	B
5	2	DISCO	27	19.1998	10.8151	b	B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado

Embora a determinação com precisão do potencial de obstrução dos emissores em função da qualidade da água seja muito difícil, Nakayama (1982) propôs uma escala de valores relativos para identificação de situações problemáticas, classificando em baixa, moderada e severa, de acordo com a concentração de substâncias físicas, químicas e biológicas presentes na água. Esta tabela classifica como baixo o risco de obstrução de emissores para concentração de sólidos em suspensão inferior a 50mg/l.

Porém, durante o ensaio observou-se que mesmo para concentração média de sólidos em suspensão de 5,6mg/l, a carreira de filtração não foi superior a 4 horas, devido ao crescimento da perda de carga. Isto também pode ser avaliado determinando-se a quantidade de impurezas retidas no meio filtrante, que seria aproximadamente de 54g para um período de 4 horas, numa superfície de 173cm² no caso de 100% de remoção. Em nosso caso, como a porcentagem de remoção variou

entre 19% e 29%, verificou-se que a quantidade média de sólidos em suspensão retido nos elementos filtrantes foi de 10,8g para os elementos de tela e disco e de 15,7g para o elemento de tela M4. Ou seja a manta reteve 45% a mais que os elementos de tela e disco, o que também explica um crescimento mais acelerado da perda de carga nas mantas sintéticas não tecidas (Figura 1). Este crescimento da perda de carga pode ser compensado aumentando-se a superfície do meio filtrante, conseguindo-se assim aumentar a carreira de filtração.

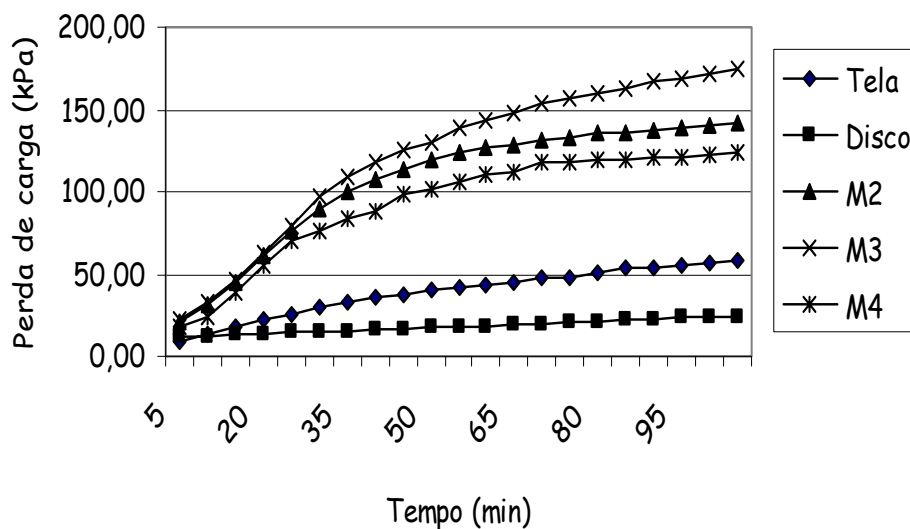


FIG. 1: Gráfico da perda de carga média dos elementos filtrantes

CONCLUSÕES

As principais conclusões extraídas do presente trabalho são:

- As mantas sintéticas utilizadas como elemento filtrante operaram satisfatoriamente, mostrando funcionalidade e resistência;

b) As mantas sintéticas foram significativamente mais eficientes que os elementos de tela e disco, removendo maior quantidade de sólidos em suspensão.

c) A evolução da perda de carga nas mantas foi mais rápida que nos elementos de tela e discos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP, pelas bolsas concedidas e auxílio à pesquisa. (Processos: 97/6570-9, 97/05171-3, 97/01704-4)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADIN, A.; ALON, G. Mechanisms and process parameters of filter screens. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 112 (4), 293-304, 1986.

GILBERT, R. G.; NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A.; FRENCH, O. F.; ADAMSON, K. C. Trickle irrigation: emitter clogging and other flow problems. *Agricultural Water Management*. 3(3):159-178, 1981.

NAKAYAMA, F.S. Water analysis and treatment techniques for control emitter plugging. In: *Proc. Irrigation Association Conference*, 21-24 February 1982, Portland, Oregon, 1982.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. ; FRENCH, O. F. Reclaiming partially clogged trickle emitters. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 20(2): 278-280, 1977.

ORON, G.; SHELEF, G.; ZUR, B. Stormwater and reclaimed effluent in trickle irrigation. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 106(4):299-310, 1980.

PATERNIANI, J. E. S. “Utilização de mantas sintéticas não tecidas na filtração lenta em areia de águas de abastecimento”. São Carlos, 1991. 245p. Tese (dout. hydr. san.) Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

- PATERNIANI, J.E.S.; MATSURA, E.E.; ROSTON, D.M.; PAULA JR., D.R.; TESTEZLAF, R.; RIBEIRO, T.A.P. Diagnóstico da qualidade da água de irrigação em propriedades produtoras de hortaliças da região de Campinas. XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. SBEA. Campinas, 20p. 1994.
- PATERNIANI, J.E.S. & SILVA, L.B. Comparação entre diferentes meios filtrantes de filtros para irrigação localizada. IV Congresso Argentino e II Congresso Internacional de Ingenieria Rural. Neuquen, Argentina. p. 397-401. 1996.
- SILVA, L.B. Utilização de mantas sintéticas não tecidas na filtração sob pressão. Tese de mestrado - Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade de Campinas, 1996.
- SOLOMON, K. H.; KELLER, J. Trickle irrigation Uniformity and Efficiency. Journal of the Irrigation and Drainage Division, 104(3):293-306, 1978.

4.2. Artigo Científico II

EFICIÊNCIA DE MANTA SINTÉTICA NÃO TECIDA NA REMOÇÃO DE ALGAS PRESENTES NA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO.

M. E. SCATOLINI¹, J. E. S. PATERNIANI².

RESUMO: Foram realizados ensaios comparativos entre elementos de disco, tela e uma manta sintética não tecida para verificar a eficiência da manta sintética na remoção de algas, quando utilizada em filtros para irrigação localizada. Nestes ensaios os três meios filtrantes foram submetidos à vazão e pressão constantes e foi feita contagem de algas no afluente e no efluente desses filtros. A contagem de algas foi realizada pelo método de Sedgwick-Rafter, de acordo com o “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” e aplicou-se o teste F para análise da variância e os dados, em porcentagem, foram transformados segundo o arco seno da raiz de $x/100$. A partir destes dados foi feita análise estatística (teste de Duncan) para verificar diferenças significativas entre os elementos filtrantes. Os resultados demonstraram que as mantas não tecidas apresentaram desempenho superior aos elementos de tela e disco, com 35% de remoção de algas, enquanto que os elementos de tela e disco apresentaram 26% de remoção.

PALAVRAS-CHAVE: Filtragem, Irrigação localizada, Qualidade da água.

EFFICIENCY OF THE NON WOVEN SYNTHETIC FABRICS IN THE ALGAE REMOVAL IN THE IRRIGATION WATER.

SUMMARY: Comparative tests between screen, disks and non woven synthetic fabrics filters had been carried through to verify the efficiency of the non woven synthetic fabrics in the algae removal, when

¹ Eng. Agrônomo, Doutorando em Enga. Agrícola FEAGRI/UNICAMP, Campinas SP, (19) 788.1019

³ Doutor em Hidráulica e Saneamento, Professor DAGSOL, FEAGRI, UNICAMP,
E.mail:pater@agr.unicamp.br

used in filters for drip irrigation. In these tests three filter elements had been submitted to the constant outflow and pressure and were made algae counting in filters affluent and effluent. The algae tally was carried through by the method of Sedgwick-Rafter, in accordance with the " Standard Methods for the examination of water and wastewater " and applied test F for analysis of the variance and the data, in percentage, had been transformed according to arc sine of the root of $x / 100$. These data were analyzed (test of Duncan) to verify significant differences between the filter elements. The results had demonstrated that non woven fabrics presented better performance than screen and disks elements, with 35% of algae removal, while the screen and disks elements had presented 26% of removal.

KEYWORDS: filtration, trickle irrigation, water quality.

INTRODUÇÃO

O contínuo desenvolvimento dos métodos de irrigação e a busca constante por maior eficiência e, conseqüentemente redução de custos e consumo dos recursos hídricos e energéticos têm levado ao desenvolvimento de materiais e equipamentos para melhorar o desempenho dos sistemas de irrigação.

Na irrigação localizada, um dos fatores que eleva os custos de operação e manutenção do sistema e, em certos casos, inviabiliza a utilização desse método é a obstrução de emissores por sólidos presentes na água.

Diversos trabalhos de pesquisa e observações de campo indicam que as causas de obstrução em emissores e sistemas de filtragem podem ser divididas em três principais categorias: Material em suspensão; precipitados químicos; e crescimento bacteriano (Nakayama, et al., 1977).

Normalmente as obstruções são causadas pela combinação desses fatores, como por exemplo a presença de argila e produtos de corrosão envoltos em massa biológica e cimentados com precipitados de CaCO_3 . No entanto, tem sido observado que os maiores problemas de obstrução são causados pela presença de materiais em suspensão, como silte, algas, etc. (Adin & Alon, 1986). Especificamente quanto ao crescimento de

algas nos mananciais utilizados para captação e nas tubulações dos sistemas de irrigação, observa-se um agravamento devido à prática da fertirrigação, técnica cada vez mais freqüente em sistemas de irrigação localizada.

A eficiência ou não de diversos procedimentos e equipamentos de filtragem é função da qualidade da água utilizada na irrigação, porém uma caracterização detalhada da qualidade da água é muitas vezes de difícil realização em condições de campo e, também pode ser prejudicada pelas variações temporais na concentração de diversos materiais orgânicos e inorgânicos.

