

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**EFICIÊNCIA DOS MEIOS FILTRANTES DISCO
E MANTA SINTÉTICA NÃO TECIDA EM
FERTIRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO**

Rogério Pereira da Silva Airoidi
Orientador: Prof. Dr. José Euclides Stipp Paterniani

ABRIL DE 2003
CAMPINAS - ESTADO DE SÃO PAULO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**EFICIÊNCIA DOS MEIOS FILTRANTES DISCO
E MANTA SINTÉTICA NÃO TECIDA EM
FERTIRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO**

Dissertação apresentada à Faculdade
de Engenharia Agrícola como requisito para
obtenção do Título de Mestre em Engenharia
Agrícola, área de Concentração Água e Solo

Rogério Pereira da Silva Airoidi
Orientador: Prof. Dr. José Euclides Stipp Paterniani

ABRIL DE 2003

CAMPINAS - ESTADO DE SÃO PAULO

"A água não é somente uma herança dos nossos predecessores. Ela é sobretudo um empréstimo aos nossos sucessores"

(Autor desconhecido)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer imensamente às pessoas e instituições que de alguma forma contribuíram para que este trabalho se concretizasse.

À FAPESP, pelo incentivo na concessão da bolsa de mestrado e nas anteriores que iniciaram-me nas atividades de pesquisa.

À Faculdade de Engenharia Agrícola e à UNICAMP, pela formação superior e especialização na Pós-Graduação.

Em memória aos meus avôs, Washington e Camilo, exemplos de ética e humildade, por todos ensinamentos que se fazem tão presentes em minhas lembranças.

Aos meus pais, pelo esforço e dedicação, por oferecerem muito mais que uma formação digna, pelo amor e valores transmitidos de forma tão nobre.

Às minhas irmãs, Flávia, Giovana e Renata, pela amizade e carinho. À Júlia, com carinho.

À Rosa, Dora, Beatriz, em memória à Cássia, pessoas tão especiais, meus sinceros agradecimentos.

Aos meus amigos inesquecíveis, Júlio Nagay, Antônio Carlos M. Issa, Carlos Alberto Siviero, Roger Felini, Jean Claudio Espelho e Júlio Garcia Carvalho.

Ao estimado Túlio Ribeiro, pela amizade, confiança e por compartilhar seus ricos conhecimentos científicos e sua experiência de vida.

Aos sempre prestativos Gelson e Cabelo.

Aos professores e amigos Dr. Denis, por toda assessoria científica, e ao Dr. Maciel pelos conselhos e ensinamentos tão edificantes.

À Maria Elisa por auxiliar-me de forma tão atenciosa nas análises estatísticas.

Ao Prof. Dr. José Euclides Stipp Paterniani, pela orientação ao longo de tantos anos. Por toda compreensão e paciência, por depositar em mim confiança muito além da por mim merecida. E acima de tudo, pela amizade sincera e personalidade fraterna.

Em especial à Cinthia, por todo amor e carinho. Pelo apoio nos momentos mais difíceis, pelas palavras de conforto e pelo companheirismo inabalável. A seu pai, Josemar, pela atenção e preocupação em transmitir experiências profissionais e pessoais.

A Deus, por revelar a cada queda, novos e belos caminhos a serem trilhados.

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	9
LISTA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE QUADROS.....	17
LISTA DE SÍMBOLOS	21
RESUMO.....	23
ABSTRACT	25
I - INTRODUÇÃO	27
II - OBJETIVOS.....	31
III - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	33
3.1. Histórico da Irrigação por Gotejamento	33
3.2. Irrigação por Gotejamento	34
3.3. Fertirrigação	38
3.4. Qualidade da água para irrigação localizada	39
3.5. Filtração da Água	43
3.5.1. Filtro de Disco	45
3.5.2. Uso de manta sintética não tecida como elemento filtrante	46
3.5.3. Automação de filtros	48
3.6. Tratamento Químico da água.....	48
3.7. Injeção de produtos químicos	49
3.8. Medidas práticas de controle para evitar o entupimento dos gotejadores	51
3.9. Hidráulica dos gotejadores	52
3.10. Parâmetros para avaliação da uniformidade de distribuição da água	53
3.11. Coeficiente de Variação de Fabricação.....	59
IV - MATERIAL E MÉTODOS	63
4.1. Instalação Experimental	63
4.1.1. Local	63
4.1.2. Descrição da instalação experimental	63
4.2. Concentração do fertilizante organomineral para a fertirrigação.....	74
4.3. Caracterização hidráulica dos filtros.....	76
4.4. Interface entre transdutor de pressão e sistema de aquisição de dados	76
4.5. Calibração dos transdutores de pressão	77
4.6. Ciclos de Irrigação e Programação dos ensaios	80
4.7. Parâmetros Avaliados nas Análises da Água	81

4.8. Coeficientes de Uniformidade Avaliados.....	84
4.9. Introdução do compressor de ar no sistema.....	85
4.10. Perda de carga localizada nos filtros	86
4.11. Análise química do material retido nas mangueiras de gotejadores.....	87
4.12. Análise estatísticas dos dados	88
V - RESULTADOS E DISCUSSÃO	89
5.1. Calibração dos sensores de pressão.....	89
5.2. Calibração dos Manômetros.....	90
5.3. Caracterização hidráulica dos elementos filtrantes.....	92
5.3. Análises da água.....	93
5.3.1. Água do Reservatório	93
5.3.2. Água efluente aos elementos filtrantes.....	116
5.3.2.1. Ensaios das mantas sintéticas	120
5.3.2.1.1. Manta M2	121
5.3.2.1.2. Manta M3	125
5.3.2.1.3. Manta M4	126
5.3.2.1.4. Manta M5	130
5.4. Nova estrutura para o filtro de manta.....	134
5.5. Influência da Fertirrigação sobre a qualidade da água de irrigação	146
5.6. Análise dos coeficientes de uniformidade	151
5.7. Perda de carga nos filtros	166
5.8. Análise microbiológica de mangueiras gotejadoras	171
5.8.1. Caracterização das algas.....	172
5.9. Análise química dos elementos contidos no lodo depositado nas linhas laterais de gotejamento	173
5.10. Análise Estatística das análises físicas e biológicas da água filtrada.....	174
5.11. Análise de correlação entre os parâmetros químicos e físicos	179
5.12. Análise Estatística dos resultados dos coeficientes de uniformidade calculados	182
VI - CONCLUSÕES.....	187
VII - SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....	189
VIII – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	191
APÊNDICE 1	195

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema dos tipos de injeção de produtos químicos na linha de irrigação	50
Figura 2 - Nomograma para avaliação da uniformidade de distribuição de água (Bralts & Kesner, 1983)	59
Figura 3 – Esquema do sistema de irrigação por gotejamento utilizado na pesquisa	64
Figura 4 – Ilustração da bomba injetora de fertilizantes utilizada na pesquisa	66
Figura 5 - Filtro de irrigação contendo elemento filtrante de disco	67
Figura 6 - Filtro de irrigação contendo elemento filtrante de manta sintética não tecida	68
Figura 7 - Estrutura interna do filtro, utilizada para fixação da manta sintética não tecida	69
Figura 8 - Esquema da instalação hidráulica utilizada na determinação da perda de carga dos elementos filtrantes em função da variação da vazão	70
Figura 9 – Sistema de aquisição de dados referentes à perda de carga localizada nos filtros	71
Figura 10 – Foto de uma parcela de gotejadores da instalação experimental	73
Figura 11 – Representação do circuito eletrônico divisor de tensão	77
Figura 12 – Gráfico de Tensão de Saída versus Pressão Diferencial do sensor MPX 5100 DP (Fonte: Motorola 1998)	78
Figura 13 - Curva de calibração para os dois sensores Motorola MPX – 5100 DP	90
Figura 14 - Curvas de calibração dos manômetros	91
Figura 15 - Perda de carga localizada nos filtros de manta sintética (M1) e disco	93
Figura 16 - Variação da turbidez e concentração de sólidos suspensos na água do reservatório analisadas na primeira etapa	95
Figura 17 - Variação das concentrações de ferro total e sulfetos na água do reservatório, na primeira etapa	97
Figura 18 - Variação das concentrações de algas e bactérias na água do reservatório analisadas na primeira etapa	98
Figura 19 - Variação da turbidez e concentração de sólidos suspensos na água do reservatório analisadas na segunda etapa	100

Figura 20 - Variação das concentrações de ferro total e sulfetos na água do reservatório, na segunda etapa_____	102
Figura 21 - Variação das concentrações de algas e bactérias na água do reservatório analisadas na segunda etapa_____	103
Figura 22 –Variação da turbidez e concentração de sólidos suspensos na água do reservatório analisadas na terceira etapa_____	105
Figura 23 –Variação das concentrações de ferro total e sulfetos na água do reservatório, na terceira etapa_____	106
Figura 24 –Variação das concentrações de algas e bactérias na água do reservatório analisadas na terceira etapa_____	107
Figura 25 – Variação da turbidez e concentração de sólidos em suspensos na água do reservatório analisadas na quarta etapa_____	109
Figura 26 – Variação das concentrações de ferro total e sulfetos na água do reservatório, na quarta etapa_____	110
Figura 27 –Variação das concentrações de algas e bactérias na água do reservatório analisadas na quarta etapa_____	111
Figura 28 – Variação média da turbidez e concentração de sólidos suspensos na água do reservatório analisadas nas 4 etapas da pesquisa_____	112
Figura 29 – Variação média do pH na água do reservatório nas 4 etapas da pesquisa____	113
Figura 30 – Variação média das concentrações de ferro total e sulfetos na água do reservatório analisadas nas 4 etapas da pesquisa_____	114
Figura 31 – Variação média da condutividade elétrica na água do reservatório analisadas nas 4 etapas da pesquisa_____	114
Figura 32 – Variação média das concentrações de algas e bactérias na água do reservatório analisadas nas 4 etapas da pesquisa_____	115
Figura 33 - Análises de turbidez e da concentração de sólidos suspensos na água medidas após os elementos filtrantes, na primeira etapa_____	117
Figura 34 - Análises das concentrações de algas e bactérias na água medidas após os elementos filtrantes, na primeira etapa_____	119
Figura 35 – Evolução da perda de carga localizada nos elementos filtrantes disco e manta M2_____	121

Figura 36 - Análise da turbidez da água medida no reservatório e após os elementos filtrantes disco e manta M2	122
Figura 37 – Eficiência de remoção da turbidez da água dos elementos filtrantes de disco e manta M2	123
Figura 38 - Análise da concentração de sólidos suspensos totais da água medida no reservatório e após os elementos filtrantes disco e manta M2	144
Figura 39 - Eficiência de remoção dos sólidos suspensos totais da água dos elementos filtrantes disco e manta M2	124
Figura 40 – Evolução da perda de carga localizada nos elementos filtrantes disco e manta M3	125
Figura 41 – Evolução da perda de carga localizada nos elementos filtrantes disco e manta M4	126
Figura 42 - Análise da turbidez da água medida no reservatório e após os elementos filtrantes disco e manta M4	127
Figura 43 - Eficiência de remoção da turbidez da água dos elementos filtrantes de disco e manta M4	128
Figura 44 –Análise da concentração de sólidos suspensos totais da água medida no reservatório e após os elementos filtrantes disco e manta M4	129
Figura 45 –Eficiência de remoção dos sólidos suspensos totais da água dos elementos filtrantes de disco e manta M4	129
Figura 46 – Evolução da perda de carga localizada nos elementos filtrantes disco e manta M5	130
Figura 47 - Análise da turbidez da água medida no reservatório e após os elementos filtrantes de disco e manta M5	131
Figura 48 - Eficiência de remoção da turbidez da água dos elementos filtrantes de disco e manta M5	132
Figura 49 - Análise da concentração de sólidos suspensos totais da água medida no reservatório e após os elementos filtrantes de disco e manta M5	133
Figura 50 - Eficiência de remoção dos sólidos suspensos totais da água dos elementos filtrantes de disco e manta M5	133
Figura 51 - Perda de carga nas duas estruturas internas dos filtros de irrigação	135

Figura 52 - Análises de turbidez e da concentração de sólidos suspensos da água medidas após os elementos filtrantes, na segunda etapa	137
Figura 53 - Análises das concentrações de algas e bactérias da água medidas após os elementos filtrantes, na segunda etapa	138
Figura 54 - Análises de turbidez e da concentração de sólidos suspensos da água medidas após os elementos filtrantes, na terceira etapa	140
Figura 55 - Análises das concentrações de algas e bactérias da água medidas após os elementos filtrantes, na terceira etapa	141
Figura 56 - Análises de turbidez e da concentração de sólidos suspensos da água medidas após os elementos filtrantes, na quarta etapa	142
Figura 57 - Análises das concentrações de algas e bactérias da água medidas após os elementos filtrantes, na quarta etapa	143
Figura 58 - Variação dos valores médios da turbidez e concentração de sólidos suspensos da água efluente aos filtros analisadas nas 4 etapas	145
Figura 59 - Variação dos valores médios das concentrações de algas e bactérias da água efluente aos filtros analisadas nas 4 etapas	145
Figura 60 - Variação da turbidez da água amostrada antes e depois do ponto de injeção de fertilizantes e da própria solução fertilizante, na terceira etapa da pesquisa	147
Figura 61 - Variação da concentração de sólidos suspensos da água amostrada antes e depois do ponto de injeção de fertilizantes e da própria solução fertilizante, na terceira etapa da pesquisa	148
Figura 62 – Variação da turbidez da água antes e depois do ponto de injeção de fertilizantes e da própria solução fertilizante, na quarta etapa da pesquisa	149
Figura 63 – Variação da concentração de sólidos suspensos totais da água antes e depois do ponto de injeção de fertilizantes e da própria solução fertilizante, na quarta etapa da pesquisa	150
Figura 64 – Variação do coeficiente de Uniformidade Estatística de Emissão (Us) ao longo do tempo	155
Figura 65 – Variação dos valores médios do coeficiente de Uniformidade Estatística de Emissão (Us) nas quatro etapas realizadas	156

Figura 66 - Variação do Índice de Performance do gotejador no campo ao longo do tempo_____	157
Figura 67 - Variação dos valores médios do Índice de Performance dos gotejadores no campo, nas quatro etapas realizadas_____	158
Figura 68 - Variação da Relação das Vazões Médias (Dra) ao longo do tempo_____	159
Figura 69 – Variação dos valores médios das relações das Vazões Médias (Dra) nas quatro etapas realizadas_____	161
Figura 70 - Variação da Uniformidade de Emissão (Eu) ao longo do tempo _____	162
Figura 71 – Variação dos valores médios de Uniformidade de Emissão (Eu) nas quatro etapas realizadas_____	163
Figura 72 - Variação do entupimento parcial dos gotejadores (ns) ao longo do tempo_____	164
Figura 73 – Variação dos valores médios de Entupimento Parcial dos gotejadores (ns) nas quatro etapas realizadas_____	165
Figura 74 –Variação da perda de carga nos elementos filtrantes disco e manta sintética (M1) na primeira fase do experimento_____	167
Figura 75 – Variação da perda de carga nos elementos filtrantes disco e manta sintética (M5) na segunda fase do experimento_____	168
Figura 76 - Variação da perda de carga nos elementos filtrantes disco e manta sintética (M5) na terceira fase do experimento_____	169
Figura 77 - Variação da perda de carga nos elementos filtrantes disco e manta sintética (M5) na quarta fase do experimento_____	170
Figura 78 – Correlação entre a turbidez e os sólidos suspensos da água_____	180
Figura 79 – Correlação entre os sólidos suspensos e a turbidez da água_____	181
Figura 80 – Correlação entre algas e os sólidos suspensos da água_____	181
Figura A1 – Algas <i>Ankitrodemus sp</i> _____	195
Figura A2 – Algas <i>Chorella sp</i> _____	196
Figura A3 – Algas <i>Cylindrospermum sp</i> _____	197
Figura A4 - Algas <i>Dinobryon sp</i> _____	197
Figura A5 – Algas <i>Microcystis sp</i> _____	199
Figura A6 – Algas <i>Scenedesmus sp</i> _____	200