Hills & El-Ebaby (1990) avaliaram diferentes gotejadores, em condições de laboratório, quanto à obstrução causada por algas e materiais de origem inorgânica em suspensão. Os resultados mostraram que os gotejadores não foram muito afetados por impurezas inorgânicas, porém, impurezas orgânicas resultaram em obstrução gradual dos emissores devido ao crescimento microbiano.

Processos físicos de filtragem e tratamentos químicos são muitas vezes utilizados nesses sistemas para minimizar a obstrução de emissores (Gilbert, et al., 1981; Nakayama, et al., 1977; Oron, et al., 1980; Solomon & Keller, 1978).

O controle de algas nos sistemas de irrigação localizada passa por duas etapas: a primeira etapa é a remoção, através de filtragem, das algas presentes na água de irrigação; e a segunda é a desinfecção da tubulação e emissores para evitar o desenvolvimento dos organismos que passam pelo meio filtrante.

Os mecanismos de filtragem podem ser divididos em duas categorias: os filtros de tela e discos são classificados como elementos de filtragem mecânica ou de superfície e o processo de filtragem é baseado no princípio que os poros do meio filtrante são menores que o diâmetro das partículas a serem filtradas; os filtros granulares ou de areia, onde as partículas a serem retidas são menores que os poros do elemento filtrante, porém a retenção dessas partículas é conseguida por processos físico-químicos (Adin & Alon, 1986).

A remoção de algas por filtros de superfície não é considerada eficiente. No entanto, poucos experimentos têm caracterizado a capacidade de remoção destes meios filtrantes e recentes experimentos têm demonstrado a possibilidade do uso de mantas não tecidas como elemento filtrante na remoção de sólidos suspensos em filtros para irrigação localizada (Paterniani & Silva, 1996). Neste sentido, o presente

trabalho avaliou e comparou a eficiência da manta sintética não tecida, elementos de disco e de tela na remoção de algas presentes na água de irrigação.

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados em uma propriedade agrícola, onde foi captada água de um reservatório superficial. Neste reservatório foi instalado um conjunto de bombeamento que alimentou 3 filtros plásticos de 1" colocados em paralelo e, portanto, sob as mesmas condições de pressão de entrada. A vazão média através de cada filtro foi de 2,4 m³/h, porém o tempo de ensaio variou em função da concentração de sólidos em suspensão presente na água. Para garantir pressão igual nos 3 filtros foram instalados reguladores de pressão de 106 kPa.

Os 3 elementos filtrantes utilizados foram tela de nylon 120MESH, discos 120 MESH e manta identificada como M4 (Tabela1). Os elementos de tela e discos são produtos comercialmente utilizados e as mantas sintéticas não tecidas são fabricadas com fibras de polipropileno, poliamida e poliéster, possuindo elevada porosidade (cerca de 85%), além de possuir maior volume de vazios para a retenção de impurezas, possibilitando uma maior filtrabilidade.

TABELA 1: Característica das mantas sintéticas não tecidas.

MANTA	M4
Identificação	380
Gramatura (g/m ²)	380
Espessura (mm)	3,8
Permeabilidade (mm/s)	5
Abertura de filtragem (µm)	150

Foram realizados 23 ensaios de filtragem e durante cada ensaio foram coletadas amostras de água do afluente e do efluente para a determinação da concentração média de algas, conseqüentemente, a porcentagem de remoção de cada elemento filtrante.

A determinação da concentração de algas foi realizada fazendo-se a contagem de algas pelo método de Sedgwick-Rafter. Aplicou-se o teste F para análise da variância e os dados, em porcentagem, foram transformados segundo o arco seno da raiz de $x/100$. A partir destes dados foi feita análise estatística (teste de Duncan) para verificar diferenças significativas entre os elementos filtrantes.

Também foi monitorada a perda de carga em cada meio filtrante para avaliar a evolução da resistência à passagem de água devido à deposição de resíduos sólidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante ensaios foram determinados os principais gêneros de algas encontrados em quatro amostras de água. Estes gêneros foram os seguintes, em ordem decrescente de número: *Scenedesmus*, *Chlorella*, *Selenastrum*, *Sphaerocystis* e *Tetradon*. Também foi feita a caracterização da água quanto à condutividade elétrica, pH, Resíduo total e Turbidez (Tabela2).

Tabela 2. Características físico-químicas da água

Parâmetro		
Condutividade	160,8	μS/cm
pH	7,3	-
Resíduo total	85,0	mg/L
Turbidez	4,5	UNT

Durante o experimento foram realizados 23 ensaios onde foram coletadas amostras de água para contagem de algas no afluente e após os elementos filtrantes e também determinados os parâmetros físico-químicos da água (Tabela3).

Tabela 3. Contagem de algas

Dia	Manta	Disco	Tela	Testem. (afluente)	Codutividade (μS/cm)	pH	Turbidez (UNT)
179	630	790	720	820			

195	1780	2400	2140	2520	53,0	7,6	10
202	1110	1350	1720	2330	65,3	7,3	5
202	930	1120	1430	1830	57,5	7,4	5
216	1000	1380	1150	1430	80,1	7,3	9
216	660	970	920	1090	90,2	7,2	9
230	920	1160	1100	1790	250,0	8,7	2
230	900	1030	1030	1290	273,0	8,6	5
236	2720	5340	4570	5720	57,3	7,1	8
237	2820	3290	4620	5350	56,3	6,9	8
237	2310	3170	3600	4690	60,9	7,1	9
242	1880	2270	2150	2500	59,0	7,4	2
242	1750	2020	1710	2480	58,8	7,5	2
244	1540	2080	1760	2330	62,4	7,2	2
244	1360	1620	1450	2060	59,1	7,2	2
251	2710	2300	3350	3510	84,7	7,5	4
256	1600	1830	1660	1930	395,0	6,6	3
256	1390	1260	1410	1630	365,0	6,4	4
257	1090	1190	1100	1620	482,0	7,4	2
257	1065	1080	875	1220	474,0	7,3	2
273	2710	3410	3580	4210	286,0	7,5	1
287	2510	2060	2750	3280	88,5	7,2	2
287	2270	1820	1950	2330	79,7	7,2	2

Os resultados de remoção de algas mostraram que a manta sintética apresentou normalmente um valor superior de remoção em relação à tela e o disco, com remoção média de 34,7% das algas presentes no afluente, enquanto que o elemento de discos removeu 25,8% e o elemento de tela 26,3% (Figura1).

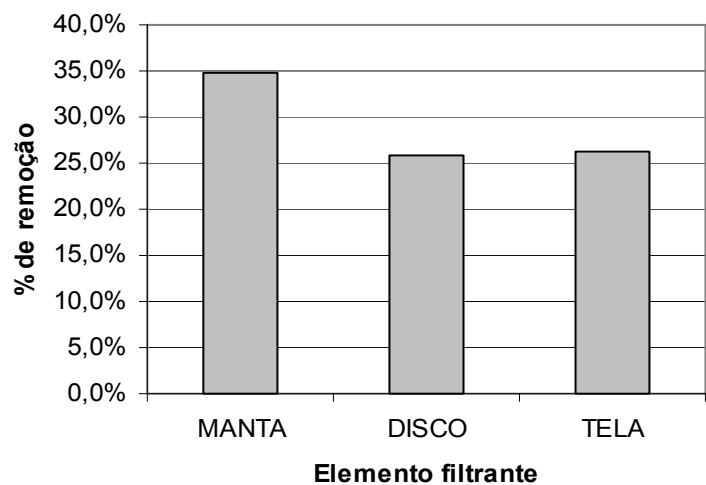


Figura 1: Remoção de algas

Os valores de remoção de algas também foram analisados estatisticamente segundo o teste de Duncan, para determinação de diferenças significativas entre os meios filtrantes e verificou-se diferenças significativas ao nível de 1% entre a manta sintética e os elementos de tela e disco, sendo que não se observou diferenças significativas entre eles (Tabela4).

Tabela 4: análise estatística da remoção de algas

QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA						
CAUSAS DA VARIACÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.> F	
TRATAMENTO	2	1161,02	580,51	9,32	0,00049	
RESÍDUO	66	4108,95	62,26			
TOTAL	68	5269,97				
Média geral = 28,95		Coeficiente de variação = 27,26%				
TESTE DE DUNCAN PARA MÉDIAS DE TRATAMENTO						
Nº ORDEM	Nº TRAT.	NOME	Nº REPET	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5% 1%
1	1	MANTA	23	34,74	32,48	a A
2	2	TELA	23	26,30	19,64	b B
3	3	DISCO	23	25,80	18,94	b B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado

Embora a manta sintética esteja sendo usada em sistemas pressurizados de filtração rápida, os mecanismos envolvidos na retenção das algas podem estar associados à aderência das impurezas no emaranhado de fibras e à formação de uma camada biológica. Segundo Wilkinson et al. (1986), os diâmetros das fibras das mantas sintéticas não

tecidas, entre 2 e 100 μm , é apropriado para remoção de partículas presentes na água com tamanho entre 1 e 100 μm .

No entanto, a evolução média da perda de carga na manta sintética não tecida foi mais acentuada que na tela e no disco (Figura 2).

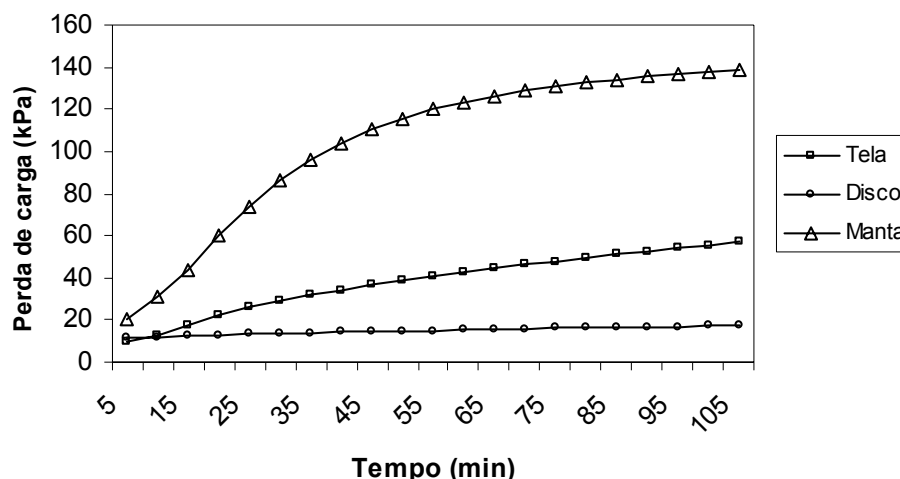


Figura 2: Evolução média da perda de carga.

Estes valores de perda de carga foram devidos à maior retenção de sólidos suspensos, que obstruíram parcialmente o meio filtrante e também pode ter ocorrido deformação da manta sintética devido à pressão do sistema, indicando a necessidade de uma estrutura mais reforçada no filtro como suporte das mantas.

A evolução da perda de carga mais acentuada na manta sintética não tecida indica que, mesmo sendo mais eficiente na remoção de algas, a estrutura do filtro de manta deve possuir uma área de filtração maior que as áreas da tela e disco para a mesma vazão, fazendo com que a evolução da perda de carga para todos os meios filtrantes sejam semelhantes. Também podem ser analisadas mantas sintéticas não tecidas mais resistentes à deformações.

CONCLUSÕES

As principais conclusões extraídas do presente trabalho são:

a) As mantas sintéticas utilizadas como elemento filtrante operaram satisfatoriamente, não apresentando restrições devido à sua resistência

mecânica ou estrutura física que pudesse comprometer seu funcionamento;

b)As mantas apresentaram evolução mais acentuada da perda de carga durante o tempo de filtragem;

c)As mantas sintéticas foram significativamente mais eficientes que os elementos de tela e disco, na remoção das espécies de algas presentes na água de irrigação;

d)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.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPESP pela concessão da bolsa de estudo (processo: 97/05171-3) e dos recursos financeiros (processo: 97/06570-9) para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADIN, A.; ALON, G. Mechanisms and process parameters of filter screens. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 112 (4), 293-304, 1986.

APHA, AWWA, WPCF. - "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater". 16º ed. Washington, D.C. 1985, 1268p.

GILBERT, R. G.; NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A.; FRENCH, O. F.; ADAMSON, K. C. Trickle irrigation: emitter clogging and other flow problems. *Agricultural Water Management*. 3(3):159-178, 1981.

HILLS, D. J. & EL-EBABY, F. G. Evaluation of microirrigation self-cleaning emitters. *American Society of Agricultural Engineers*, 6(4):julho, 1990.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. ; FRENCH, O . F. Reclaiming partially clogged trickle emitters. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 20(2): 278-280, 1977.

- ORON, G.; SHELEF, G.; ZUR, B. Stormwater and reclaimed effluent in trickle irrigation. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 106(4):299-310, 1980.
- PATERNIANI, J.E.S. & SILVA, L.B. Comparação entre diferentes meios filtrantes de filtros para irrigação localizada. IV Congresso Argentino e II Congresso Internacional de Ingenieria Rural. Neuquen, Argentina. p. 397-401. 1996.
- SOLOMON, K. H.; KELLER, J. Trickle irrigation Uniformity and Efficiency. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 104(3):293-306, 1978.
- WILKINSON, et al. The filtration of Dilute Suspensions using non-woven cloths and membranes. 4th World Filtration Congress, 22-25 april. Ostend, Belgium, 1986.

4.3. Artigo Científico III

EFICIÊNCIA DE DIFERENTES ELEMENTOS FILTRANTES NA PREVENÇÃO DE OBSTRUÇÃO EM GOTEJADORES

M. E. SCATOLINI¹, J. E. S. PATERNIANI².

RESUMO: Durante ensaios para verificação de eficiência de retenção de algas em filtros de discos 120MESH, tela 120MESH e manta sintética não tecida, foram avaliados o grau de obstrução de gotejadores de labirinto com fluxo turbulento e vazão nominal de 4 L/h e 8 L/h.

Para determinação da obstrução causada por impurezas não retidas no meio filtrante foram avaliadas a evolução da vazão e da uniformidade estatística dos gotejadores submetidos aos diferentes meios filtrantes durante um período de 22 semanas durante 4 horas diárias e comparadas com uma parcela testemunha sem elemento filtrante. Os resultados mostraram que houve diferença significativa entre o elemento de discos, que apresentou maior uniformidade estatística, os filtros de manta e tela com valores intermediários e a testemunha que apresentou menor uniformidade estatística. No entanto, para caracterizar de maneira definida a diferença no desempenho dos elementos filtrantes, estes valores deveriam vir acompanhados de uma redução contínua na vazão média dos tratamentos, o que foi observado apenas para o elemento de tela com o gotejador de 4 L/h. As demais variações da uniformidade estatística foram temporais, provavelmente devido a obstruções temporárias ocasionadas por variações da concentração de sólidos suspensos na água de irrigação.

PALAVRAS-CHAVE: Filtragem, Gotejamento, Qualidade da água.

¹ Eng. Agrônomo, Doutorando em Enga. Agrícola FEAGRI/UNICAMP, Campinas SP, (19) 788.1019

³ Doutor em Hidráulica e Saneamento, Professor DAGSOL, FEAGRI, UNICAMP,
E.mail: pater@agr.unicamp.br

SUMMARY: During assays to verify the efficiency of algae removal in disks 120MESH, screen 120MESH and non woven synthetic fabrics filters, was evaluated the degree of clogging of turbulent flow drippers with outflow of 4L/h and 8L/h. For determination of the blockage was evaluated the evolution of the outflow and the uniformity statistics (Us) of the drippers submitted to the different filter ways during a period of 22 weeks during 4 daily hours and compared with a parcel it testifies without filter element. The results had shown that it had significant difference enter the disks element, that presented greater uniformity statistics, the non woven synthetic fabrics and screen filters with intermediate values and without filter element whom presented minor uniformity statistics. However, to characterize the difference in the performance of them, these values would have to present a continuous reduction in the average outflow of the treatments, what was observed only for the screen filter with the drippers of 4L/h. The variations of the uniformity statistics probably was caused by temporary blockages due the variations of the suspended solid concentration in the irrigation water.

KEYWORDS: filtration, drip irrigation, water quality.

INTRODUÇÃO

A crescente utilização de sistemas de irrigação localizada, principalmente sistemas por gotejamento, compostos por emissores com pequenas passagens tem feito crescer a preocupação quanto à qualidade da água, o risco de obstrução de emissores e a eficiência de diferentes meios filtrantes.

Embora a avaliação da porcentagem de remoção de sólidos suspensos ou qualquer partícula específica que possa comprometer o sistema de irrigação seja um parâmetro importante para determinar a eficiência do elemento filtrante, determinações diretas da evolução de obstrução de emissores ou redução em sua uniformidade são informações diretas importantes na avaliação da eficiência desses elementos.

A eficiência ou não de diversos procedimentos e equipamentos de filtragem é função da qualidade da água utilizada na irrigação e das características construtivas dos emissores. Porém uma caracterização detalhada da qualidade da água é muitas vezes de difícil realização em condições de campo e, também pode ser prejudicada pelas variações temporais na concentração de diversos materiais orgânicos e inorgânicos.

O presente trabalho buscou avaliar a combinação das características construtivas dos gotejadores e da eficiência de remoção de sólidos suspensos dos elementos filtrantes no grau de obstrução dos emissores e, conseqüentemente na redução da uniformidade estatística entre os emissores.

REVISÃO DE LITERATURA:

O entupimento de emissores devido a elementos físicos estão relacionados principalmente à presença de sólidos suspensos, tais como areia, silte e argila, bem como partículas orgânicas tais como formigas, lesmas, ovos de larvas etc. O potencial de obstrução está relacionado à concentração desses elementos e ao tamanho das partículas.

Diversos trabalhos de pesquisa e observações de campo indicam que as causas de obstrução em emissores e sistemas de filtragem podem ser divididas em três principais categorias: Material em suspensão; precipitados químicos; e crescimento microbiano (Nakayama, et al., 1977).

Normalmente as obstruções são causadas pela combinação desses fatores, como por exemplo a presença de argila e produtos de corrosão envoltos em massa biológica e cimentados com precipitados de CaCO_3 . No entanto, tem sido observado que os maiores problemas de obstrução são causados pela presença de materiais em suspensão, como silte, algas, etc. (Adin & Alon, 1986).

Pizzarro (1996) considera que o dimensionamento de meio filtrante deve considerar que o orifício de passagem seja igual a 1/10 do tamanho do orifício do emissor, para prevenir sua obstrução. Porém, muitas vezes este critério pode ser insuficiente devido a processos de cimentação desencadeados pela presença de mucilagem de algas ou bactérias (Gilbert et al., 1979).

Ravina et al. (1992) avaliando diversos modelos de gotejadores verificaram que o grau de obstrução foi similar para filtros com passagem de 120MESH e 80MESH, observando-se no entanto maior grau de obstrução para gotejadores submetidos ao filtro de 40MESH. Também verificaram que a frequência de lavagem das linhas laterais não afetaram o desempenho dos emissores.

Hills & El-Ebaby (1990) avaliaram diferentes gotejadores, em condições de laboratório, quanto à obstrução causada por algas e materiais de origem inorgânica em suspensão. Os resultados mostraram que os gotejadores não foram muito afetados por impurezas inorgânicas, porém, impurezas orgânicas resultaram em obstrução gradual dos emissores devido ao crescimento microbiano.

MATERIAL E MÉTODOS:

Os ensaios foram realizados em uma propriedade agrícola, onde foi captada água de um reservatório superficial. Neste reservatório foi instalado um conjunto de bombeamento que alimentou 3 filtros plásticos de 1" colocados em paralelo e, portanto, sob as mesmas condições de perda de carga. A vazão média através de cada filtro foi de 2,4 m³/h, porém o tempo de ensaio variou em função da concentração de sólidos em suspensão presente na água. Para garantir pressão igual nos 3 filtros foram instalados reguladores de pressão de 106 kPa.