Figura A7 – Algas <i>Selenastrum sp</i>	200
Figura A8 – Algas <i>Nitzchia sp</i>	201
Figura A9 – Algas <i>Synedra sp</i>	202
Figura A10 – Algas <i>Staurostrum sp</i>	203
Figura A11 – Algas <i>Micrasteria sp</i>	203
Figura A12 – Algas <i>Phytoconis sp</i>	204

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Elementos físicos, químicos e biológicos que produzem obstruções no sistemas de irrigação localizada_____	41
Quadro 2: Risco potencial de obstruções segundo qualidade da água de irrigação_____	43
Quadro 3: Classificação dos sistemas de irrigação por gotejamento segundo a Uniformidade Estatística de Emissão (Us)_____	55
Quadro 4: Classificação de diferentes índices de uniformidade, segundo Capra & Scicolone (1998)_____	57
Quadro 5: Classificação do coeficiente de variação de fabricação de emissores, segundo Solomon (1979)_____	60
Quadro 6: Classificação do coeficiente de variação de fabricação de emissores, segundo Abreu et al. (1987)_____	60
Quadro 7: Dados técnicos das mantas sintéticas não tecidas utilizadas na pesquisa_____	68
Quadro 8: Valores da vazão média, pressão, desvio padrão (s) e coeficiente de variação de fabricação (CVf) para o tubo de emissão Streamline 80_____	72
Quadro 9: Características do sensor MPX 5100 D da marca Motorola_____	78
Quadro 10: Dados obtidos na calibração dos sensores Motorola, modelo MPX –5100 DP_____	89
Quadro 11: Calibração dos 2 manômetros de bourdon utilizados para controle da pressão de entrada de cada parcela do experimento_____	91
Quadro 12: Resultados do ensaio da perda de carga versus vazão, para os elementos filtrantes de disco (120 mesh) e manta sintética não tecida, com água de abastecimento urbano_____	92
Quadro 13: Resultados das análises da água do reservatório realizadas na primeira etapa do projeto_____	94
Quadro 14: Resultados das análises da água do reservatório realizadas na segunda etapa do projeto_____	99
Quadro 15: Resultados das análises da água do reservatório realizadas na terceira etapa do projeto_____	104

Quadro 16: Resultados das análises da água do reservatório realizadas na quarta etapa do projeto_____	108
Quadro 17: Resultados dos parâmetros de qualidade de água medidos após os filtros, da primeira etapa_____	117
Quadro 18: Dados técnicos das mantas sintéticas não tecidas M3 e M5_____	121
Quadro 19: Resultados dos parâmetros de qualidade de água medidos após os filtros, da segunda etapa_____	136
Quadro 20: Resultados dos parâmetros de qualidade de água medidos após os filtros, da terceira etapa_____	139
Quadro 21: Resultados dos parâmetros de qualidade de água medidos após os filtros, da quarta etapa_____	142
Quadro 22: Resultados dos índices de uniformidade de distribuição de água calculados da primeira etapa_____	151
Quadro 23: Resultados dos índices de uniformidade de distribuição de água calculados da segunda etapa_____	152
Quadro 24: Resultados dos índices de uniformidade de distribuição de água calculados da terceira etapa_____	153
Quadro 25: Resultados dos índices de uniformidade de distribuição de água calculados da quarta etapa_____	154
Quadro 26: Resultados das análises microbiológicas das mangueiras e gotejadores_____	172
Quadro 27: Porcentagem de cada elemento identificado no lodo coletado no interior das mangueiras de cada parcela_____	173
Quadro 28: Análise de variância de sólidos suspensos, turbidez, algas e bactérias medidos após os filtros de irrigação_____	175
Quadro 29: Resultados do Teste de Tukey para médias de Filtro_____	178
Quadro 30: Resultados do Teste de Tukey para médias de Estação_____	179
Quadro 31: Equações de correlação entre turbidez, sólidos suspensos, algas e bactérias, obtidas a partir do programa computacional Ajuste_____	180
Quadro 32: Análise de variância dos coeficientes de uniformidade calculados para as duas parcelas de gotejamento_____	183
Quadro 33: Resultados do Teste de Tukey para médias de Filtro_____	186

LISTA DE SÍMBOLOS

q – vazão (m^3/h)

K – coeficiente de proporcionalidade (adimensional)

H – pressão de serviço (mca)

x – expoente que caracteriza o regime de fluxo no emissor (adimensional)

Eu – uniformidade de emissão (%)

q_{25} – vazão média dos 25% menores valores (L/h)

$\bar{q}$ - vazão média total (L/h)

Us – uniformidade estatística de emissão (%)

cv – coeficiente estatístico de variação de vazão dos emissores (%)

s – desvio padrão da média de vazões (L/h)

Dra – relação das vazões médias dos gotejadores (%)

q_f - vazão medida no campo de cada gotejador (L/h)

q_c – vazão calculada de cada gotejador, quando submetido à pressão em que foi testado (L/h)

n – número de gotejadores testados

Eu – coeficiente de uniformidade de emissão (%)

$D_{r1/4 \text{ min}}$ - relação das vazões de cada um dos 25% menores valores de vazão dos gotejadores testados (adimensional)

$H_{\min}$ – menor pressão de serviço medida no campo (mca)

H_a – pressão de serviço média medida no campo (mca)

CV_f – coeficiente de variação de fabricação (%)

ns – porcentagem estatística de entupimento dos gotejadores (%)

$n_{1/4}$ - número de gotejadores que satisfazem a Equação 8

SST – sólidos suspensos totais (mg/L)

P_1 – massa do filtro com sólidos filtrados (g)

P_0 – massa do filtro limpo (g)

Vol – volume de amostra usado (L)

RESUMO

A pesquisa realizada propôs uma investigação experimental para a avaliação do desempenho dos meios filtrantes disco (120 mesh) e manta sintética não tecida na filtração da água utilizada em um sistema de irrigação por gotejamento com fertirrigação organomineral. A filtração da água em irrigação localizada é um tratamento de fundamental importância para garantir um bom funcionamento do sistema e prevenir a obstrução de gotejadores, principal problema relativo a irrigação por gotejamento. O desempenho de filtros utilizados em irrigação localizada pode ser melhorado com a utilização de meios filtrantes mais eficientes e tecnicamente viáveis. Foram avaliadas e comparadas as eficiências dos filtros de disco, usualmente utilizados para este fim e de manta sintética não tecida, na retenção de partículas potencialmente obstruidoras dos emissores, presentes na água de irrigação. Utilizou-se água de um reservatório aberto, localizado no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP, onde instalou-se um módulo de irrigação localizada para o estudo. O grau de obstrução dos emissores foi avaliado através de ensaios de vazão que determinaram a uniformidade de distribuição da água através de diferentes índices, propostos por diferentes pesquisadores, variando-se o número de emissores amostrados. O desempenho dos filtros foi avaliado através de análises físicas, químicas e biológicas da água afluente e efluente aos filtros, e da evolução da perda de carga nos mesmos. O sistema de irrigação automatizado permitiu uma grande regularidade e frequência de funcionamento, de forma a poder, em um curto período de tempo, simular períodos bem mais extensos, valorizando a qualidade dos resultados obtidos e provocados pela utilização da fertirrigação no sistema de irrigação por gotejamento. A pesquisa foi desenvolvida em quatro etapas de 30 dias cada uma, realizadas em diferentes estações do ano (inverno, primavera, verão e outono). Os resultados apontaram que não houve diferenças significativas entre os dois elementos filtrantes com relação à remoção de partículas em suspensão na água. No entanto, o filtro de disco apresentou menor perda de carga localizada em relação ao filtro de manta sintética. Já com relação à uniformidade de distribuição de água às plantas, dois coeficientes foram mais representativos, a uniformidade estatística de emissão, que apontou menor grau de entupimento na parcela

contendo filtro de disco, e o índice de performance do gotejador no campo, que indicou maior uniformidade nas linhas de gotejadores cuja água foi filtrada pelo filtro de manta. Desta forma, concluiu-se que, para as condições experimentais de qualidade da água, o filtro de disco apresentou desempenho pouco superior ao filtro de manta sintética. No entanto, pode-se desenvolver filtros especialmente adaptados aos elementos filtrantes de manta sintética não tecida para que a eficiência deste elemento supere a do disco, principalmente com relação a perda de carga.

PALAVRAS-CHAVE: filtração, manta sintética não tecida, filtro de disco, gotejamento, qualidade de água, entupimento, fertirrigação, coeficiente de uniformidade, perda de carga.

ABSTRACT

The main purpose of this research was the evaluation of disc (120 mesh) and non-woven synthetic fabric filters performance in water filtration in a trickle irrigation system with fertirrigation. The water filtration in localized irrigation is a very important treatment to allow a nice performance of the systems and to prevent the emitters clogging. The filters performance in trickle irrigation can be increased using more efficient and technically viable filters. It was compared and evaluated the disc filter performance, usually used for irrigation water filtration, with the non-woven synthetic fabric filter, in retention of suspended particles present in irrigation water. The source of water used in this experiment was from an open reservoir, located in the experimental field of the Agricultural Engineer Faculty – UNICAMP, where it has been installed an experimental trickle irrigation system. The emitters clogging degree was evaluated through flow tests that determine the water distribution uniformity through different coefficients, as proposed by different researchers, varying the number of the emitters. The filters performance was evaluated through water analysis by physical, chemical and biological parameters, and through the head loss evolution on it. The automatic irrigation system allowed a great regularity and frequency of working. So, it was possible, in a short period of time, to simulate much longer periods, valorizing the quality of the results caused by the fertirrigation. The research was developed in four phases of 30 days each, in different stations (winter, spring, summer and autumn). The results have shown that there weren't significant differences between the two filters in removing suspended particles from water. However, the disc filter presented lower head loss than the non-woven synthetic fabric filters. According to the water distribution uniformity to the plants, two coefficients were more representative: emission statistic uniformity that pointed a lower clogging degree in the disc filters fraction, and the trickle performance coefficient that pointed a better distribution uniformity in the other fraction. Therefore, it was concluded that for these water qualities conditions, the disc filter presented higher performance than the non-woven synthetic fabric filter. However, non-woven synthetic fabric filters can be improved, leading to filters with reduced head loss and increased performance.

I - INTRODUÇÃO

O homem utiliza a água para diferentes atividades, consuntivas ou não. A escassez deste recurso é um fator limitante ao desenvolvimento econômico e social de uma região, e a multiplicidade de seu uso pode gerar competição e conflitos. A irrigação é reconhecidamente a atividade humana que mais consome água, em média 70% de todo o volume consumido. Desta forma, em tempos de busca por uma utilização racional deste recurso natural e até mesmo de escassez, surgem diversas críticas a esta técnica.

Por outro lado, a irrigação sempre esteve ligada ao desenvolvimento da humanidade desde há muitos séculos. Esta técnica foi praticada nas margens dos rios Nilo, Tigre, Eufrates, Indu e Amarelo por civilizações antigas.

A partir do século XX, com a explosão demográfica mundial, esta técnica foi de fundamental importância para garantir que a produção de alimentos acompanhasse o crescimento populacional. Atualmente, 17% da área cultivada em todo mundo é irrigada. Esta mesma parcela é responsável pela produção de 40% dos alimentos consumidos pelo homem (FAO, 1998).

O crescimento populacional demandou uma maior captação de água para o contínuo desenvolvimento das atividades humanas, provocando uma queda na qualidade deste recurso em suas fontes naturais. Diante deste panorama, é clara a necessidade em utilizar deste recurso natural com maior racionalidade, através de técnicas que permitam um aproveitamento mais eficiente da água, nas mais diversas atividades humanas, entre elas, a irrigação.

A irrigação, além de tudo, não pode e não deve competir com o uso da água destinado ao abastecimento público. Desta forma, as águas utilizadas para irrigação são cada vez mais escassas e de pior qualidade.

Dentre os métodos de irrigação conhecidos, a irrigação localizada é o método cujo uso mais cresceu nas últimas décadas devido à maneira racional e econômica do uso da água. A irrigação por gotejamento especificamente, apresenta uma série de vantagens sobre outros sistemas de irrigação, muito embora seu consumo de água seja sensivelmente

inferior quando comparado aos demais, em virtude de uma aplicação pontual em uma porção reduzida do solo (sobre a região radicular das plantas).

Mas, se por um lado este sistema reduz a quantidade de água necessária à produção dos alimentos, necessita também de águas de melhor qualidade. Estes sistemas, por terem emissores de água com diâmetro de saída reduzido e sujeitos ao entupimento por partículas sólidas em suspensão na água, podem ter a eficiência de distribuição de água às plantas diminuída no decorrer de sua utilização. Além disso, a má distribuição da água às plantas causa queda da produção à lavoura.

O uso da fertirrigação, técnica de importância vital para garantir altos rendimentos das culturas, apresenta inúmeras vantagens para o produtor rural. No entanto, a introdução de nutrientes na água de irrigação, promove o desenvolvimento de microorganismos, aumentando o risco de entupimento dos gotejadores.

Para garantir uma boa eficiência na irrigação das plantas, os sistemas de irrigação por gotejamento devem possuir sistemas de tratamento de água eficientes. Estes sistemas podem utilizar processos físicos e/ou químicos.

Dentre os tratamentos físicos, a filtração da água é o mais utilizado, sendo também a maneira mais econômica de se tratar a água de irrigação e evitar a ocorrência de entupimento dos gotejadores, maior problema relacionado aos sistemas de gotejamento. Existem diversos tipos de filtros comerciais utilizados na irrigação com boa eficiência, entre eles os filtros de areia, de tela e de disco. O filtro de areia é mais indicado para retenção de algas e partículas de maior diâmetro, enquanto que os filtros de tela e disco têm a função de reter as partículas de menor diâmetro.

Neste contexto, esta pesquisa teve o propósito de comparar o desempenho dos elementos filtrantes de disco, comercialmente difundido entre os agricultores, e um elemento filtrante alternativo, a manta sintética não tecida, com a finalidade de se desenvolver uma tecnologia alternativa eficiente e tecnicamente viável.