Os 3 elementos filtrantes utilizados foram tela de nylon 120MESH, discos 120 MESH e manta M4 (Tabela1). Os elementos de tela e discos são produtos comercialmente utilizados e as mantas sintéticas não tecidas são fabricadas com fibras de polipropileno, poliamida e poliéster, possuindo elevada porosidade (cerca de 85%), além de possuir maior volume de vazios para a retenção de impurezas, possibilitando uma maior filtrabilidade.

Após cada elemento filtrante foi instalada uma linha de polietileno de baixa densidade de 20mm de diâmetro interno com comprimento total de 30 metros, onde foram inseridos gotejadores de labirinto modelo TUFF-TIF com vazão nominal de 4L/h e 8L/h intercalados espaçados de 25cm.

Tabela 1: Característica das mantas sintéticas não tecidas.

MANTA	M4
Identificação	380
Gramatura (g/m ²)	380
Espessura (mm)	3,8
Permeabilidade (mm/s)	5
Abertura de filtragem (μm)	150

Foram realizados 15 ensaios onde foram feitas medidas de vazão dos emissores de 4L/h e 8L/h. À partir das medidas de vazão foi determinada a uniformidade estatística

Para a avaliação dos gotejadores foram determinados 17 pontos de amostragem para cada linha de gotejamento e para cada uma das duas vazões. Nestes pontos foram feitas medidas semanais de vazão, durante um período de 22 semanas.

Para cada ensaio foi determinada a variação da vazão dos emissores de acordo com a metodologia apresentada pela ASAE EP485 (1992) à partir da determinação do coeficiente de uniformidade estatística (U_s) (Equação 1).

$$U_s = 100(1 - V_{qs}) \dots\dots\dots \textbf{Equação 1}$$

$$V_{qs} = \frac{Sq}{q} \dots\dots\dots \textbf{Equação 2}$$

$$Sq = \left\{ \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n qi^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n qi \right)^2 \right] \right\}^{1/2} \dots\dots\dots \textbf{Equação 3}$$

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n qi \dots\dots\dots \textbf{Equação 4}$$

Onde: qi = vazão do emissor
 n = número de emissores randomicamente selecionados

Vqs = coeficiente de variação

Us = uniformidade estatística de vazão do emissor

Aplicou-se o teste F para análise da variância e os dados, em porcentagem, foram transformados segundo o arco seno da raiz de $x/100$. A partir destes dados foi feita análise estatística (teste de Duncan) para verificar diferenças significativas entre os elementos filtrantes quanto a uniformidade estatística.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A água utilizada durante o experimento foi analisada semanalmente, não apresentando valores elevados dos parâmetros analisados, como mostra a tabela 2.

TABELA 2. Características físico-químicas da água

Parâmetro		
Condutividade	160,8	$\mu\text{S/cm}$
pH	7,3	-
Resíduo total	85,0	Mg/L
Turbidez	4,5	UNT

As determinações da uniformidade estatística e da vazão média dos gotejadores de 4L/h e 8L/h não mostraram uma tendência definida de redução da uniformidade estatística (U_s) e da vazão média, o que caracterizaria a progressão da obstrução dos emissores (Figura 1).

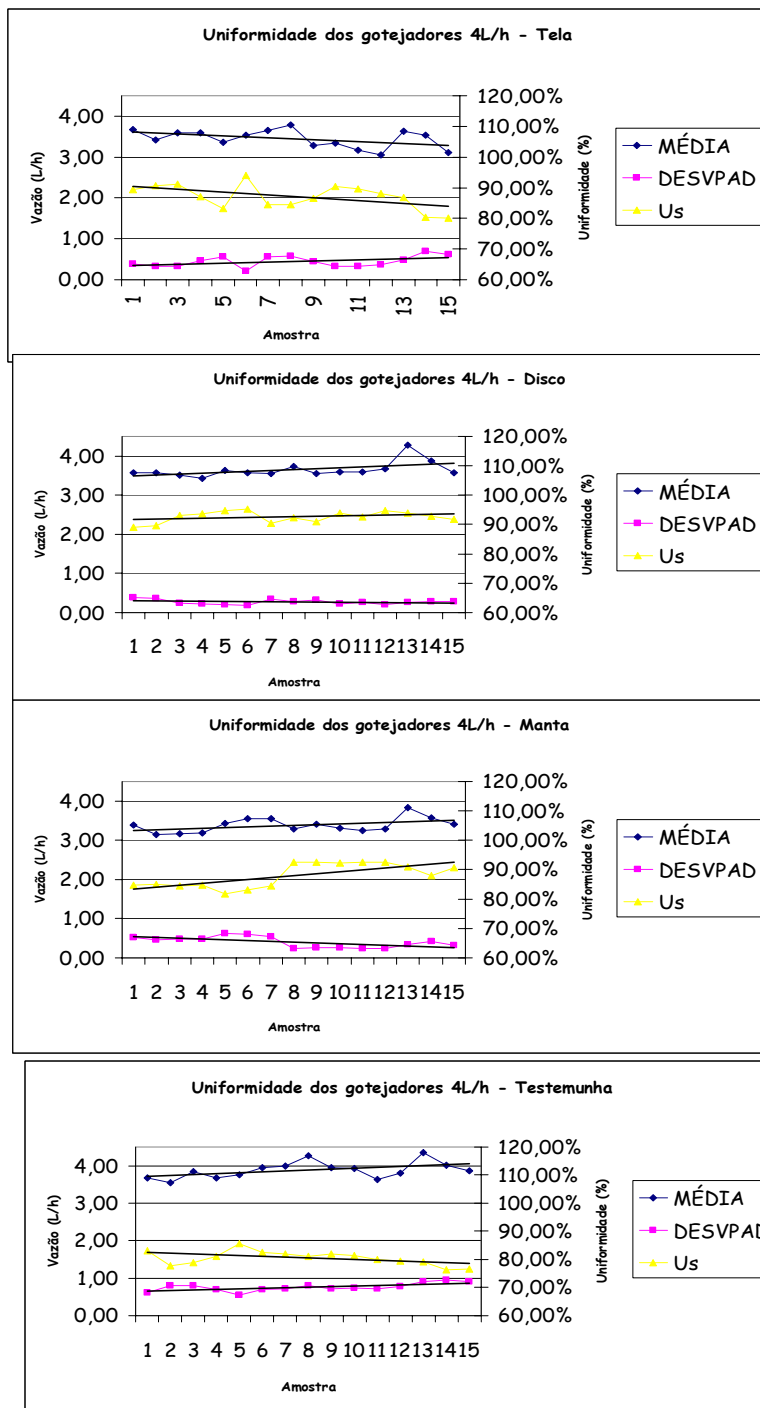


Figura 1: Desempenho dos gotejadores de 4L/h para todos os tratamentos

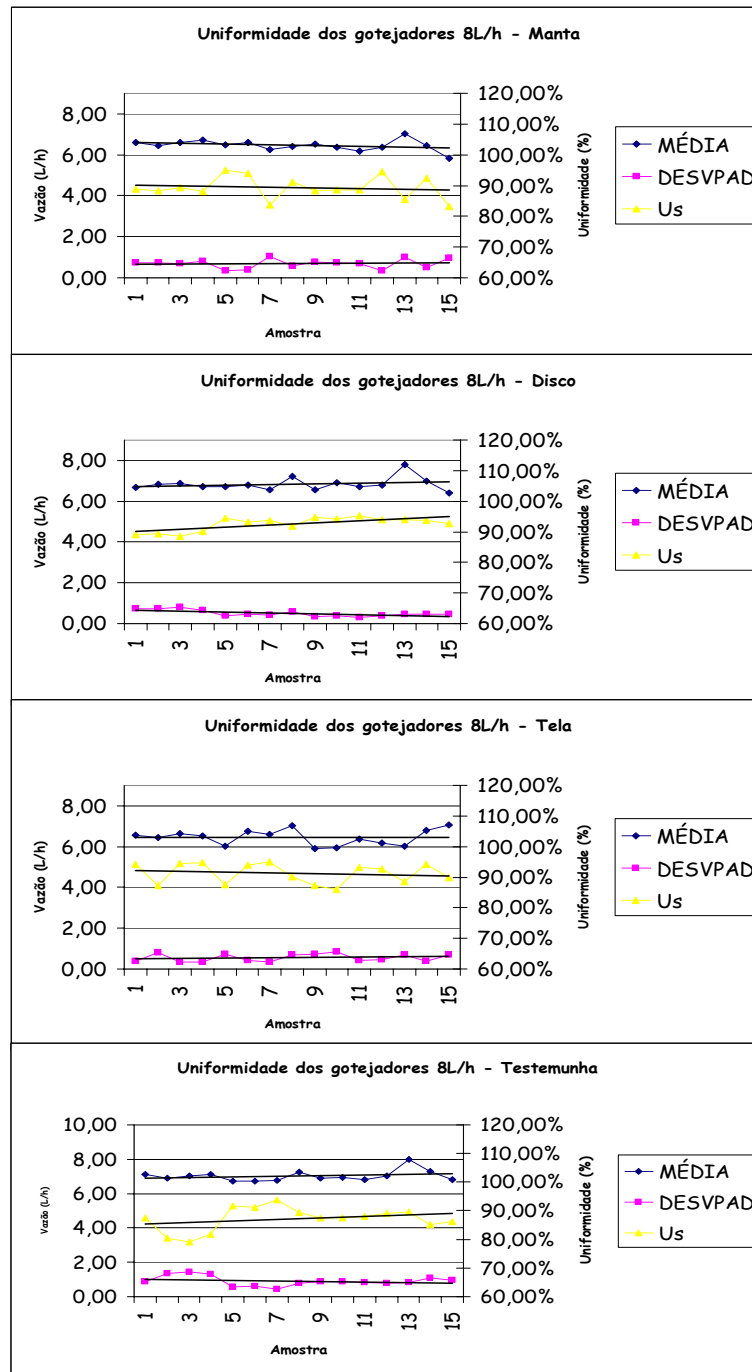


Figura 2: Desempenho dos gotejadores 8L/h para todos os tratamentos

No entanto a análise estatística da Uniformidade mostrou que, para os gotejadores de 4L/h, o elemento de disco apresentou maior uniformidade, seguido dos elementos de manta e tela que não diferiram entre si e a testemunha, que apresentou uniformidade inferior (Tabela 3).

Tabela 3: Análise estatística dos gotejadores de 4L/h

QUADRO DA ANALISE DE VARIANCIA					
CAUSAS DA VAR.	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	
PROB.>F					
TRATAM	3	836.4330	278.8110	34.0554	0.00001
RESIDUO	56	458.4712	8.1870		
TOTAL	59	1294.9042			
Média Geral = 69.3341 Coeficiente de Variação = 4.13 %					

TESTE DE DUNCAN PARA MEDIAS DE TRATAM							
No.Ordem	No.Trat.	NOME	No.Repet.	MED.	MED.ORIG.	5%	1%
1	2	DISCO	15	74.3099	92.6865	a	A
2	1	MANTA	15	70.0448	88.3525	b	B
3	3	TELA	15	69.1677	87.3524	b	B
4	4	TESTEM	15	63.8140	80.5267	c	C
Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado							

Para os gotejadores de 8L/h, o elemento de disco e tela apresentaram maior uniformidade, sem diferença significativa a 1% em relação ao elemento de manta, porém superiores à testemunha (Tabela 4).

Estes resultados demonstraram maior uniformidade do elemento de discos, porém a ausência de redução definida na vazão média dos emissores não nos permite concluir a respeito da maior eficiência de um determinado meio filtrante. Estas variações na Uniformidade estatística foram geradas por obstruções temporárias dos emissores, que fizeram variar a Uniformidade estatística (Us) sem uma contínua redução na vazão média dos gotejadores.

Tabela 4: Análise estatística dos gotejadores de 8L/h

QUADRO DA ANALISE DE VARIANCIA					
CAUSAS DA VAR.	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
TRATAM	3	222.8210	74.2737	7.2051	0.00058
RESIDUO	56	577.2787	10.3085		
TOTAL	59	800.0997			
Média Geral = 71.9821 Coeficiente de Variação = 4.46 %					

TESTE DE DUNCAN PARA MEDIAS DE TRATAM							
No.Ordem	No.Trat.	NOME	No.Repet.	MED.	MED.ORIG.	5%	1%
1	2	DISCO	15	74.3691	92.7402	a	A
2	3	TELA	15	73.1002	91.5494	ab	A
3	1	MANTA	15	71.1687	89.5811	bc	AB
4	4	TESTEM	15	69.2904	87.4945	c	B
Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado							

Apenas o filtro de tela com os gotejadores de 4L/h mostraram tendência definida de redução na vazão média, o que pode caracterizar, juntamente com a redução na Uniformidade estatística, evolução na obstrução dos emissores.

CONCLUSÕES:

As principais conclusões extraídas do presente trabalho foram:

- Os gotejadores de 4L/h submetidos ao elemento de discos apresentaram maior uniformidade estatística;
- Não foi verificada redução definida na vazão média, juntamente com redução na uniformidade estatística, que caracterizasse maior eficiência de um dos meios filtrantes;
- Verificou-se, para as duas vazões de gotejadores, que a testemunha, sem elemento filtrante apresentou sempre menor uniformidade estatística que os demais tratamentos;

AGRADECIMENTOS:

Os autores agradecem a FAPESP pela concessão da bolsa de estudo (processo: 97/05171-3) e dos recursos financeiros (processo: 97/06570-9) para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ADIN, A.; ALON, G. Mechanisms and process parameters of filter screens. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 112 (4), 293-304, 1986.
- ASAE Standards, 1992. EP458. Field evaluation of microirrigation systems. St. Joseph, MI: ASAE.
- GILBERT, F.G. ; NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D. A. Trickle irrigation: prevention of clogging. *Transactions of ASAE*, V.22, p514-519, 1979.
- HILLS, D. J. & EL-EBABY, F. G. Evaluation of microirrigation self-cleaning emitters. *American Society of Agricultural Engineers*, 6(4):julho, 1990.
- NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A .; FRENCH, O . F. Reclaiming partially clogged trickle emitters. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 20(2): 278-280, 1977.
- PIZZARRO, F. C. Riegos localizados de alta frequência. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 459p. 1986.
- RAVINA, E. P.; SOFER, Z.; MARCU, A.; SHISHA, A.; SAGI, G. Control of emitter clogging in drip irrigation with wastewater. *Irrigation Science*, 13:129-139, 1992.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos durante este trabalho permitiram concluir que as mantas sintéticas não tecidas foram mais eficientes na remoção de sólidos suspensos e, especificamente, na remoção das espécies de algas presentes na água de irrigação. Apenas quanto à obstrução de gotejadores não foi possível obter informações conclusivas, porém o desempenho da manta não foi inferior aos elementos comerciais.

Outro aspecto importante, considerado durante a elaboração deste trabalho, foi a utilização de um material, como elemento filtrante, disponível no mercado e de custo compatível dos os produtos existentes. A manta sintética é um material que apresenta custo de fabricação pelo menos dez vezes menor que os elementos de tela e disco, permitindo inclusive avaliar sua utilização de forma descartável. Outra possibilidade de utilização é a construção de elementos de filtragem mais espessos, aumentando a capacidade de retenção de materiais em suspensão e, também reduzindo a evolução da perda de carga, permitindo um período maior de operação entre as limpezas dos filtros.

Trabalhos nesta linha podem ser desenvolvidos, uma vez que as mantas sintéticas não tecidas têm demonstrado eficiência e aplicabilidade para a utilização em sistemas de irrigação localizada.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADIN, A.; ALON, G. Mechanisms and process parameters of filter screens. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 112 (4), 293-304, 1986.
- ADIN, A.; SACKS, M. Dripper-clogging factors in wastewater irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 117(6):813-826, 1991.
- APHA, AWWA, WPCF. - "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater". 16º ed. Washington, D.C. 1985, 1268p.
- ASAE Standards, 1992. EP458. Field avaliation of microirrigation systems. St. Joseph, MI: ASAE.
- AYERS, R. S. & WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. Tradução de Gheyi H.R.; Medeiros, J.F. F.A.V. Damasceno. Campina Grande, UFPB, 1991. 218p.
- BRANCO, S. M. Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária. 2ª ed. São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1978. 620p. ilustr.
- BUCKS, D. A.; NAKAYAMA, F.S.; GILBERT, F.G. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. *Agricultural Water management*, 2:149-162, 1979.

- DANIEL, D. E.; KOERNER, R. M. Waste containment facilities: Guidance for construction, quality assurance and quality control of liner and control systems, ASCE Press. New York, 1995.
- DI BERNARDO, L.; Caracterização de mantas sintéticas não tecidas utilizadas na filtração lenta de águas de abastecimento. In: XXIII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1990. Porto Rico. 13p.
- DI BERNARDO, L. Algas e suas influências na qualidade das águas e nas tecnologias de tratamentos. Rio de Janeiro, ABES, 1995. 140p.
- GILBERT, R. G.; NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A.; FRENCH, O. F.; ADAMSON, K. C. Trickle irrigation: emitter clogging and other flow problems. Agricultural Water Management. 3(3):159-178, 1981.
- HILLS, D. J. & EL-EBABY, F. G. Evaluation of microirrigation self-cleaning emitters. American Society of Agricultural Engineers, 6(4):julho, 1990.
- HOWELL, T. A.; STEVENSON, D. S.; ALJIBURG, F. K.; GITLIN, H. M.; WU I. P.; WARRICK, A. W. & RAATS, P. C. A. Chapter 16. Design and operation of trickle (drip) systems, In: JENSEN, M. E. (Ed.) Design and operation of farm irrigation systems, ASAE Monograph no.3, ASAE, St. Joseph, MI. 1980.
- 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.

- MERRIAM, J. L. & KELLER, J. Farm irrigation system evaluation: a guide for management. Utah State University, Logan, UT. 1978.
- NAKAYAMA, F.S. Water analysis and treatment techniques to control emitter plugging. In: Proc. Irrigation Association Conference, 21-24 February 1982, Portland, Oregon, 1982.
- NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. ; FRENCH, O. F. Reclaiming partially clogged trickle emitters. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. 20(2): 278-280, 1977.
- ORON, G.; BEM-ASHER, J.; DeMALACH, Y. Effluent in trickle irrigation cotton in arid zones. Journal of Irrigation and Drainage Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 108(2), 1982.
- ORON, G.; SHELEF, G.; ZUR, B. Stormwater and reclaimed effluent in trickle irrigation. Journal of the Irrigation and Drainage Division, 106(4):299-310, 1980.
- PATERNIANI, J. E. S. “Utilização de mantas sintéticas não tecidas na filtração lenta em areia de águas de abastecimento”. São Carlos, 1991. 245p. Tese (dout. hidr. san.) Escola de Engenharia de São Carlos, USP.
- PATERNIANI, J.E.S. & DI BERNARDO, L. Filtração lenta com mantas sintéticas - Nova tecnologia de tratamento de água para comunidades agrícolas. Anais ... XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Santa Maria, RS. p.1003-1017. 1992.
- PATERNIANI, J.E.S. & SILVA, L.B. Comparação entre diferentes meios filtrantes de filtros para irrigação localizada. IV Congresso Argentino e II Congresso Internacional de Ingenieria Rural. Neuquen, Argentina. p. 397-401. 1996.