O desempenho dos elementos filtrantes foi avaliado a partir de 3 aspectos de suma importância: evolução da perda de carga nos filtros, eficiência na remoção das partículas em suspensão da água e por uma medida indireta, a da uniformidade de distribuição da água nas linhas laterais dos setores contendo os dois filtros, utilizando-se diferentes metodologias.

Assim, esta investigação traduz também, uma discussão sobre os critérios científicos aplicáveis ao processo de irrigação por gotejamento e aspectos de qualidade de água, contribuindo para um uso mais eficiente dos sistemas de irrigação localizada.

II - OBJETIVOS

A pesquisa objetivou avaliar o desempenho de um elemento filtrante de manta sintética não tecida, utilizado na filtração da água de um sistema de irrigação por gotejamento automatizado, quando se utiliza a fertirrigação, e comparar sua performance a um filtro com elemento filtrante de disco (120 mesh).

Especificamente foram analisados os seguintes parâmetros físicos, químicos e biológicos da água afluyente e efluente aos filtros: pH, turbidez, sólidos suspensos totais, salinidade, ferro total, sulfetos, manganês, algas e bactérias.

Foi avaliada também, a variação da vazão dos emissores através de alguns coeficientes de uniformidade de distribuição propostos por diferentes pesquisadores, bem como a evolução da perda de carga nos filtros. Esta última foi monitorada como forma de avaliar a eficiência hidráulica dos mesmos, assim como o grau de retenção de impurezas.

III - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Histórico da Irrigação por Gotejamento

Irrigação é uma técnica de aplicação de água ao solo no qual se desenvolve a agricultura, com o objetivo de suplementar ou substituir a chuva, aumentando, assim, o crescimento das plantas, a qualidade do produto e a produtividade (Reichardt, 1987).

A irrigação localizada desenvolveu-se principalmente nas décadas de 60 e 70 do século XX, embora alguns sistemas de irrigação que operavam segundo este conceito, ou seja, de aplicar pequenas vazões de água localizadamente, diretamente sobre o sistema radicular das plantas, vinham sendo desenvolvidos desde o início deste mesmo século.

Após a Segunda Guerra Mundial, o advento de materiais plásticos permitiu o desenvolvimento de equipamentos e componentes do sistema economicamente viáveis.

Segundo Howell (2000), o Engenheiro Israelense Syncha Blass desenvolveu na Inglaterra a tecnologia para irrigar plantas em estufas de maneira localizada. Nos anos 50, este Engenheiro retornou a Israel onde aplicou com sucesso sua tecnologia desenvolvida na produção de alimentos, no deserto de Negev, utilizando águas altamente salinas.

A partir da década de 60, houve grande impulso no desenvolvimento da irrigação por gotejamento. Desde então, rapidamente, o gotejamento espalhou-se por diversos países (Nakayama & Bucks, 1986).

Nos EUA a irrigação por gotejamento foi inicialmente explorada em plantações de abacate no sul da Califórnia no início da década de 60 (Howell, 2000).

As pesquisas científicas envolvendo irrigação por gotejamento também se desenvolveram a partir da mesma década. Em 1963 surgiram as primeiras publicações sobre este tema e em 1971, em Tel Aviv, Israel, ocorreu o primeiro encontro mundial sobre irrigação por gotejamento (Nakayama & Bucks, 1986).

Entre os sistemas de irrigação localizada, destacam-se o gotejamento e a microaspersão. O gotejamento surgiu no Brasil na década de 70 do século XX, enquanto que a microaspersão na década seguinte .

3.2. Irrigação por Gotejamento

A irrigação localizada objetiva a otimização da produção agrícola através do fornecimento mínimo de água e nutrientes diretamente sobre o sistema radicular das plantas, de forma a atender as suas necessidades hídricas. O sistema de irrigação localizada mais difundido nas propriedades agrícolas e também mais pesquisado é a irrigação por gotejamento.

A irrigação por gotejamento é um dos sistemas de irrigação que mais se desenvolveu nas últimas décadas, utilizada para uma grande variedade de culturas, em especial as de maior rendimento econômico, já que seu custo inicial é elevado. Entre as culturas irrigadas por este sistema destacam-se: café, tomate, morango, melão, pimenta-do-reino, banana, cacau, mamão, laranja, plantas ornamentais, entre outras. Atualmente, a maior concentração de área irrigada por gotejamento no país encontra-se no Estado de São Paulo, abrangendo principalmente árvores frutíferas, hortaliças e flores.

O interesse por este método deve-se, principalmente, pela economia de água acompanhada por um aumento substancial na produção das culturas, especialmente aquelas que respondem a maiores níveis de umidade no solo (Bernardo, 1987).

Um sistema de irrigação por gotejamento é composto, basicamente, de duas partes: o cabeçal de controle, e as canalizações.

O cabeçal de controle compreende o conjunto motobomba; sistema de filtros para a purificação da água (filtros de areia, disco ou tela); sistema de injeção de fertilizantes (fertirrigação) e outros produtos químicos (algicidas, fungicidas, nematicidas, herbicidas); sistema regulador de pressão e vazão; sistema de controle automático das operações; válvula de retenção; manômetros e hidrômetros.

As canalizações podem ser de PVC ou polietileno flexível, formando um reticulado de linhas laterais capazes de abranger toda a área a ser irrigada. É interessante que nem todas as linhas laterais funcionem simultaneamente para minimizar a capacidade do cabeçal de controle, promovendo desta forma uma economia substancial no custo inicial do sistema de bombeamento, sistema de filtração e outros componentes.

A tubulação lateral deve ter cor preta para evitar o crescimento e proliferação de algas internamente aos tubos, após o ponto de filtragem da água, podendo provocar problemas de obstrução dos gotejadores.

Nos terrenos inclinados, as linhas de derivação são montadas acompanhando a direção de declividade do terreno, enquanto que as linhas laterais são dispostas em nível, a fim de manter uma pressão de serviço interna constante .

As tubulações do sistema podem ser superficiais ou enterradas, para não atrapalhar a circulação de maquinário e a realização dos tratos culturais necessários. No entanto, não é recomendável que as linhas laterais sejam enterradas, para reduzir o risco de entupimento dos emissores pelo crescimento de raízes em direção às saídas de água dos gotejadores ou pela entrada de partículas do solo pelos reduzidos orifícios dos emissores.

Os gotejadores são as estruturas responsáveis pela emissão da água. Têm a função de dissipar a pressão da água e permitir a passagem de pequenas vazões, de maneira constante e uniforme. Devem também, e preferencialmente, possuir um orifício de descarga de água relativamente grande, serem baratos, resistentes e compactos.

A vazão nos gotejadores pode variar entre 1 a 10 L/h sob uma pressão de serviço da ordem de 100 kPa (variando de 50 a 300 kPa). Em termos práticos, a vazão em qualquer parte do sistema pode variar até 10 % de seu valor médio, para que haja uma boa uniformidade na aplicação da água. É interessante que o gotejador apresente vazão constante para uma ampla faixa de pressão (Bernardo, 1987).

Devido ao pequeno diâmetro dos orifícios de passagem de água nos gotejadores, variando entre 0,3 e 1,5 mm, sua confecção deve ser bastante uniforme, exigindo dos fabricantes um rigoroso controle de qualidade, a fim de evitar o seu fácil entupimento, ou o aumento indesejável da vazão.

Os gotejadores com seção de escoamento inferior a 0,7 mm de diâmetro são classificados como muito sensíveis ao entupimento devido às partículas em suspensão presentes na água de irrigação. Os gotejadores com orifícios de diâmetro variando entre 0,7 e 1,5 mm são tidos como sensíveis ao entupimento.

O método de irrigação por gotejamento apresenta algumas vantagens em relação a outros métodos convencionais de irrigação, tais como aspersão, irrigação por inundação e sulcos. Dentre estas vantagens destacam-se:

1.) Maior eficiência do uso da água :

- Há um maior controle sobre a lâmina de água aplicada;
- Fornecimento de água diretamente na região do solo onde a absorção de água pelas raízes é mais eficiente;
- Irriga apenas as plantas cultivadas, não havendo fornecimento de água às ervas invasoras entre as ruas da cultura;
- Economia de água pela redução da evaporação, escoamento superficial e percolação profunda;
- Não é afetada pelo vento (como no caso da aspersão).
- Consome em torno de 30 a 50% do volume de água necessário para irrigar através de sistemas de irrigação por aspersão.

2.) Maior produtividade :

- Proporciona aumento da produtividade das plantas, principalmente para as culturas que requerem altos níveis de umidade no solo;
- Menor variação do nível de água no solo, melhorando a qualidade, quantidade e uniformidade da produção;
- Pode promover precocidade nas colheitas;
- Eficiência na adubação, via fertirrigação.

3.) Eficiência no controle fitossanitário :

- Não irriga as ervas invasoras;
- Não molha a parte aérea dos vegetais, evitando a queima de folhas e frutos em caso da utilização de águas salinas;
- Evita a contaminação dos vegetais por organismos patogênicos presentes na água;
- Diminui a presença de insetos e a incidência de fungos;
- Maior eficiência no uso de defensivos.

4.) Não interfere nas práticas culturais :

- Não há irrigação do solo entre as fileiras das plantas, permitindo operações mecanizadas (capinas, colheitas, aplicação de defensivos, etc) independente do tempo de irrigação, sem causar compactação do solo.

5.) Adapta-se a diferentes tipos de solos e topografia :

- Devido às baixas vazões e pressão do sistema, este método adapta-se até a solos pouco permeáveis e a terrenos com topografia irregular e bastante acidentada.

6.) Pode ser usado com água salina ou em solos salinos :

- Devido a umidade do solo permanecer sempre elevada, a concentração de sais fica reduzida;
- Como o fluxo de água é constante, há movimentação dos sais para além do volume ocupado pelo sistema radicular.

7.) Economia de energia

- O sistema trabalha a baixa pressão de serviço e vazão reduzida.

8.) Redução de mão-de-obra :

- O sistema é fixo com possibilidade de automação permitindo redução de operações de manejo.

No entanto, como os demais métodos de irrigação, apresenta alguns problemas, sendo que o principal é o entupimento dos emissores. O entupimento, por sua vez, promove uma diminuição da uniformidade de distribuição de água às plantas, causando queda na produtividade da lavoura e consequentemente prejuízos.

Segundo Ravina et al (1992), todos os emissores utilizados em irrigação localizada são passíveis de entupimento por agentes físicos, biológicos e químicos presentes na água, devido ao pequeno diâmetro destes. Estes autores realizaram experimentos para avaliar a performance de diversos tipos de gotejadores largamente utilizados em Israel com uso de água residuária. Os principais agentes de entupimento foram as partículas finas de matéria aglomerada por subprodutos microbianos.

Além dos problemas relacionados ao entupimento, as raízes das plantas irrigadas pelo método de irrigação por gotejamento tendem a se concentrar na área úmida do solo (em forma de bulbo), diminuindo a estabilidade das árvores frutíferas, podendo ocorrer tombamento das mesmas em regiões sujeitas a ventos de maior intensidade.

Para que o sistema apresente uma aplicação eficiente e uniforme de água, são necessários sistemas de tratamento que retenham as partículas causadoras de obstrução dos gotejadores. A filtração é um dos possíveis tratamentos físicos da água, que previne contra os problemas relacionados ao entupimento dos emissores.

3.3. Fertirrigação

Fertirrigação é o termo atribuído à introdução e a aplicação simultânea de água e fertilizantes no solo por meio de um sistema de irrigação. Esta pode ser mineral ou orgânica, dependendo da natureza dos fertilizantes, que podem ser adubos químicos ou resíduos orgânicos. Goldberg & Shmueli (1970) e Bresler(1975) afirmam que a fertirrigação é mais indicada em sistemas de irrigação por gotejamento, seguida por sistemas de aspersão.

Embora a aplicação de produtos químicos através de sistemas de irrigação (quimigação) seja relativamente recente, a partir da década de 70 do século XX, o processo de aplicação de nutrientes junto à água, é prática adotada há centenas de anos, quando o esterco animal era lançado em canais de irrigação (Threadgill, 1985, citado por Costa et al., 1994).

A técnica de fertirrigação vem se desenvolvendo rapidamente com o aprimoramento dos sistemas de irrigação, bem como dos equipamentos utilizados para a injeção dos produtos químicos nas linhas de distribuição às culturas e da utilização de fertilizantes altamente solúveis em água.

Segundo Costa et al (1986) existe no Brasil uma necessidade muito grande em se pesquisar dosagens, tipos de fertilizantes, modo e época de aplicação, problemas relacionados ao entupimento de gotejadores, levando-se em consideração as condições diversas de aspectos climáticos e qualidade de solos e águas encontradas no país.

As principais vantagens em se utilizar a técnica da fertirrigação são:

1. Economia de mão-de-obra e energia;
2. Diminuição da compactação do solo e redução de danos mecânicos causados às culturas devido ao menor tráfego de máquinas no campo;

3. Comodidade e rapidez de aplicação: um único equipamento é responsável pela injeção dos fertilizantes a serem distribuídos em toda a área;
4. Elevada uniformidade de distribuição dos fertilizantes (tão alta quanto permita o sistema de irrigação);
5. Eficiência do uso e economia de fertilizantes;
6. Permite o controle da profundidade de aplicação;
7. Maior flexibilidade na aplicação quanto à época e estágio de desenvolvimento das plantas;
8. Maior controle e aplicação da quantidade desejada;
9. Viabiliza a aplicação de micronutrientes;
10. Menor risco de contaminação dos trabalhadores;

Por outro lado, a prática da fertirrigação apresenta as seguintes limitações e desvantagens:

1. Fertilizantes pouco solúveis não podem ser utilizados;
2. Aumento do crescimento microbiano devido à presença de nutrientes na água;
3. Promove a corrosão de equipamentos (partes metálicas);
4. Reação entre fertilizantes pode promover a formação de precipitados químicos na linha de irrigação, aumentando o risco de entupimento de emissores;
5. Risco de contaminação e envenenamento de fontes de água tais como poços subterrâneos. Deve-se utilizar sempre válvulas de retenção para prevenção deste problema.

3.4. Qualidade da água para irrigação localizada

A qualidade da água deve atender ao fim a que sua utilização está vinculada, tratando-se das esferas química, física e biológica.

As impurezas presentes na água, das mais diversas origens, conferem à água propriedades físicas e químicas, boas ou más que merecem um estudo particular para cada caso.

Na irrigação, a água de boa qualidade deve produzir melhores resultados, e causar menores danos à cultura, solo e aos equipamentos do sistema.

Para que um sistema de irrigação mantenha sua alta eficiência de aplicação de água, é necessário que sejam avaliados os aspectos físicos, químicos, biológicos e sanitários, relacionados à cultura, ao solo, e ao método de irrigação utilizado.

A água de irrigação transporta os sais dissolvidos para o solo, em seguida evapora e os sais permanecem. Se não forem adotados cuidados especiais no manejo da água, os teores de sais no solo podem atingir níveis prejudiciais às plantas (Bernardo, 1987). A salinidade do solo é provavelmente o maior problema causado pela irrigação. Os sais presentes no solo, e também na água, reduzem a disponibilidade de água às plantas e o rendimento da cultura. A salinidade pode ser expressa como uma concentração de sais em ppm (partes por milhão), ou ainda medindo-se a condutividade elétrica (CE) da água. Este segundo método apresenta maior rapidez e praticidade na determinação da salinidade do solo.