- PATERNIANI, J.E.S.; MATSURA, E.E.; ROSTON, D.M.; PAULA JR., D.R.; TESTEZLAF, R.; RIBEIRO, T.A.P. Diagnóstico da qualidade da água de irrigação em propriedades produtoras de hortaliças da região de Campinas. XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. SBEA. Campinas, 20p. 1994.
- PIZZARRO, F. C. Riegos localizados de alta frecuencia. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 459p. 1986.
- RAVINA, E. P.; SOFER, Z.; MARCU, A.; SHISHA, A.; SAGI, G. Control of emitter clogging in drip irrigation with wastewater. *Irrigation Science*, 13:129-139, 1992.
- SOLOMON, K. H. Global uniformity of trickle irrigation systems. *American Society of Agricultural Engineers*, vol. 28(4):julho-agosto, 1985. p. 1151-1158.
- SOLOMON, K. H.; KELLER, J. Trickle irrigation Uniformity and Efficiency. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 104(3):293-306, 1978.
- TAJRISHY, M. A .; HILLS, D. J.; TCHOBANOGLOUS, G. Pretreatment of secondary effluent for drip irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 120(4):716-731, 1994.
- WILKINSON, et al. The filtration of Dilute Suspensions using non-woven cloths and membranes. 4th World Filtration Congress, 22-25 april. Ostend, Belgium, 1986.

APÊNDICE

Figura 9: Gráficos da perda de carga da manta M1 em laboratório.

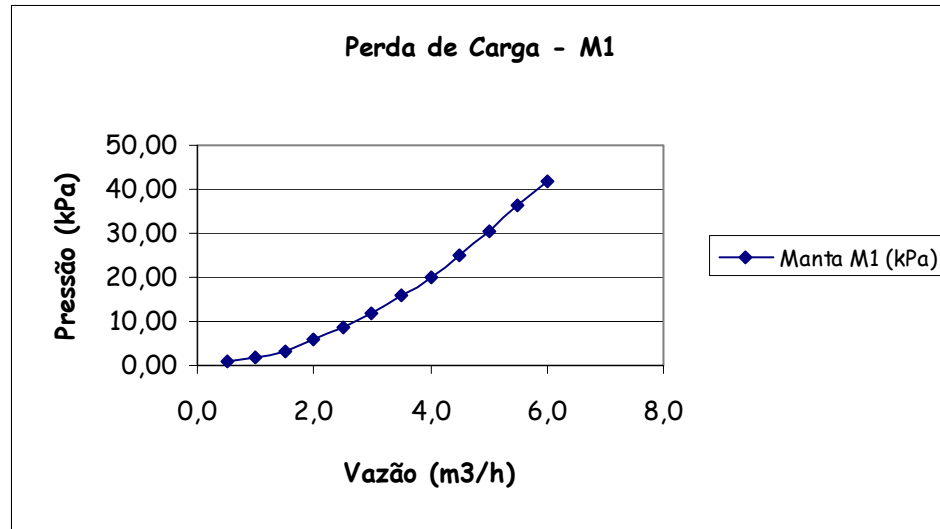


Figura 10: Gráficos da perda de carga da manta M2 em laboratório.

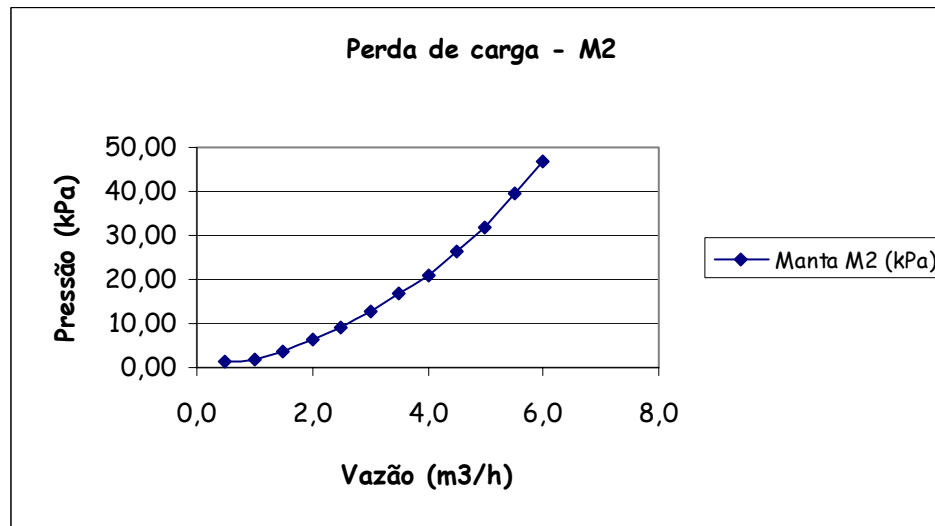


Figura 11: Gráficos da perda de carga da manta M3 em laboratório.

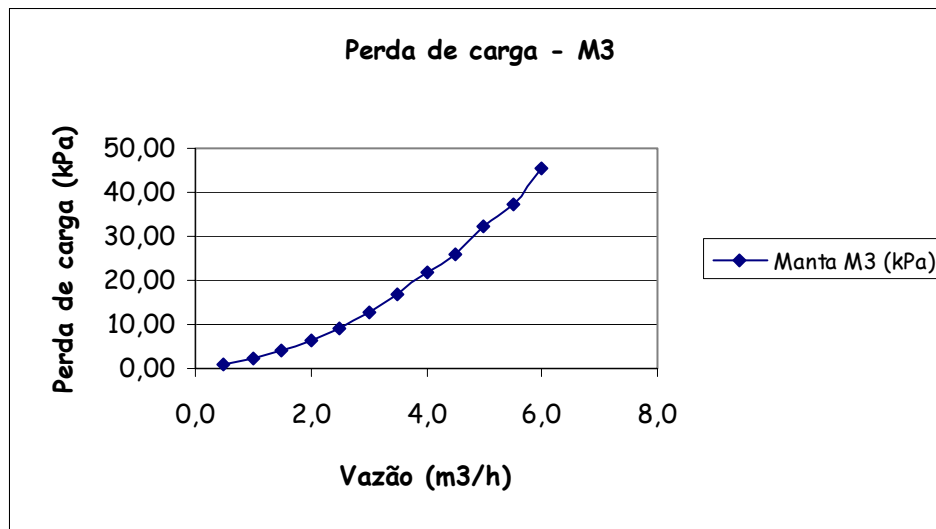


Figura 12: Gráfico da perda de carga da manta M4 em laboratório

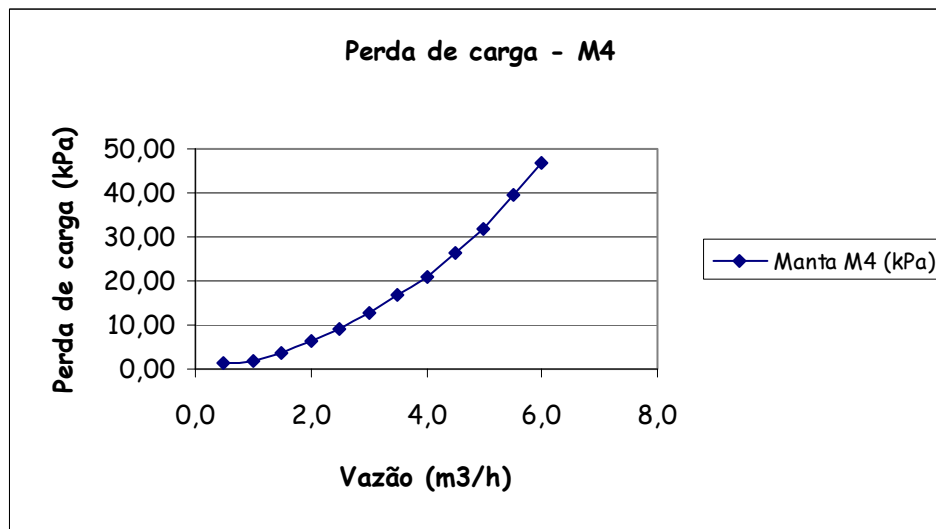


Figura 13: Gráfico da perda de carga da manta M5 em laboratório

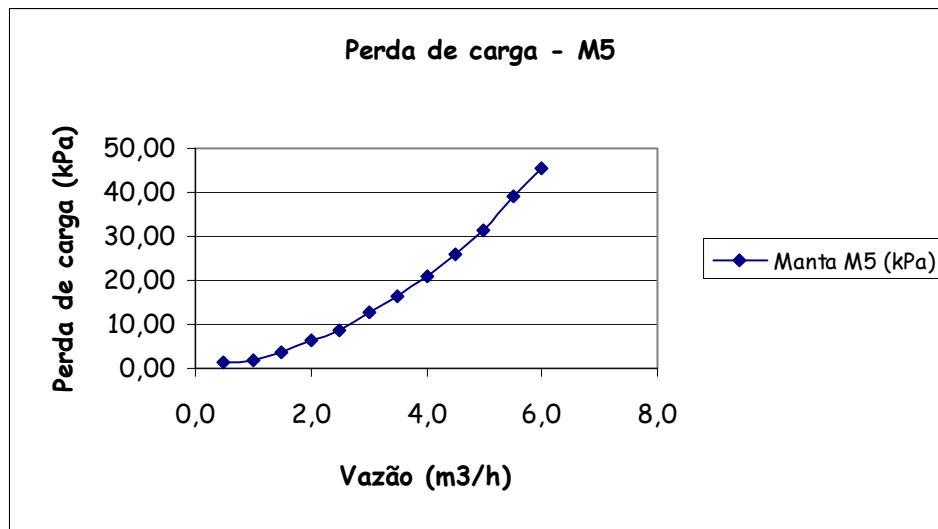


Figura 14: Gráfico da perda de carga da manta M6 em laboratório

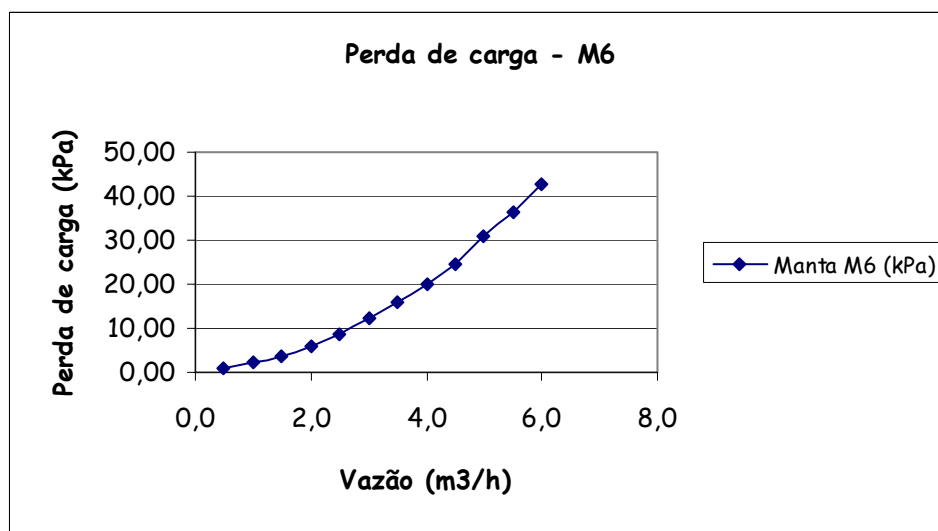


Figura 15: Gráfico da perda de carga da manta M7 em laboratório

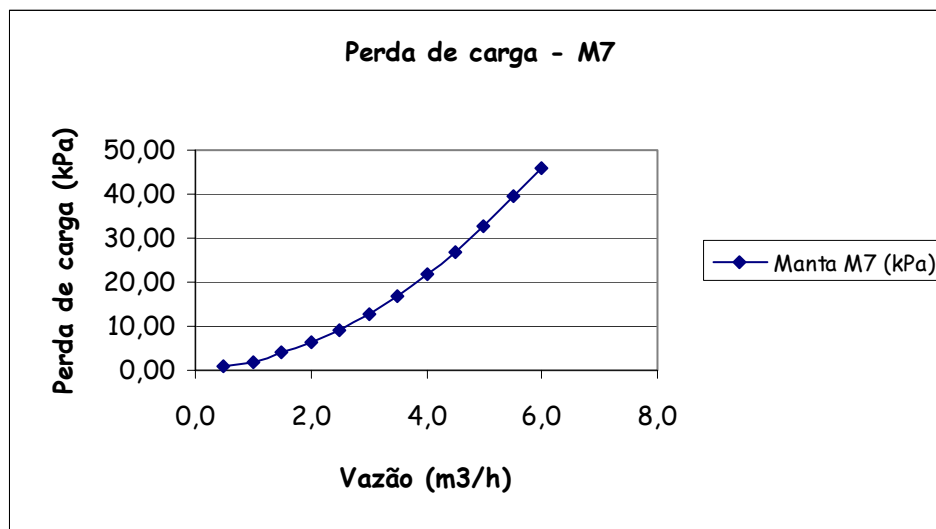


Figura 16: Gráfico da perda de carga da manta M8 em laboratório

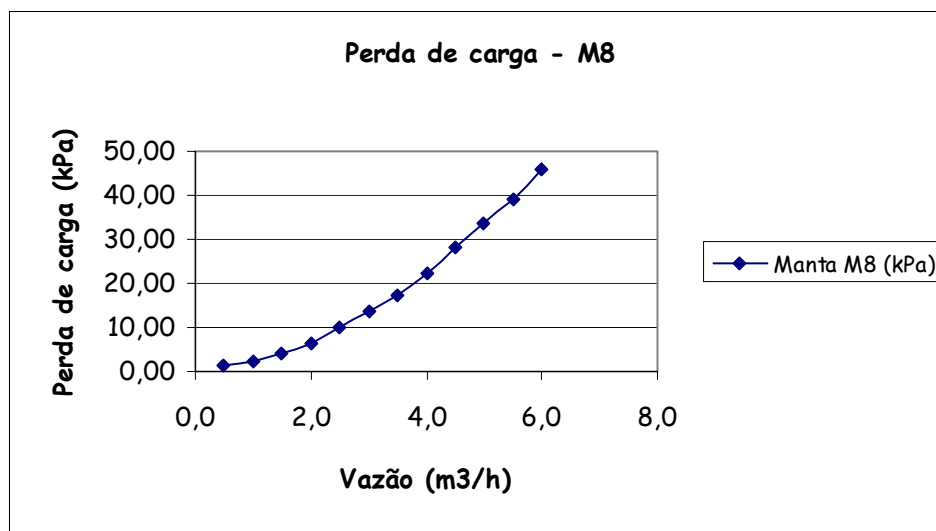


Figura 17: Gráfico da perda de carga do elemento de tela em laboratório

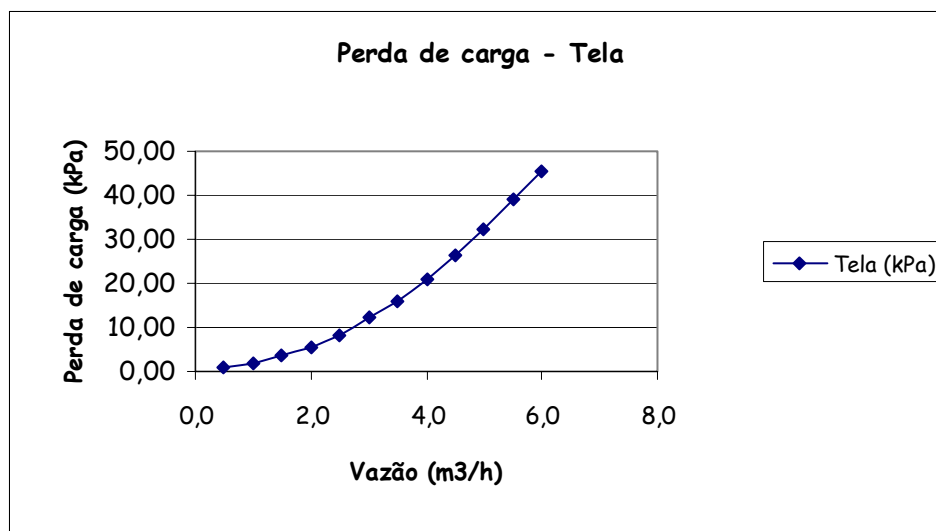


Figura 18: Gráfico da perda de carga do elemento de discos em laboratório

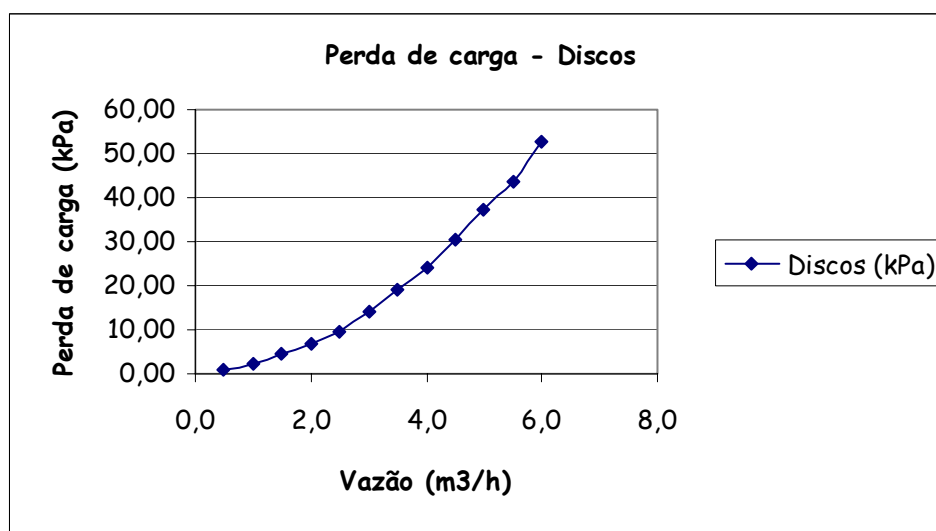


Tabela 6: Remoção de sólidos suspensos.

DIA	S. S. (efluen. mg/l)	Tela	% REMOÇÃO			
			Disco	M2	M3	M4
232	5,13	8,9%	7,1%	20,3%	16,3%	23,8%
234	3,29	10,9%	10,9%	23,3%	17,3%	21,5%
237	3,92	14,9%	20,2%	21,3%	18,5%	18,1%
239	6,58	5,8%	4,8%	27,8%	18,3%	22,2%
244	6,58	11,4%	7,6%	15,8%	15,2%	14,6%
251	4,17	13,1%	12,0%	16,6%	17,0%	14,7%
253	3,17	15,8%	21,1%	26,3%	23,7%	36,8%
256	10,04	9,3%	12,3%	11,3%	10,4%	12,0%
260	6,12	7,5%	7,5%	10,6%	12,9%	11,6%
261	5,33	9,4%	6,3%	15,2%	14,8%	25,0%
263	1,13	23,0%	11,1%	18,5%	23,0%	25,9%
266	3,96	16,8%	13,7%	20,0%	22,1%	22,1%
268	4,63	15,3%	12,6%	15,3%	14,4%	23,4%
286	1,38	27,3%	30,3%	27,3%	37,0%	35,4%
300A	8,17	14,3%	24,5%	48,0%	42,9%	50,0%
300B	4,92	10,2%	11,9%	30,5%	30,5%	30,5%
301	2,46	18,6%	16,9%	32,2%	33,9%	39,0%
303A	14,75	13,0%	14,7%	32,2%	33,3%	44,1%
303B	11,42	3,6%	5,1%	23,4%	24,8%	25,5%
303C	5,71	8,8%	5,6%	16,1%	13,1%	16,8%
306A	4,50	22,2%	11,1%	22,2%	27,8%	27,8%
306B	4,67	10,7%	7,1%	16,1%	14,3%	21,4%
306C	8,75	10,5%	9,5%	23,8%	21,9%	26,7%
306D	7,33	8,0%	5,7%	13,6%	13,6%	13,6%
308A	3,75	11,8%	8,1%	22,2%	22,2%	24,4%
308B	3,58	9,3%	7,0%	18,6%	14,0%	16,3%
308C	5,42	7,7%	4,6%	14,6%	10,3%	16,0%