Quando se utilizam águas salinas ($CE > 1,0$ dS/m) em sistemas de irrigação por gotejamento, os rendimentos na produção das culturas são freqüentemente superiores em relação aos demais métodos, já que nestes a água está mais disponível às plantas (maior teor de água no solo).

Quando a salinidade de um solo atinge níveis prejudiciais às culturas, é necessário lixiviar os sais para profundidades superiores ao sistema radicular das mesmas. No caso da irrigação por gotejamento, a aplicação direta da água na região das raízes das plantas, causa o lixiviamento dos sais para profundidades maiores, onde as raízes não estão presentes. Já no caso de irrigação por aspersão, observa-se uma uniformidade de níveis salinos por todo o solo, sendo que o máximo de concentração salina, ocorre justamente na profundidade do sistema radicular das plantas .

A água utilizada na agricultura irrigada, em geral, necessita de um tratamento para melhorar sua qualidade, podendo ser físicos e químicos.

O processo de irrigação por gotejamento está intimamente relacionado com a qualidade da água utilizada. Água com impurezas em suspensão, ocasiona constantes entupimentos em gotejadores ou microaspersores, e conseqüentes interrupções na irrigação,

promovendo queda no rendimento ou até a morte das plantas, daí a necessidade da utilização de filtros.

As principais causas de entupimento dos sistemas de irrigação localizada são devido às impurezas físico-químicas e biológicas. O Quadro 1, proposto por Nakayama & Bucks et al (1986), apresenta os principais elementos que comumente causam o entupimento dos emissores dos sistemas de irrigação localizada.

Quadro 1: Elementos físicos, químicos e biológicos que produzem obstruções nos sistemas de irrigação localizada.

FÍSICOS (SÓLIDOS EM SUSPENSÃO)	QUÍMICOS (PRECIPITAÇÃO)	BIOLÓGICOS (BACTÉRIAS E ALGAS)
1 - Partículas inorgânicas (a) Areia (b) Silte (c) Argila (d) Plástico 2- Partículas orgânicas (a) Plantas aquáticas (fitoplankton/algas) (b) Animais aquáticos (zooplankton) (c) Bactérias	1 - Carbonatos de Ca e Mg 2 - Sulfato de Ca 3 - Metais pesados nas formas de: (a) hidróxidos (b) carbonatos (c) silicatos (d) sulfetos. 4 – Óleos ou outros lubrificantes 5 – Fertilizantes: (a) Fosfato (b) Amônia líquida (c) Fe, Cu, Zn e Mn	1 - Filamentos 2 - Lodo 3 - Depósitos microbianos (a) Ferro (b) Enxofre (c) Manganês

Fonte: Adaptada a partir de Bucks & Nakayama (1986).

A concentração dos elementos físicos de origem inorgânica que promovem a obstrução de gotejadores depende da natureza da fonte de água. Águas superficiais correntes (rios) apresentam maior concentração de sólidos em suspensão que águas paradas (lagos, açudes).

Em águas com elevada concentração de íons bicarbonato, há tendência para precipitação de Cálcio e Magnésio, sob a forma de Carbonatos ou Sulfatos. A precipitação destes sais é favorecida num ambiente de alta temperatura e pH da água.

A formação de sais insolúveis como resultado de reações químicas no interior dos gotejadores ou das linhas laterais de irrigação promove a obstrução dos emissores. O carbonato de cálcio é um dos principais sais formados e responsável pela obstrução de

gotejadores. Verifica-se que para prevenção deste tipo de entupimento, a melhor solução é através do controle do pH da água.

O carbonato de cálcio, segundo Nakayama & Bucks (1986), em águas com pH maior que 8, encontra-se na forma insolúvel. Com ligeira diminuição deste valor pode-se torná-lo solúvel de forma a evitar problemas de entupimento. O ideal é que o pH da água esteja próximo de 6,5.

A oxidação do Ferro também causa problemas de entupimento dos gotejadores. Este elemento também contribui para a formação de mucilagens, produzidas por ferrobactérias. Problemas sérios de entupimento podem ocorrer com o desenvolvimento destas, que transformam o ferro solúvel em insolúvel, na forma de hidróxido férrico, criando filamentos que se agregam formando partículas potencialmente obstrutivas. As ferrobactérias filamentosas que interagem com o ferro através de processos oxidativos são dos gêneros: *Gallionella sp*, *Leptothrix sp*, *Sphaerotilus sp*, *Pseudomonas sp* e Enterobactérias. Na prática, qualquer água que contenha concentrações maiores que 0,5 mg/L de ferro total, não pode ser utilizada em sistemas de irrigação por gotejamento a menos que haja tratamento químico (Bar, 1995).

A literatura menciona que águas que contenham concentrações superiores a 4,0 mg/L não podem ser eficientemente tratadas com processos químicos apenas. Devem ser utilizados sedimentadores anteriormente à captação da água. (Bar, 1985).

Em águas que contenham Sulfetos, principalmente o Sulfeto de Hidrogênio, pode ocorrer a formação de lodo de Enxofre, da mesma maneira que a ferrugem. Estes compostos estão presentes, com maior frequência, em águas subterrâneas.

A fertirrigação aliada ao sistema de irrigação por gotejamento propicia um maior desenvolvimento de organismos tais como algas, fungos e bactérias, pois há excesso de nutrientes na água.

Além dos problemas relacionados ao entupimento dos emissores, observa-se que pode haver corrosão das tubulações, especialmente quando se utiliza água subterrânea.

Segundo Roman (1999), as bactérias quando presentes na água de irrigação podem causar odor, mudanças na cor, resultar em precipitados e formação de limo. Os problemas de entupimento relacionados ao crescimento de bactérias potencializam-se quando existem fontes de alimentos minerais e ocorrem rapidamente nestas circunstâncias.

A presença de algas promove um aumento na turbidez da água e causa uma rápida obstrução nos filtros de irrigação. Algas mortas servem como fonte de alimento para bactérias e ainda promovem o entupimento de gotejadores.

Os materiais suspensos na água de maneira geral, podem ainda provocar abrasão nos componentes do sistema de irrigação, criando locais ideais para o desenvolvimento de microorganismos.

O Quadro 2 propõe uma classificação da água de irrigação segundo as concentrações dos elementos passíveis de obstruir os emissores.

Quadro 2: Risco potencial de obstruções segundo qualidade da água de irrigação.

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

Fonte: Bucks & Nakayama (1986).

Torna-se de fundamental importância, uma análise detalhada da água de irrigação, a fim de se determinar sua qualidade, e principalmente, dimensionar os sistemas de tratamento da água de irrigação. É importante considerar possíveis flutuações das concentrações dos diferentes elementos presentes na água durante o período de irrigação, principalmente em águas superficiais.

3.5. Filtração da Água

A filtração é a remoção de sólidos suspensos dissolvidos, coloidais e em suspensão, através da passagem da água por um meio poroso. Durante o processo de filtragem ocorrem os seguintes fenômenos: adsorção, sedimentação, coagem e floculação.

A adsorção é a retenção de substâncias removidas pela superfície das partículas materiais constituintes do meio filtrante.

A sedimentação é a remoção, pela ação da gravidade, de minúsculas partículas existentes na água localizada nos poros do meio filtrante que se comportam neste caso como se fossem minúsculos decantadores.

A coagem é a retenção de partículas de dimensão superior à abertura dos poros.

A floculação ocorre no interior dos poros, durante o escoamento da água, devido à turbulência que provoca mistura em seu interior.

As atividades agrícolas, assim como qualquer atividade econômica, visam a maximização da produção e do lucro, e a minimização dos custos relativos. Verifica-se com frequência, que o investimento em um setor de produção ou operação resulta na economia em outras áreas. A filtração para irrigação por gotejamento é um bom exemplo desta afirmação.

Atualmente existem diversas opções para sistemas de filtração da água utilizada na irrigação. No entanto, em última instância, a qualidade da água é que determinará efetivamente a performance do sistema de filtração e, a longo prazo, de todo o sistema de irrigação por gotejamento.

O material em suspensão presente na água de irrigação, tais como algas, areia, silte, entre outros, devem ser removidos com eficiência para não ocasionar queda na performance do sistema de irrigação. A filtração com baixa eficiência resulta em maior uso de mão-de-obra, manutenção de equipamentos e diminuição da vida útil dos componentes do sistema, de forma a elevar os custos com reposição de materiais.

A qualidade da água pode variar consideravelmente em função da estação do ano. Portanto, o sistema de filtração deve ser dimensionado para a situação mais crítica de operação.

Como não há recomendações dos fabricantes de gotejadores quanto ao grau requerido de filtração da água de irrigação, na prática, adota-se que partículas com diâmetro de até 5 a 10 vezes menor que o diâmetro do emissor presente nas linhas laterais devem ser retidas pelo filtro. Embora essas partículas sejam até 10 vezes inferiores ao diâmetro dos gotejadores, essas podem se agrupar formando unidades de diâmetro capaz de obstruí-los, especialmente na presença de material orgânico.

O uso de filtros para irrigação localizada tem sido amplamente recomendado. O desempenho do sistema de irrigação será tanto melhor, quanto maior for a eficiência dos filtros na remoção de impurezas da água. Assim sendo, a avaliação dos diferentes tipos de filtros tem sido importante para se estabelecer sua eficiência e melhorar seu desempenho.

Quando a qualidade da água é muito ruim, dois ou mais filtros em série devem ser adotados.

Para a escolha do melhor sistema de filtração, deve-se considerar a pressão de funcionamento do sistema, perda de carga que acarreta, necessidade de limpeza e vazão de funcionamento. Recomenda-se a limpeza dos filtros no máximo a cada período de aplicação, ou quando a perda de carga localizada nestes atingir 40 kPa.

Diferentes tipos de filtros têm sido usados para minimizar os problemas de entupimento dos gotejadores. A maioria deles foram baseados no mecanismo de filtração cujos poros do filtro são menores que a maioria das partículas que estão sendo filtradas.

Os filtros comumente utilizados em irrigação localizada são filtros de areia, tela metálica e disco. Estes podem ocorrer isolados ou combinados. Os diferentes tipos de filtros são efetivos, cada qual, para retenção de partículas de diferente natureza e tamanho, taxas de filtração específica e capacidade de sedimentação e coleta.

Matsura et al (1989) citam que o objetivo da filtração da água é remover sólidos em suspensão, em função da necessidade de utilização da água, evitando assim a obstrução dos emissores e a desuniformidade de distribuição de água às culturas irrigadas.

3.5.1. Filtro de Disco

O principal objetivo do filtro de disco é reter a passagem de partículas sólidas inorgânicas suspensas, de menor diâmetro que a abertura de seus poros, contidas na água de irrigação. Em geral, possuem forma cilíndrica, constituindo-se de um recipiente metálico ou plástico, com o elemento filtrante constituído por um conjunto de anéis estriados, empilhados ao redor de um cilindro telescópico. Os discos possuem ranhuras em ambos os lados, de forma que as adjacentes se unem quando os anéis são empilhados e apertados juntos, resultando em malhas de até 200 mesh (abertura dos poros de 0,074 mm). O

elemento telescópico é de fácil limpeza pois quando aberto os discos se soltam e podem ser facilmente lavados em água corrente.

A filtração nos filtros de disco acontece em dois estágios: a superfície maior externa opera como um filtro de tela e retém as partículas maiores. As ranhuras no interior dos discos permitem a adesão das partículas mais finas, principalmente matéria orgânica.

O tamanho dos orifícios e a área total do elemento filtrante determinam a eficiência e os limites operacionais do sistema.

Segundo Vermeiren & Jobling (1980), geralmente nos sistemas de irrigação por gotejamento, os filtros de disco estão instalados depois dos filtros de areia e dos sistemas injetores de fertilizantes. No entanto, estes filtros não são apropriados para a retenção de todo material orgânico (algas, fitoplânctons e zooplânctons) presentes na água de irrigação.

3.5.2. Uso de manta sintética não tecida como elemento filtrante

A necessidade de se aprimorar sistemas de filtração para o tratamento de águas de abastecimento, levou alguns pesquisadores como Mabwette & Graham (1987) e Paterniani (1991), a realizarem investigações experimentais com a utilização de mantas sintéticas não tecidas instaladas no topo da camada de areia de filtros lentos. Desde então, os filtros de mantas sintéticas não tecidas estão sendo amplamente recomendados para a remoção de impurezas do ar e na filtração lenta de água para abastecimento.

Segundo Paterniani (1991), as mantas sintéticas não tecidas apresentam grande potencial de filtração e podem ser utilizadas em filtros rápidos.

Cruz (1996), realizou diversos ensaios experimentais introduzindo numa instalação de irrigação localizada uma mistura de água com areia, para simular a contaminação da água. Foi empregada uma mistura de água e areia de granulometria variando de 53 a 152 μ m, sendo que a concentração de areia na água de irrigação variou de 70 a 300 mg/L .

Operando filtros de tela e disco de 120 *mesh*, e de manta, com vazões que variaram de 6, 9 e 12 m³/h, Cruz (1996), obteve resultados que mostraram uma eficiência média de remoção de partículas de areia da ordem de 15 a 25 % pelo filtro de manta contra uma percentagem média de remoção de 2 a 10 % nos filtros de tela e de disco.

Além disso Cruz (1996), observou que o filtro de manta quando operado com uma vazão de $9 \text{ m}^3/\text{h}$ demorava cerca de 75 minutos para ter sua perda de carga elevada de 0,5 a 3,7 mca., enquanto que os filtros de tela e disco levavam cerca de 58 minutos para alcançar a mesma perda de carga. Tal resultado confere ao filtro de manta maior vantagem do que os filtros de tela e de disco quanto ao tempo de funcionamento entre operações de limpeza.

Adicionando a estes resultados Cruz (1996), observou também que os filtro de tela e disco deixavam passar uma quantidade de areia fina 10 vezes maior, durante um ensaio, do que o filtro de manta.

A pesquisa realizada por Cruz (1996), pioneira no uso de manta sintética não tecida em filtros para irrigação localizada, comprovou a viabilidade de se empregar este meio filtrante para tal finalidade, atribuindo assim, uma nova alternativa de material filtrante para tornar a água de irrigação de melhor qualidade.

As mantas sintéticas não tecidas são compostas de três materiais básicos : o polipropileno, a poliamida e o poliéster. O que diferencia uma da outra é a proporção entre estes materiais, o diâmetro médio das fibras, espessura e gramatura (g/m^2).

Paterniani (1991) afirma que a alta porosidade das mantas sintéticas não tecidas (cerca de 80% a 90%, contra 45% da areia), condutividade hidráulica, superfície específica e espessura, conferem às mantas requisitos excelentes para sua utilização como meio filtrante. Além disso as mantas não se deterioram na água e são fáceis de serem limpas.

Desta forma, torna-se interessante o estudo aprofundado sobre a utilização de materiais alternativos, como as mantas sintéticas não tecidas, nos filtros de irrigação por gotejamento, a fim de melhorar a eficiência na retenção de sólidos em suspensão da água.

Cruz (1996), cita em seu trabalho que existem pelo menos duas maneiras de se estudar a eficiência de filtros: a) pela medida do aumento da perda de carga ao longo do tempo, devido à retenção de impurezas no meio filtrante; b) medindo-se a concentração de impurezas nas amostras de água coletadas antes e depois do filtro.

Em qualquer um dos casos citados acima é importante se conhecer as características da água em que está sendo utilizada no experimento.

Nakayama e Bucks (1986), definem como sendo três os parâmetros mais importantes na avaliação do desempenho dos filtros num sistema de irrigação localizada:

eficiência de remoção de impurezas, perda de carga ou diferencial de pressão e entupimento dos emissores (indicação indireta).

3.5.3. Automatização de filtros

De acordo com Alexanian (2000) cerca de 95% dos filtros de areia utilizados na agricultura norte americana são automatizados. Os filtros de discos ou de tela também ocorrem automatizados mas em menor porcentagem.

O controlador de retrolavagem monitora continuamente a área de filtragem pelo acúmulo de material, e quando o filtro retém mais partículas que o determinado, o sentido do fluxo se inverte, ocorrendo a limpeza do filtro. Esses controladores são compostos de medidores diferenciais de pressão eletricamente ligados ao painel de controle e hidraulicamente conectados ao filtro. Quando a perda de carga no filtro supera o limite ajustado, é comandado o fechamento da válvula de entrada, a inversão do fluxo e abertura da válvula de limpeza. A retrolavagem também pode ser acionada por tempo, caso haja problemas com os medidor diferencial de pressão.

A automatização do processo de limpeza é mais importante em filtros de tela e discos, pois necessitam de retrolavagem mais rápidas e com mais frequência em relação aos filtros de areia.

3.6. Tratamento Químico da água

Um outro tratamento que se faz visando melhorar a qualidade da água, é o tratamento químico. Este tem por objetivo um controle sob os aspectos químicos, biológicos, e fitossanitários da água de irrigação, com a adição de produtos químicos próprios. Previne a precipitação de carbonatos e óxidos, a decomposição da matéria orgânica e o crescimento de microorganismos como algas e bactérias.

Existem diversas maneiras de se efetuar o tratamento químico da água em função dos objetivos e necessidades do mesmo.

A utilização dos filtros comumente utilizados na irrigação localizada (areia e/ou disco ou tela), não apresenta eficiência na retenção de dissolvidos (sais relacionados à fertirrigação) que causam o entupimento dos emissores.

Os tratamentos químicos usuais são: acidificação, para combate das precipitações de cálcio e ferro; cloração, para o controle de algas e bactérias.

Segundo Meyer (1985), os finais de linha, em seus pontos mais baixos, devem ser inspecionados anualmente. As linhas laterais de gotejadores devem ser abertas e os precipitados coletados e analisados. Precipitados de aparência ferrugem indicam a presença de ferro, algas são brilhantes e pretos.

English (1985) afirma que para combate de algas, pode-se utilizar sulfato de cobre. No entanto esta substância não deve ser empregada em sistemas que contenham bombas de alumínio. As algas podem ser até mesmo controladas nos reservatórios de irrigação. O sulfato de cobre pode ser distribuído em diversos pontos, em botes equipados com bóias, ou ainda distribuído sobre toda superfície da água.

3.7. Injeção de produtos químicos

A injeção de produtos químicos é uma componente fundamental do sistema de irrigação por gotejamento. Descargas controladas de produtos químicos devem ser introduzidas no fluxo da tubulação principal para manter concentrações desejadas.

Sistemas de proteção contra inversão de fluxo, tal qual válvula de retenção, são obrigatórios para evitar a contaminação de fontes de água. Os próprios sistemas de injeção também devem ter válvula para controle da inversão de fluxo evitando assim que haja transbordamento do tanque com solução causando qualquer tipo de impacto ambiental.

A Figura 1 ilustra o esquema dos diferentes tipos de injeção de produtos químicos via água de irrigação.

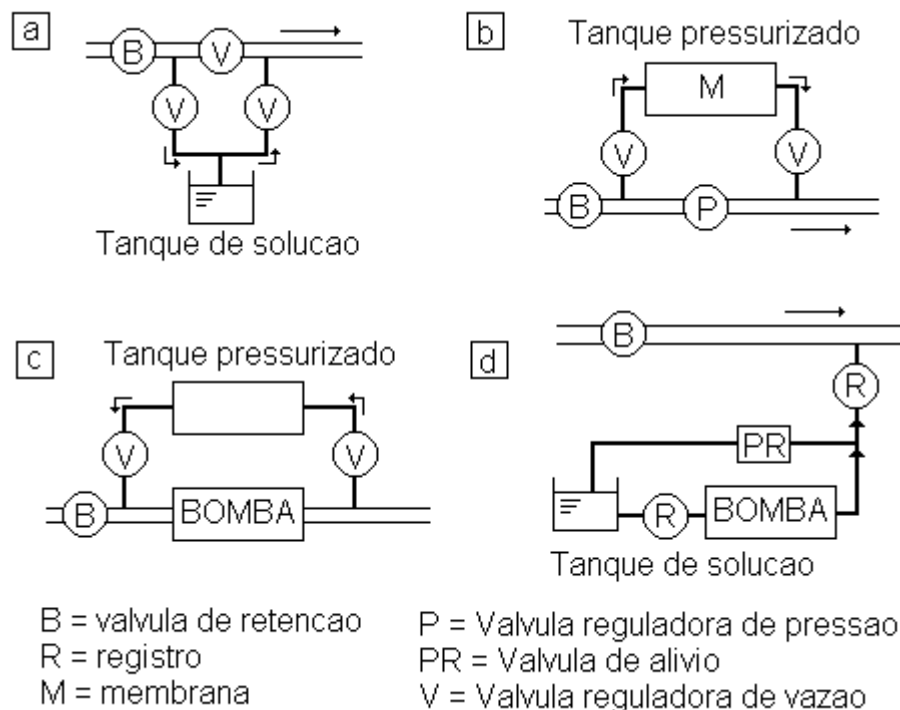


Figura 1 – Esquema dos tipos de injeção de produtos químicos na linha de irrigação

O tubo venturi (Figura 1-a) é um sistema de baixo custo e simples de ser manejado. A injeção ocorre quando se provoca uma perda de carga na linha principal através do registro instalado. A taxa de injeção do produto neste dispositivo é dependente da perda de carga localizada que, por sua vez, é função da vazão, e da altura do reservatório da solução. No entanto, quando se faz necessária a aplicação de produtos químicos a uma determinada concentração (fungicidas, nematicidas, etc), então uma bomba proporcional ou de deslocamento positivo é necessária.

No sistema representado pela Figura 1-b, parte da pressão da linha e vazão promovem a injeção da solução de um tanque, porém cada vez mais diluída. Na tentativa de melhorar este sistema, desenvolveram-se tanques que possuem membranas internas que impedem o contato direto da água com a solução, e a injeção se dá por meio da pressão da água sobre a membrana.

No esquema representado pela Figura 1-c, uma bomba na linha de irrigação promove a injeção da solução instalada entre a sucção e a saída da bomba. Neste caso, a

bomba deve ser de material tal que não seja passível de danos provocados pela ação corrosiva dos produtos químicos injetados.

As bombas de deslocamento positivo (Figura 1-d), do tipo pistão ou diafragma, podem ser utilizadas na injeção. Promovem pressões maiores que a da linha de irrigação. O ajuste nessas bombas permite a injeção desejada segundo a taxa necessária. Esta pode ser medida por meio de rotâmetros.

Independentemente do sistema de injeção selecionado, é fundamental que os equipamentos sejam calibrados antes de entrar em operação. Devem ser feitas ainda, verificações constantes do funcionamento dos equipamentos.

3.8. Medidas práticas de controle para evitar o entupimento dos gotejadores

Práticas de manutenção preventivas incluem filtração de água, inspeção de campo, lavagem dos tubos e tratamentos químicos da água. A filtração e as inspeções de campo são fundamentais.

Conhecidas as causas do entupimento, medidas preventivas e de controle podem ser tomadas.

Existem algumas medidas práticas que visam minimizar o problema das obstruções em sistemas de irrigação localizada, tais como:

- 1°. Na fertirrigação, é recomendável que se faça uma primeira e uma última aplicação de água sem fertilizantes com o objetivo de diminuir a formação de precipitados;
- 2°. Ao se misturar dois ou mais tipos de fertilizantes comprovar a compatibilidade entre eles. De maneira prática pode-se misturá-los num pequeno recipiente e observar a formação ou não de precipitados;
- 3°. Os tubos de polietileno, as cintas de gotejamento e os gotejadores são, em geral, pretos, dificultando o desenvolvimento de algas e bactérias. Quando os materiais não são desta cor, devem ser enterrados;
- 4°. Pelo menos uma vez em cada 6 meses deve-se proceder a limpeza das tubulações, abrindo-se seus extremos e deixando-se a água correr.

3.9. Hidráulica dos gotejadores

As características hidráulicas dos gotejadores são resultantes das características de acabamento das partes internas, do projeto do gotejador, do material utilizado na fabricação e do método de instalação.

A equação geral de emissores que relaciona a vazão de descarga do mesmo em função da pressão de serviço na linha de irrigação é dada por:

$$q = K.H^X \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde :

q = vazão (m³/s);

K = coeficiente de proporcionalidade (adimensional);

H = pressão de serviço (mca);

x = expoente que caracteriza o regime de fluxo no emissor (adimensional).

Segundo Keller & Karmeli (1974) a equação que descreve a vazão em um gotejador depende do percurso da água ao longo do mesmo, diâmetro de emissão, pressão de serviço e viscosidade do fluido. Estes mesmos autores afirmam que, dentro de um limite de vazão, o fluxo do gotejamento pode ser caracterizado pela Equação 1. Nesta equação, o valor de x caracteriza o regime de fluxo e a relação da vazão com a pressão de serviço do gotejador. Desta forma, quanto menor o valor de x, menor o efeito da variação da pressão sobre a vazão.

Para Keller & Karmeli (1975) os gotejadores de longo percurso de saída apresentam regime laminar, podendo apresentar o expoente x igual a 1,0. Isto significa que, nestes gotejadores, a relação entre vazão e pressão é linear. Os gotejadores de orifício, em geral, têm regime de fluxo turbulento, sendo a vazão proporcional à raiz quadrada da pressão, isto é, x = 0,5. Nos gotejadores que apresentam sistema auto-compensante, o valor de x é menor que 0,5 chegando atingir um valor próximo de zero em seu melhor funcionamento. Desta forma, para qualquer valor de pressão de serviço, a vazão será sempre constante.

Segundo Bralts et al. (1981), o valor do fator de proporcionalidade da equação de fluxo do emissor (K) é determinado pelos fatores relacionados com a fabricação do

emissor, como por exemplo o coeficiente de descarga e a área da seção transversal dos emissores tipo orifício.

3.10. Parâmetros para avaliação da uniformidade de distribuição da água

A uniformidade de distribuição em um sistema de irrigação por gotejamento é afetada pela perda de carga, declividade da tubulação e características hidráulicas dos emissores usados para distribuição de água. As características hidráulicas dos emissores incluem os efeitos de pressão, temperatura, qualidade da água entre outros fatores, na relação de vazão dos gotejadores. Com o tempo aparecerão também os efeitos do entupimento dos emissores.

Para Wu & Gitlin (1974) a uniformidade de aplicação de água na linha lateral está relacionada com a variação na vazão dos emissores que é função do comprimento da linha lateral e pressão de entrada, espaçamento dos gotejadores e da razão de fluxo total. Howell & Hiller (1974) afirmam que essa variação é devida à variação hidráulica, causada pelas perdas de carga por atrito ao longo da tubulação e na inserção dos gotejadores, a ganhos e perdas de energia de posição, coeficiente de variação de fabricação, a obstruções e efeitos da temperatura da água sobre o regime de escoamento e à geometria do gotejador.

A uniformidade de distribuição de água às plantas é fundamental para a obtenção da máxima produtividade da lavoura e/ou rentabilidade. Baixa uniformidade significa que há sobra de água em certos pontos do campo e falta em outros. Para atender as necessidades hídricas das plantas localizadas em posição crítica, aumenta-se o consumo de água utilizada na irrigação da área. Desta forma, pode-se afirmar que quanto maior o valor do coeficiente de distribuição de água de um sistema, menores serão as lâminas aplicadas para se atingir uma máxima produção.

Para determinação da uniformidade de distribuição de água em sistemas de irrigação por gotejamento, deve-se medir a vazão de um determinado número de emissores e diversas linhas laterais e eventualmente a pressão de serviço no início das linhas em função da metodologia a ser adotada.

Existem diversos coeficientes para se determinar a uniformidade de distribuição de água em linhas de gotejamento. Merriam & Keller (1975) propuseram um método de obtenção da uniformidade de distribuição dada pela Equação 2:

$$EU = \frac{q_{25}}{\bar{q}} \times 100 \quad \text{(Eq. 2)}$$

Onde:

EU – uniformidade de emissão (%);

q_{25} – vazão média dos 25% menores valores (L/h);

$\bar{q}$ - vazão média total (L/h);

Já Smajstria (1990) propõe que a uniformidade de distribuição pode ser obtida através de métodos estatísticos, sendo calculada a partir da Equação 3:

$$U_s = 100 \times (1 - cv) \quad \text{(Eq. 3)}$$

Onde:

U_s – uniformidade estatística de emissão (%);

cv – coeficiente estatístico de variação de vazão dos emissores (%);

$$cv = \frac{s}{\bar{q}} \quad \text{(Eq. 4)}$$

Onde:

s – desvio padrão da média da vazão dos emissores (L/h);

$\bar{q}$ - vazão média total (L/h);

Na Equação 4 o valor de "cv" inclui a variação da vazão dos emissores devido a todas possíveis causas, incluindo os efeitos da tubulação, das características hidráulicas dos emissores e da obstrução parcial ou total dos mesmos.

A Equação 3 mostra que, quanto maior a variação dos valores de vazão dos emissores, menor será a uniformidade de aplicação. O Quadro 3 mostra a classificação dos sistemas de irrigação localizada de acordo com o valor de uniformidade de distribuição estatística (U_s) proposta pela American Society of Agricultural Engineers (ASAE), (1989).

Quadro 3: Classificação dos sistemas de irrigação por gotejamento segundo a Uniformidade Estatística de Emissão (Us).

CLASSE	UNIFORMIDADE, Us (%)
Excelente	Acima de 90
Bom	90 – 80
Razoável	80 - 70
Ruim	70 - 60
Inaceitável	Abaixo de 60

Fonte: ASAE, 1989.

Capra & Tamburino (1995), para determinar a uniformidade de emissão, definiram a Relação das Vazões Médias dos Gotejadores (D_{ra}) como sendo:

$$D_{ra} = 100 \sum \frac{D_r}{n} = 100 \frac{\sum \frac{q_f}{q_c}}{n} \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

D_{ra} = relação das vazões médias dos gotejadores (%);

D_r = relação das vazões de cada gotejador testado (adimensional);

q_f = vazão medida no campo de cada gotejador testado (L/h);

q_c = vazão calculada de cada gotejador, quando submetido a pressão em que foi testado (L/h);

n = número de gotejadores testados.

Para Merriam & Keller (1978) a uniformidade de distribuição da água é um fator importante a ser determinado, a fim de relacionar a eficiência de aplicação com o melhor espaçamento entre linhas.

Vermeiren & Jobling (1980) afirmam que a uniformidade do emissor é usada no procedimento de projeto, utilizando a eficiência para calcular a lâmina total de irrigação, o intervalo de irrigação e a seleção do tipo de emissor.

Keller & Karmeli (1978), depois aprimorados por Capra & Tamburino (1995), definiram o Coeficiente de Uniformidade de Emissão (Eu) como:

$$E_u = 100 \left(\frac{D_{r1/4\min}}{D_{ra}} \right) \left(\frac{H_{\min}}{H_a} \right)^x \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

E_u = coeficiente de uniformidade de emissão (%);

$D_{r1/4\min}$ = relação das vazões de cada um dos 25% menores valores de vazão dos gotejadores testados (adimensional);

$H_{\min}$ = menor pressão de serviço medida no campo (mca);

H_a = pressão de serviço média medida no campo (mca);

x = expoente que caracteriza o regime de fluxo no emissor (adimensional);

D_{ra} = relação das vazões médias dos gotejadores (adimensional).

Deste modo o coeficiente de uniformidade de emissão (E_u) permite que sejam considerados separadamente os efeitos da variação de pressão no campo e o entupimento dos gotejadores, de modo que quando 25% dos gotejadores estiverem totalmente entupidos E_U será igual à zero.

Um outro índice utilizado para quantificar o entupimento dos gotejadores foi proposto por Capra & Scicolone (1998) e utilizado por Resende (1999). É denominado de porcentagem estatística total e parcial de entupimento dos gotejadores (ns), definido pela Equação 7:

$$ns = \frac{n_{1/4}}{n} \cdot 100 \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde:

$n_{1/4}$ = número de gotejadores que satisfazem a Equação 8:

$$q_f \leq q_c (1 - 1,27 CVf) \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde:

q_f = vazão medida no campo de cada gotejador testado (L/h);

q_c = vazão calculada de cada gotejador, quando submetido a pressão em que foi testado (L/h);

CVf = coeficiente de variação de fabricação (%).

O termo $(1 - 1,27CVf)$ é um ajuste da desuniformidade causada por variações na fabricação dos gotejadores.

O Quadro 4 mostra a classificação de alguns índices de uniformidade de distribuição de água para sistemas de irrigação localizada de acordo com trabalho desenvolvidos por Capra e Scicolone (1998).

Quadro 4: Classificação de diferentes índices de uniformidade, segundo Capra & Scicolone (1998).

ÍNDICE DE UNIFORMIDADE	CLASSIFICAÇÃO		
	Baixo	Médio	Alto
U_s (%)	< 71	71 - 89	> 89
E_u (%)	< 66	66 - 84	> 84
D_{ra} (%)	< 61	61 - 79	> 79
n_{tc} (%)	> 4	1 - 4	0

Fonte Capra & Scicolone, 1998.

Obs: n_{tc} é o número total de gotejadores totalmente entupidos (%).

A performance dos sistemas de irrigação localizada pode ser avaliada através de medidas da pressão de serviço, taxas de aplicação (vazão) e uniformidade de aplicação de água.

Em geral, alta uniformidade de distribuição significa que todas as plantas na zona irrigada vão receber a mesma quantidade de água num determinado tempo.

Segundo trabalho de pesquisa realizado por Bralts & Kesner(1983), para determinar a uniformidade de distribuição de água no campo, determina-se a vazão dos gotejadores através do método volumétrico. Ou seja fixa-se um tempo necessário para encher um recipiente de água com volume conhecido. Neste trabalho os pesquisadores recomendam medições de vazão de no mínimo 18 gotejadores escolhidos aleatoriamente, na área irrigada.

Este estudo permitiu o desenvolvimento de um nomograma estatístico de uniformidade, baseado num coeficiente estatístico de variação que pode ser usado para determinar a uniformidade de aplicação de água no campo (Figura 2).

Se o resultado não é satisfatório, recomenda-se que mais de 18 gotejadores sejam avaliados para aumentar o nível de confiabilidade da medida de uniformidade. Segundo os autores, o teste de uniformidade deve ser feito a cada 6 meses nos sistemas de irrigação localizada.

Baixos valores de uniformidade podem ser decorrentes de fatores como: diâmetro das tubulações impróprias, pressão de serviço muito alta ou baixa, emissores não apropriados para o sistema projetado, emissores entupidos, mudanças nos componentes do sistema ou desgaste dos mesmos e mudanças na pressão de saída da bomba.

Para cálculo deste índice, adotou-se a metodologia proposta por Bralts & Kesner (1983). Estes autores definem o seguinte procedimento:

- Determina-se quantas medidas representam $1/6$ do total. Por exemplo, se o total são 18 medidas, este número é 3.
- Somam-se as 3 menores medidas de tempo e marca-se a soma no eixo x do nomograma (Figura 2). As medidas de tempo referem-se ao tempo necessário para emissão de um volume pré-determinado de água pelos gotejadores.
- Somam-se as 3 medidas maiores de tempo e marca-se a soma no eixo y do nomograma.
- Se as somas não se encaixarem na escala, ou se o valor é muito baixo, a leitura fica prejudicada, então as somas podem ser divididas ou multiplicadas por um fator comum.

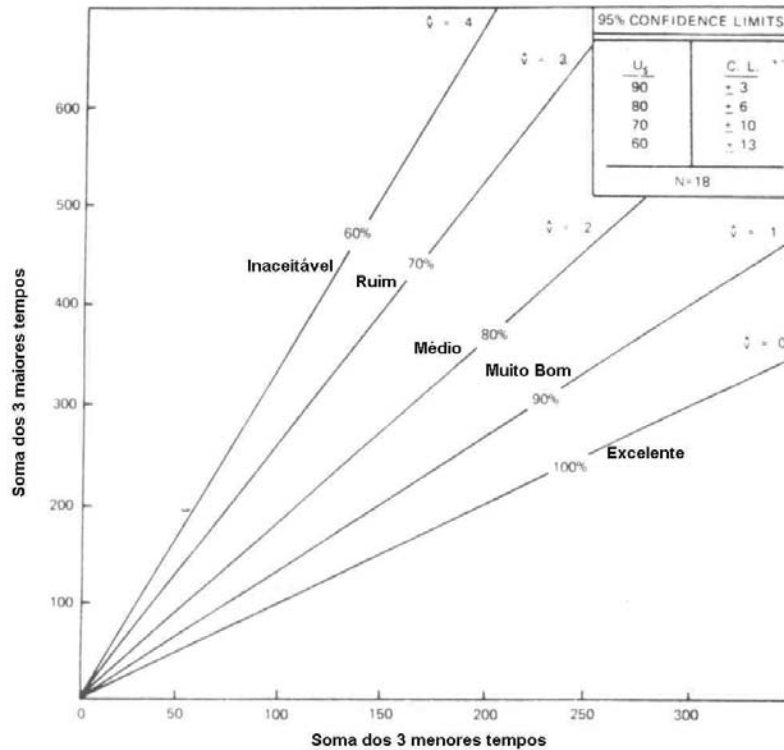


Figura 2 - Nomograma para avaliação da uniformidade de distribuição de água (Bralts & Kesner, 1983).

3.11. Coeficiente de Variação de Fabricação

O coeficiente de variação de fabricação é um índice que informa a variação da vazão para uma determinada amostra de gotejadores novos. É decorrente do projeto do gotejador, material utilizado em sua fabricação e a precisão com que o gotejador é fabricado. Segundo Keller & Bliesmer (1990), seu valor é dado por:

$$CV_f = \frac{s}{\bar{q}} \times 100 \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde:

CVf – coeficiente de variação de fabricação (%);

s – desvio padrão da média da vazão dos emissores (L/h);

$\bar{q}$ - vazão média a determinada pressão e temperatura padrão (L/h).

Existem diversas propostas de classificação do coeficiente de fabricação dos emissores. No Brasil as mais utilizadas são as formuladas por Solomon (1979) e Abreu et al. (1987). Os Quadros 5 e 6 contêm ambas classificações.

Quadro 5: Classificação do coeficiente de variação de fabricação de emissores, segundo Solomon (1979).

CVf (%)	UNIFORMIDADE DE FABRICAÇÃO
Até 3	Excelente
4 a 7	Média
8 a 10	Marginal
11 a 14	Pobre
Acima de 15	Ruim

Fonte: Solomon (1979).

Uma classificação mais atual é mostrada no Quadro 6, desenvolvida por Abreu et al. (1987), em que os emissores são separados em dois grupos e classificados.

Quadro 6: Classificação do coeficiente de variação de fabricação de emissores, segundo Abreu et al. (1987).

CVf (%)	UNIFORMIDADE DE FABRICAÇÃO
Grupo 1 – Gotejadores miniaspersores e difusores	
Até 5	Bons
5 a 10	Médios
10 a 15	Deficientes
Acima de 15	Inaceitável
Grupo 2 – Tubo gotejadores ou mangueiras de gotejamento	
Até 10	Bons
10 a 20	Médios
Acima de 20	Inaceitável

Fonte: Abreu et al (1987).

A norma ISO 9260 considera que para a determinação do coeficiente de variação de fabricação dos emissores deve-se ensaiar no mínimo 10 gotejadores em laboratório, podendo ocorrer uma variação de até 2 % na pressão e vazão ensaiada.

Testezlaf & Campioni (1993) em ensaios do tubo gotejador “Queen Gil”, com percurso de descarga da água do tipo labirinto, espaçados de 30 cm, encontraram um coeficiente médio de 2,8%, comprovando que o material ensaiado tinha uma boa qualidade de fabricação. Já Schmidt (1995), em estudos que utilizaram o mesmo tubo gotejador, encontrou para a pressão de 66,7 kPa e temperatura média de 30°C, uma vazão média dos emissores de 1,33 L/h, com um coeficiente de variação de 3,11%.

Em outro estudo deste parâmetro, Vieira (1996) encontrou um coeficiente de variação de 1,97%, com a pressão variando de 20 a 100 kPa., para tubo gotejadores “Rain Tape TPC”.

Entretanto, Resende (1999) afirma que o atual desenvolvimento dos processos de fabricação diminuiu consideravelmente a influência deste fator sobre a uniformidade de distribuição de água, sendo então mais recomendada a utilização de coeficientes de uniformidade que levam em consideração a performance dos gotejadores no campo.

IV - MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Instalação Experimental

4.1.1. Local

O experimento foi desenvolvido no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, Estado de São Paulo.

Campinas localiza-se na latitude 23° 53' S e longitude 47° 04' W. O clima da região é classificado como subtropical de altitude, apresentando como características gerais, altas temperaturas e intensa precipitação pluviométrica na estação de verão, e baixa umidade relativa do ar na estação de inverno. O valor médio de precipitação anual é de 1370 mm e a temperatura média anual é de 21,7°C, com umidade relativa do ar de 66,2%, conforme dados fornecidos pela seção de Climatologia Agrícola do Instituto Agrônômico de Campinas (IAC).

O reservatório de água utilizado na pesquisa foi concebido para a irrigação do Campo Experimental da Faculdade. Este constitui-se de um reservatório com capacidade para 900 m³, que é abastecido pelo bombeamento de água de uma represa construída dentro do Campus Universitário da UNICAMP, onde ocorre a contribuição hídrica de outras nascentes que estão a montante de sua área de captação.

4.1.2. Descrição da instalação experimental

Junto ao reservatório de irrigação do Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP foi instalado o módulo de irrigação por gotejamento para a investigação científica proposta. Este é composto por um sistema de bombeamento único, que abastece duas parcelas de gotejadores. Cada parcela contém seu próprio filtro, sendo que um deles contém um elemento filtrante de disco, e o outro, um elemento de manta sintética não tecida. O sistema é totalmente automatizado, acionado por um painel

controlador programável, ligado por meio de fiação própria às válvulas solenóides. O programa do controlador comanda a abertura e o fechamento das válvulas solenóides, de forma a permitir a fertirrigação, ou simplesmente a irrigação sem nutrientes. Uma bomba dosadora do tipo pistão foi utilizada para a injeção de uma solução fertilizante no sistema, que é armazenada em um reservatório próprio (caixa d'água de PVC com capacidade de 500 L). Em ambos os filtros foram instaladas tomadas de pressão antes e após a passagem da água para medição da perda de carga localizada. Estas tomadas são conectadas a transdutores de pressão diferencial, por meio de mangueiras de diâmetro reduzido, que convertem o diferencial de pressão medido em sinais elétricos correspondentes. As leituras, por sua vez, são armazenadas por um sistema de aquisição de dados (Datalogger). A Figura 3 ilustra o esquema da instalação experimental utilizada na pesquisa.

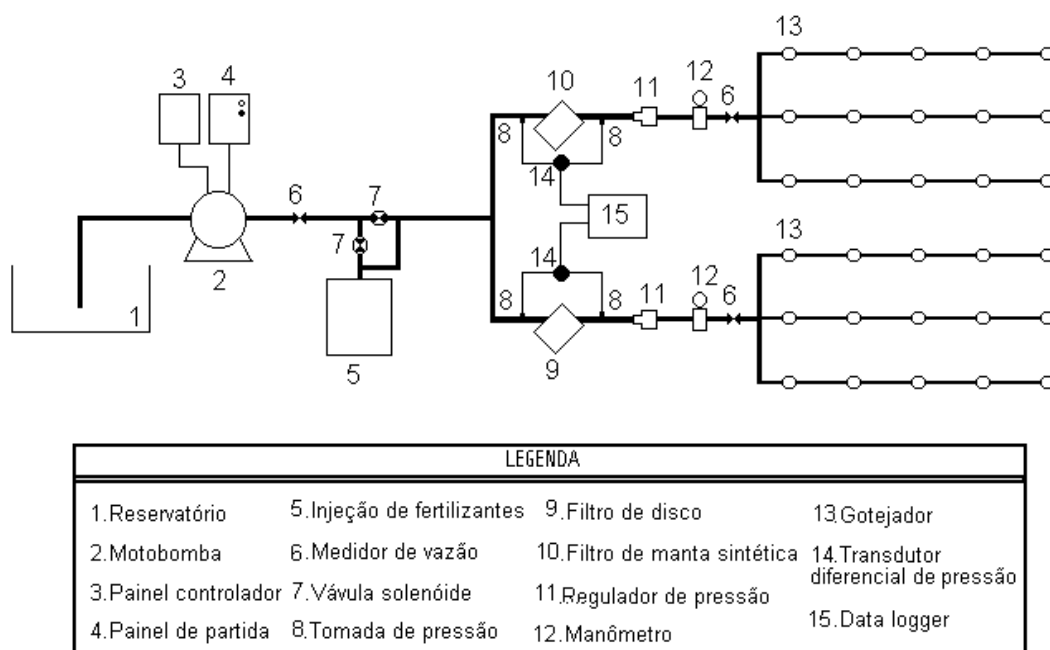


Figura 3 – Esquema do sistema de irrigação por gotejamento utilizado na pesquisa.

A bomba centrífuga que recalca água para o sistema é da marca KSB¹, modelo C-2000, rotor fechado e acoplada a um motor monofásico 110-220 V/60 Hz, de potência nominal 2,0 HP. A tubulação de saída da bomba para abastecimento do sistema foi de PVC, com diâmetro nominal de 32 mm.

O controlador de irrigação utilizado é da marca israelense Galcon, modelo 8006 (possui 6 estações), alimentação de 220 V, opera 2 válvulas elétricas solenóides de 1" de diâmetro, com tensão de operação de 24 VAC. Este sistema permite o controle do tempo de fertirrigação e irrigação, horário e dias de funcionamento do sistema, através do acionamento e desligamento automático da bomba e da abertura e fechamento das válvulas elétricas solenóides. Estas, por sua vez, são da marca israelense Bermad, modelo 210 e possuem um diafragma interno. A relação de pressão entre a parte superior e inferior do diafragma é que mantém a válvula solenóide aberta ou fechada durante a irrigação. Quando recebem o sinal elétrico que parte do controlador (em função da programação), as válvulas solenóides se abrem, permitindo a passagem da água até o momento em que o painel comandar o fechamento das mesmas.

Para medir a vazão de água bombeada para o sistema, e ainda as vazões distribuídas para cada parcela, foram instalados 3 hidrômetros digitais do tipo turbina, da marca GPI, modelo 01N12LM, com faixa de vazão de 0 a 100 L/min (ou 0 a 6,0 m³/h) e precisão de 5%.

As pressões no início das linhas laterais de gotejadores foram obtidas através da leitura de 2 manômetros de Bourdon, com escala de 0 a 30 PSI (0 a 206,8 kPa) e precisão de 0,5 PSI (3,5 kPa), instalados nas linhas logo após os reguladores de pressão. Antes de serem instalados no sistema de irrigação, os manômetros foram calibrados em laboratório com auxílio de um manômetro padrão, a fim de tornar suas leituras confiáveis.

Os dois reguladores de pressão utilizados em cada parcela de gotejamento são da marca Senninger, e possuem pressão de saída de 10 PSI (68,9 kPa), de forma a garantir a mesma pressão na entrada de ambos setores de forma que os gotejadores operassem sob as mesmas condições hidráulicas.

¹ Todas as marcas e modelos dos equipamentos citados na descrição da instalação experimental, ou qualquer outra parte desta dissertação, não são recomendações do autor. As citações detalhadas visam apenas descrever como o experimento foi desenvolvido e de que forma pode ser reproduzido.

A bomba injetora utilizada neste trabalho foi do tipo pistão. É de fabricação francesa da marca Dosatron, modelo DI 16 (Figura 4). Este modelo permite atingir vazões entre 10 L/h e 2500 L/h à pressões de serviço de 30 a 600 kPa. O princípio de funcionamento deste equipamento permite que a própria água do sistema de irrigação impulsione um pistão que, em seu movimento oscilatório, promove a sucção da solução, a mistura desta com a água da linha principal, e cria uma pressão necessária para promover a injeção de fertilizantes na linha de irrigação. A vazão de injeção desejada deve ser obtida através da regulagem simples de um dispositivo externo do equipamento. Para isso, deve-se realizar testes de vazão, através do método volumétrico, variando a regulagem da bomba, até que a taxa de injeção desejada seja atingida.

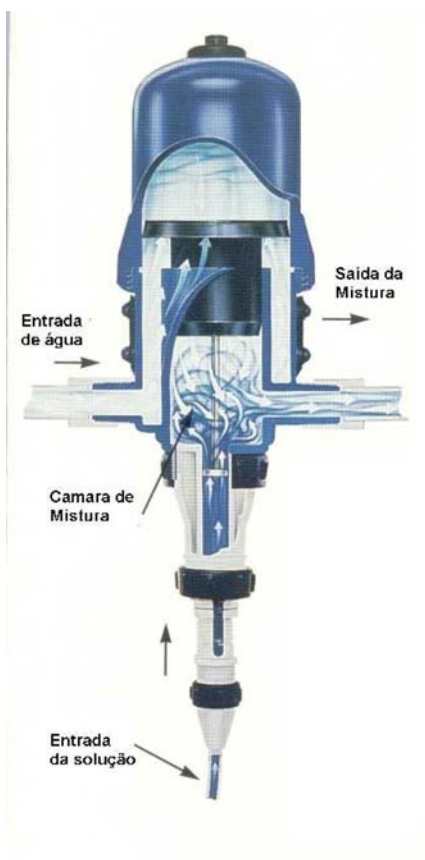


Figura 4 – Ilustração da bomba injetora de fertilizantes utilizada na pesquisa.

Para a filtração da água que abastece as parcelas de gotejamento, foram utilizados 2 filtros de 1" de diâmetro, da marca israelense Amiad. Em um dos filtros utilizou-se o

elemento filtrante de disco com 120 mesh, no outro, um elemento de manta sintética não tecida adaptado à estrutura plástica do filtro original.

A Figura 5 ilustra o elemento filtrante de disco.

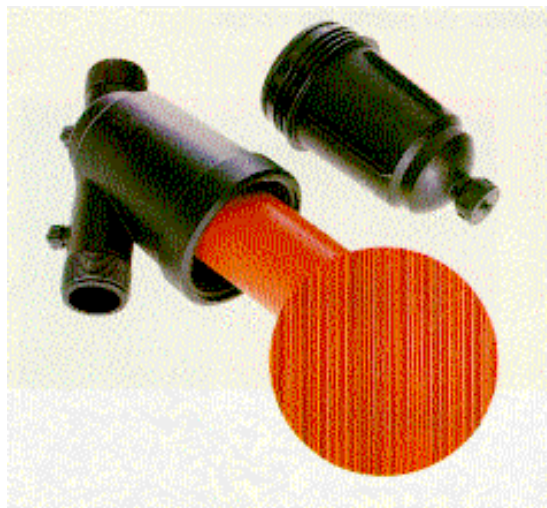


Figura 5 - Filtro de irrigação contendo elemento filtrante de disco.

A Figura 6 ilustra a forma pela qual o elemento de manta sintética não tecida era fixado ao filtro. Um pedaço da manta sintética não tecida foi cortado nas dimensões necessárias para que houvesse recobrimento total do suporte interno do filtro. A manta envolve este suporte e foi fixada por meio de presilhas plásticas nas duas extremidades do elemento filtrante e na sua parte central, o que favorece uma melhor fixação. Desta forma, assim como o elemento filtrante de disco, o elemento de manta sintética assume uma forma cilíndrica. Em ambos elementos filtrantes a filtração da água ocorre num mesmo sentido, de fora para dentro do elemento.



Figura 6 - Filtro de irrigação contendo elemento filtrante de manta sintética não tecida.

A manta sintética não tecida, em função dos resultados obtidos na primeira etapa da pesquisa, foi substituída por outra, selecionada após a realização de ensaios envolvendo quatro destes elementos filtrantes.

As características das mantas sintéticas não tecidas utilizadas como meio filtrante na pesquisa são apresentadas no Quadro 7. A manta denominada M1 foi a utilizada na etapa inicial da pesquisa, realizada na estação do inverno, e a M5 nas 3 etapas finais (estações da primavera, verão e outono).

Quadro 7: Dados técnicos das mantas sintéticas não tecidas utilizadas na pesquisa.

CARACTERÍSTICAS	MANTA	
	M1	M5
Permeabilidade (mm/s)	5,0	7,2
Gramatura (g/m ²)	380	380
Espessura (mm)	3,8	3,0

Fonte: Amoco do Brasil.

Após esta primeira etapa da pesquisa, decidiu-se também modificar a estrutura de suporte do filtro para a manta sintética não tecida.

A estrutura de suporte dos discos produzida pela Amiad não tem função estrutural, já que os discos são rígidos, e sim a de manter os discos alinhados. Utilizando a mesma

estrutura para suportar a manta sintética não tecida, pode haver deformação deste elemento tendo em vista que este não é rígido e opera sob pressão. A deformação do elemento filtrante pode ocasionar queda em seu desempenho. Para minimizar possíveis efeitos de deformação da manta sintética não tecida, foi construída uma nova estrutura para suportar os esforços internos ao filtro (Figura 7).

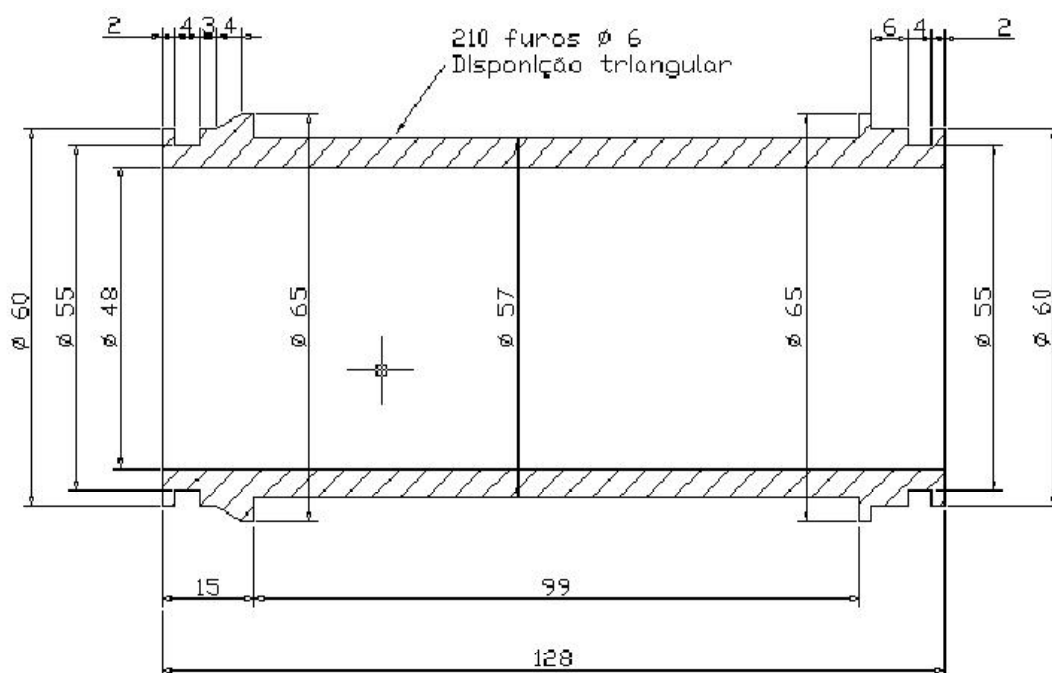


Figura 7 - Estrutura interna do filtro, utilizada para fixação da manta sintética não tecida.

Após a construção do novo corpo interno do filtro, houve a preocupação em se comparar a perda de carga desta nova estrutura com a original, já que esta última seria novamente utilizada para o elemento filtrante de disco. Desta forma, foi realizado mais um ensaio em laboratório, no circuito hidráulico representado na Figura 8, para esta determinação.

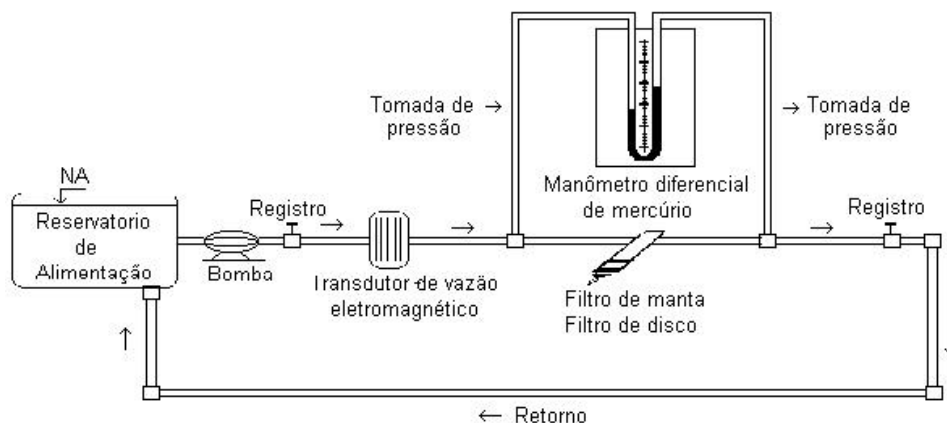


Figura 8 - Esquema da instalação hidráulica utilizada na determinação da perda de carga dos elementos filtrantes em função da variação da vazão.

A instalação experimental utilizada neste ensaio era um circuito fechado com tubos de PVC com 50 mm de diâmetro, sistema próprio de bombeamento e reservatório com capacidade de 600 litros (água de abastecimento urbano). Ao longo da tubulação foram instalados um medidor de vazão eletromagnético (Marca Conaut, diâmetro de 50 mm e faixa de vazão de 0 até 50 m³/h), um manômetro diferencial de mercúrio com tomadas de pressão antes e após o filtro, e um registro para ajuste de vazão no circuito. Na saída da bomba, foi instalada uma válvula reguladora de pressão a fim de se obter uma pressão constante durante o ensaio, independentemente da vazão ajustada. 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. Este procedimento é recomendado para evitar transientes hidráulicos que possam interferir nas determinações de pressão.

Dois transdutores de pressão diferencial foram instalados nas mangueiras conectadas imediatamente antes e após os filtros, para medir a perda de carga localizada nos mesmos. Os transdutores são da marca Motorola, modelo MPX 5100, cuja faixa de funcionamento é de 0 a 100kPa, com precisão de 2,5 kPa. As curvas de calibração para ambos transdutores de pressão foram obtidas em ensaios realizados no Laboratório de Hidráulica da Faculdade de Engenharia Agrícola. Desta forma, determinou-se a

correspondência entre as medidas de pressão diferencial na entrada dos transdutores e as medidas elétricas (voltagem) na saída.

Foi utilizado um sistema de aquisição de dados marca Campbell Scientific, Inc. modelo CR10X Prompt Sheet, que permite o registro e armazenamento de todos os dados da variação de pressão diferencial medidos nos filtros, em intervalos de tempo preestabelecidos. Nesta pesquisa, o Datalogger foi programado com as equações obtidas nos ensaios de laboratório para a calibração dos transdutores de pressão diferencial. Assim, durante o período experimental de campo, os dados armazenados pelo sistema, já eram convertidos automaticamente em dados de pressão, na unidade "kPa", conforme o transdutor do qual provinha a medida. Outra programação efetuada no aparelho permitiu a obtenção de uma medida a cada 6 segundos para cada canal (ou seja, cada transdutor).

A Figura 9 mostra a foto contendo o Datalogger, bem como os transdutores diferenciais de pressão que foram instalados no campo experimental junto ao painel controlador de irrigação.

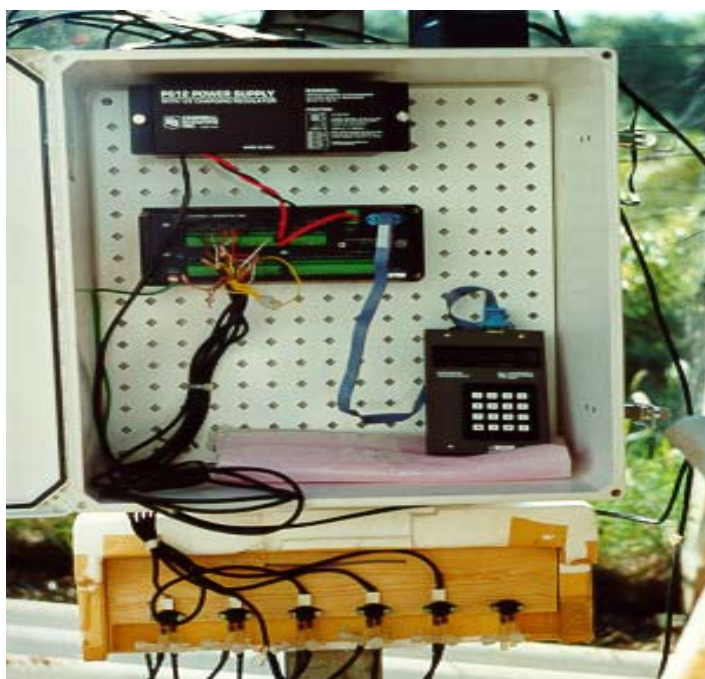


Figura 9 – Sistema de aquisição de dados referentes à perda de carga localizada nos filtros.

Cada parcela de irrigação apresentava 6 linhas laterais, com 3 m de comprimento cada e gotejadores espaçados entre si de 30 cm. Os gotejadores utilizados na pesquisa

foram do tipo labirinto, da marca israelense Netafim, Modelo Streamline 80. Estes, pelo próprio processo de fabricação, vêm inseridos dentro da tubulação de polietileno. Esta tubulação possui espessura de parede de 0,20 mm e diâmetro interno de 16 mm.

Avelino et al (1999) realizou experimentos em laboratório para a caracterização hidráulica dos gotejadores citados anteriormente.

Os resultados apresentados no Quadro 8 mostram os valores da vazão média, desvio padrão e do coeficiente de variação de fabricação, para cada pressão ensaiada com o tubo de emissão Streamline 80.

Quadro 8: Valores da vazão média, pressão, desvio padrão (s) e coeficiente de variação de fabricação (CVf) para o tubo de emissão Streamline 80.

PRESSÃO (kPa)	VAZÃO MÉDIA (L/h)	S (L/h)	CVf (%)
27,6	0,60	0,014	2,4
41,4	0,72	0,019	2,7
55,2	0,82	0,014	1,8
69,0	0,90	0,022	2,4
82,7	0,99	0,027	2,7
96,5	1,06	0,024	2,3

Fonte: Avelino et al (1999).

O coeficiente de variação de fabricação dos emissores resulta de imperfeições inerentes ao próprio processo de fabricação. Para o tubo de emissão Streamline 80, o coeficiente de variação de fabricação obtido variou de 2,7% sob uma pressão de 41,4kPa e 82,7kPa, até valores de 1,8% com pressão de 55,2 kPa. O valor médio obtido foi de 2,4%. Segundo Solomon (1979) este valor médio indica que o gotejador pode ser classificado como de excelente qualidade, e de acordo com Abreu et al. (1987) os gotejadores seriam classificados como bons.

A equação característica do tubo de emissão Streamline 80 foi obtida a partir dos valores de todas as vazões coletadas (90 dados) para cada pressão ensaiada. O tubo de emissão Streamline 80 possui um regime de escoamento turbulento, determinado pelo expoente "x" (vide equação 1) igual a 0,457 e o valor de K é 0,131. Para a validação da equação potencial encontrou-se um coeficiente de determinação r^2 igual a 0,9767 (Avelino et al, 1999).

$$q = 0.131 \cdot H^{0.457} \quad (\text{Eq. 10})$$

Onde:

q = vazão (L/h);

H = pressão de serviço (kPa).

A Figura 10 mostra uma foto geral de uma das parcelas de irrigação por gotejamento instaladas. É possível visualizar as linhas de gotejamento suspensas sobre uma bandeja perfurada onde são dispostos os coletores plásticos utilizados nos ensaios de vazão. São duas bandejas interligadas, uma para cada parcela, que contêm rodinhas sobre um trilho para movimentação sincronizada dos coletores durante os ensaios. A caixa d'água de PE com capacidade de 500 L armazena a solução fertilizante.



Figura 10 – Foto de uma parcela de gotejadores da instalação experimental.

O fertilizante utilizado na pesquisa tem composição organomineral e sua aplicação é recomendada via água de irrigação. A marca do fertilizante é Viva e o fabricante Valagro do Brasil. O produto apresenta-se na forma líquida, sua densidade relativa é de 1,27 e é solúvel em água. A composição fornecida pelo fabricante é de: 25% matéria orgânica, 3% de nitrogênio total e 9 % de potássio na forma de K_2O .

Sua utilização é recomendada para: hortaliças em geral, flores, frutíferas e viveiros de mudas. Este fertilizante foi adotado por sua versatilidade em relação a aplicação à diferentes culturas e pela possibilidade de ser utilizado na fertirrigação.

4.2. Concentração do fertilizante organomineral para a fertirrigação

A concentração de fertilizantes adotada para a fertirrigação seguiu a recomendação do fabricante. Segundo informações contidas nas instruções de uso do referido produto, o primeiro passo para a determinação da dosagem a ser aplicada é a obtenção da área a ser irrigada. No sistema de irrigação utilizado na pesquisa tem-se duas parcelas, cada qual com 6 linhas de 3 m de comprimento, espaçadas de 20 cm entre si. A partir deste dados, a concentração na linha de gotejadores foi calculada seguindo-se os seguintes passos:

- Área de cada parcela: $3\text{m} \times 1\text{ m} = 3\text{ m}^2$
- Quantidade de parcelas: 2
- Área total : $2\text{ parcelas} \times 3\text{ m}^2 = 6\text{ m}^2$
- Concentração de produto recomendada pelo fabricante: 5 a 7 mL/m^2 a cada 20 dias
- Concentração de produto adotada por parcela: $0,35\text{ mL/m}^2$ por dia, correspondendo a 7 mL/m^2 a cada 20 dias
- Quantidade de produto aplicado por turno de rega: $2\text{ parcelas} \times 3\text{m}^2/\text{parcela} \times 0,35\text{ mL/m}^2 = 2,10\text{ mL}$.

Desta forma foram utilizados 2,10 mL de produto por rega ou 4,20 mL por dia.

Cada parcela de irrigação tinha vazão de 10 L/min (ou $0,6\text{ m}^3/\text{h}$) para que a vazão total do sistema fosse suficientemente grande para não haver problemas relacionados ao aquecimento da bomba. Os 60 gotejadores de cada parcela somavam, juntos, apenas 60 L/h ou 1 L/min. Assim, foi instalada uma linha lateral de polietileno em cada setor , com um registro instalado na sua extremidade para regulação da vazão desejada em toda parcela, ou seja, 10 L/min.

O volume total de água para realizar a fertirrigação durante cada turno de rega foi:

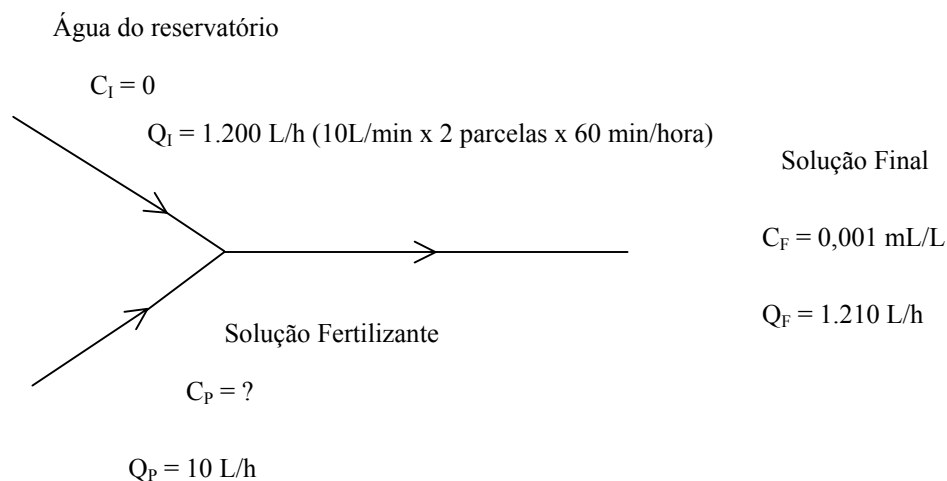
- $10\text{ [L/min} \times \text{parcela]} \times 2\text{ [parcelas]} \times 105\text{ [minutos]} = 2.100\text{ L}$.

Portanto a concentração de fertilizante na linha de irrigação foi de:

- $2,1\text{ mL de produto}/2.100\text{ L} = \mathbf{0,001\text{ mL/L}}$

Para determinação da concentração do produto (Cp) no tanque de fertilizantes, realizou-se o seguinte procedimento:

Admitindo-se que no reservatório de irrigação não há qualquer quantidade de fertilizante, ou seja, a concentração do produto é zero ($C_i = 0$), e que a vazão da bomba dosadora é de 10 L/h, e que a quantidade de fertilizantes na água se mantém constante ao longo do tempo, tem-se:



$$Q_F = Q_i + Q_p \text{ (vazão constante)} \quad \textbf{(Eq. 11)}$$

$$Q_F = 1200 + 10 = 1210 \text{ L/h}$$

A taxa de injeção de produto deve se manter constante ao longo do tempo, assim como a soma das vazões:

$$\text{Taxa de injeção [mL/h]} = C \text{ [mL do produto/L]} \times Q \text{ [L/h]} = \text{constante} \quad \textbf{(Eq. 12)}$$

Desta forma:

$$Q_F \times C_F = Q_p \times C_p + Q_i \times C_i \quad \textbf{(Eq. 13)}$$

$$1.210 \text{ [L/h]} \times 0,001 \text{ [mL/L]} = 10 \text{ [L/h]} \times C_p + 1.200 \text{ [L/h]} \times 0$$

$$\mathbf{C_p = 0,121 \text{ mL/L}}$$

Em cada ciclo de irrigação foram consumidos:

- $10 \text{ L/h} \times (1 \text{ h} + (45 \text{ min}/60 \text{ min})) = 17,5 \text{ L}$ de solução fertilizante.

4.3. Caracterização hidráulica dos filtros

Antes de iniciar a pesquisa de campo no sistema de irrigação por gotejamento instalado, foi realizado um ensaio no Laboratório de Hidráulica e Irrigação da Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP, para determinação da perda de carga localizada dos diferentes meios filtrantes, disco e manta sintética não tecida, utilizados na pesquisa, utilizando-se água tratada de abastecimento. Foram realizadas 3 repetições.

Neste ensaio determinou-se a variação da perda de carga nos filtros em função da variação da vazão (de 0 a 6,0 m³/h) do sistema, a fim de comparar o desempenho hidráulico de ambos os elementos, sem presença de material em suspensão na água. Através dos resultados obtidos foi elaborado um gráfico que determina a curva característica de cada elemento filtrante. Estes ensaios ocorreram no circuito hidráulico fechado, ilustrado na Figura 8. Assim como foi adotado em todas etapas da pesquisa, ambos elementos filtrantes foram instalados em mesma estrutura física, ou seja, em filtros de 1" da Amiad.

4.4. Interface entre transdutor de pressão e sistema de aquisição de dados

Durante a instalação do sistema de aquisição de dados, houve a necessidade de interpor uma interface entre os transdutores de pressão empregados na instalação experimental e as entradas dos sinais no Datalogger. Esta interface se fez necessária devido à limitação da faixa de tensão do sinal de entrada do Datalogger, especificado pelo fabricante em ± 2500 mV, já que o transdutor de pressão diferencial possui em sua saída, uma faixa de trabalho entre 200 mV e 4650 mV, para uma faixa de pressão diferencial de 0 a 100 kPa.

A solução encontrada foi utilizar-se de um circuito divisor de tensão, nos moldes do esquema representado na Figura 11.

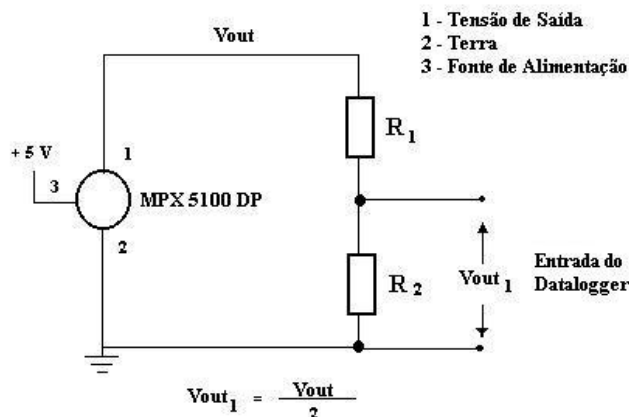


Figura 11 – Representação do circuito eletrônico divisor de tensão.

As seguintes considerações fizeram-se necessárias para a elaboração da interface: verificações da impedância de entrada do Datalogger e da máxima corrente que o transdutor pode fornecer para a interface.

Verificou-se os dados fornecidos pelo fabricante do Datalogger e do transdutor empregados nesta pesquisa e constatou-se que a Impedância de entrada do Datalogger era superior a 20 GigaOhms e que a corrente típica de fornecimento do transdutor era 0,1 mA.

A partir da medição dos referidos dados, adotaram-se resistores (R_1 e R_2 do circuito da Figura 11) de mesmo valor, 69,9 kOhms. Para uma maior confiabilidade optou-se por resistores do tipo filme metálico (que possuem coeficiente de temperatura muito baixo) com tolerância de $\pm 1\%$. Desta forma foram tomadas medidas de precauções na interface de modo a não provocar erros e interferência nos dados coletados.

4.5. Calibração dos transdutores de pressão

Para a realização da calibração dos sensores de pressão utilizados neste projeto, foram utilizadas ferramentas computacionais e eletrônicas, e a montagem de um sistema eletrônico de aquisição de dados.

O sistema de aquisição de dados foi montado a partir de recursos já existentes no Laboratório de Hidráulica e Irrigação da Faculdade de Engenharia Agrícola.

Foram utilizados 2 sensores diferenciais de pressão, marca Motorola, modelo MPX5100 D. Estes funcionam como um equipamento eletromecânico, convertendo uma variação de grandeza mecânica em uma variação de grandeza elétrica, que pode ser monitorada através da medida de voltagem após o condicionamento do sinal elétrico. Os sensores possuem ótimas características mecânicas e elétricas, além de possuírem uma faixa de trabalho compatível com os testes que foram realizados. As características de operação do sensor estão descritas no Quadro 9 e o seu gráfico de tensão de saída (Volts) versus diferencial de pressão (kPa) obtido no catálogo do fabricante, está mostrado na Figura 12.

Quadro 9: Características do sensor MPX 5100 D da marca Motorola.

CARACTERÍSTICAS	MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO	UNIDADE
Faixa de Pressão	0	-	100	kPa
Tensão de Alimentação	4.75	5.0	5.25	Vdc
Corrente de Alimentação	-	7.0	10	mAdc
Amplitude da Escala (0 a 85 ⁰ C)	4.388	4.5	4.613	V
Offset ⁽³