Figura 19: Remoção média de sólidos suspensos –fase 2

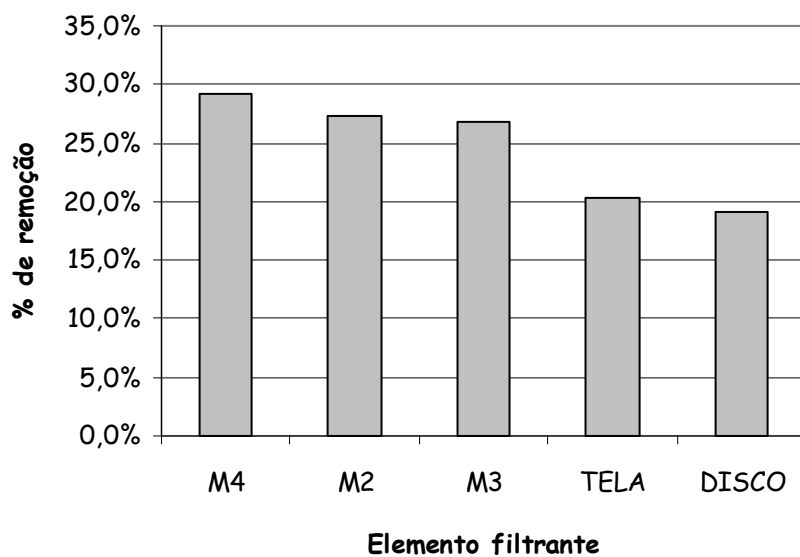


Figura 20: Evolução média da perda de carga – fase 2

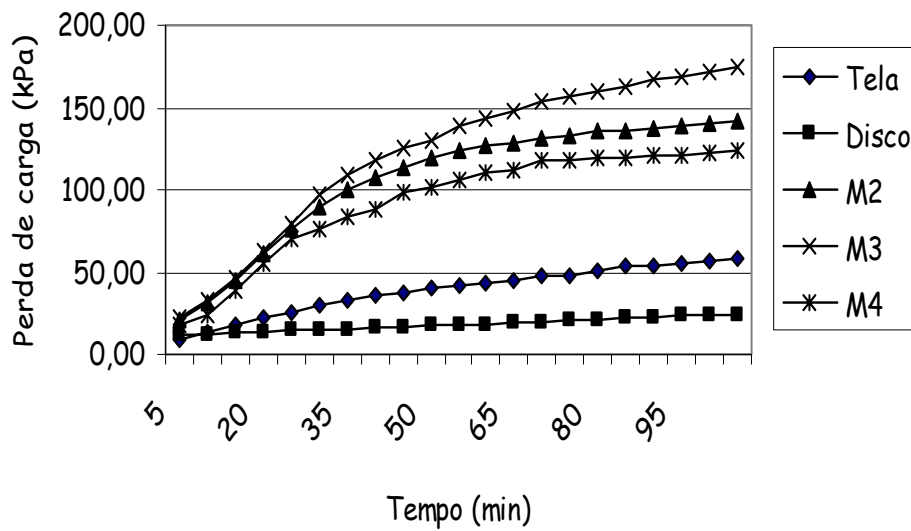


Tabela 7: Análise estatística da remoção de sólidos suspensos

QUADRO DA ANALISE DE VARIANCIA					
CAUSAS DA VAR.	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
TRATAM	4	2197.3794297	549.3448574	17.6805	0.00001
RESIDUO	130	4039.1934628	31.0707189		
TOTAL	134	6236.5728925			
MEDIA GERAL = 24.584410 COEFICIENTE DE VARIACAO = 22.673 %					

TESTE DE DUNCAN PARA MEDIAS DE TRATAMENTOS							
No.Ordem	No.Trat.	NOME	No.Repet.	Médias	Médias Orig.	5%	1%
1	3	M4	27	29.227743	23.841965	a	A
2	5	M2	27	27.379892	21.149718	a	A
3	4	M3	27	26.790359	20.315519	a	A
4	1	TELA	27	20.324263	12.064010	b	B
5	2	DISCO	27	19.199793	10.815106	b	B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado

Tabela 8: Contagem de algas

Dia	Manta	Disco	Tela	Testem. (afluente)	Codutivid. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	Turbidez (UNT)
179	630	790	720	820			
195	1780	2400	2140	2520	53,0	7,6	10
202	1110	1350	1720	2330	65,3	7,3	5
202	930	1120	1430	1830	57,5	7,4	5
216	1000	1380	1150	1430	80,1	7,3	9
216	660	970	920	1090	90,2	7,2	9
230	920	1160	1100	1790	250,0	8,7	2
230	900	1030	1030	1290	273,0	8,6	5
236	2720	5340	4570	5720	57,3	7,1	8
237	2820	3290	4620	5350	56,3	6,9	8
237	2310	3170	3600	4690	60,9	7,1	9
242	1880	2270	2150	2500	59,0	7,4	2
242	1750	2020	1710	2480	58,8	7,5	2
244	1540	2080	1760	2330	62,4	7,2	2
244	1360	1620	1450	2060	59,1	7,2	2
251	2710	2300	3350	3510	84,7	7,5	4
256	1600	1830	1660	1930	395,0	6,6	3
256	1390	1260	1410	1630	365,0	6,4	4
257	1090	1190	1100	1620	482,0	7,4	2
257	1065	1080	875	1220	474,0	7,3	2
273	2710	3410	3580	4210	286,0	7,5	1
287	2510	2060	2750	3280	88,5	7,2	2
287	2270	1820	1950	2330	79,7	7,2	2

Tabela 9: Porcentagem de remoção de algas

Amostra	Dia	MANTA (M4)	DISCO	TELA
1	179	23,2%	3,7%	12,2%
2	195	29,4%	4,8%	15,1%
3	202	52,4%	42,1%	26,2%
4	202	49,2%	38,8%	21,9%
5	216	30,1%	3,5%	19,6%
6	216	39,4%	11,0%	15,6%
7	230	48,6%	35,2%	38,5%
8	230	30,2%	20,2%	20,2%
9	236	52,4%	6,6%	20,1%
10	237	47,3%	38,5%	13,6%
11	237	50,7%	32,4%	23,2%
12	242	24,8%	9,2%	14,0%
13	242	29,4%	18,5%	31,0%
14	244	33,9%	10,7%	24,5%
15	244	34,0%	21,4%	29,6%
16	251	22,8%	34,5%	4,6%
17	256	17,1%	5,2%	14,0%
18	256	14,7%	22,7%	13,5%
19	257	32,7%	26,5%	32,1%
20	257	12,7%	11,5%	28,3%
21	273	35,6%	19,0%	15,0%
22	287	23,5%	37,2%	16,2%
23	287	26,2%	21,9%	16,3%

Figura 21: Remoção média de algas – fase 3

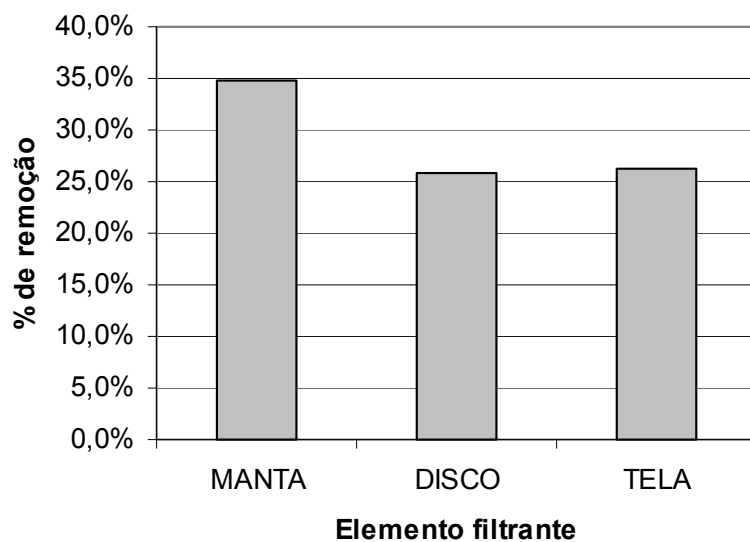


Figura 22: Evolução média da perda de carga – fase 3

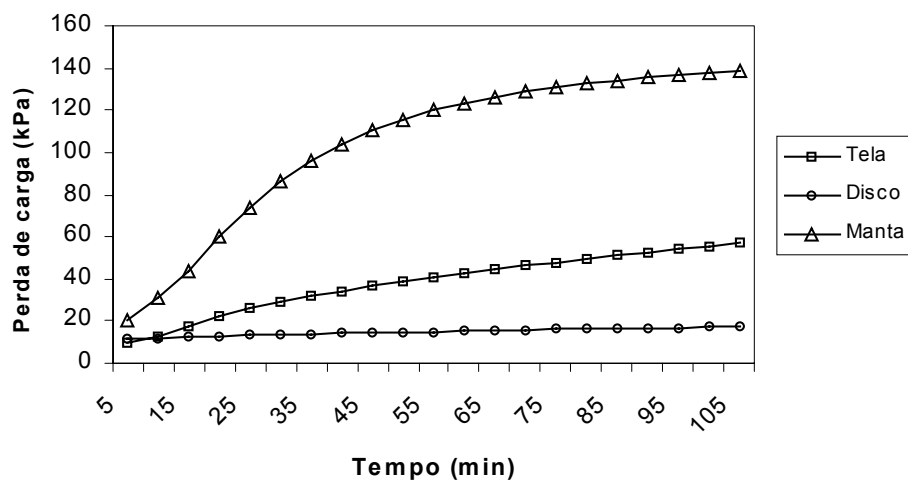


Tabela 10: Análise estatística da remoção de algas

QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
TRATAMENTO	2	1161,02	580,51	9,32	0,00049
RESÍDUO	66	4108,95	62,26		
TOTAL	68	5269,97			
Média geral = 28,95		Coeficiente de variação = 27,26%			

TESTE DE DUNCAN PARA MÉDIAS DE TRATAMENTO

Nº ORDEM	Nº TRAT.	NOME	Nº REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	MANTA	23	34,74	32,48	a	A
2	2	TELA	23	26,30	19,64	b	B
3	3	DISCO	23	25,80	18,94	b	B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado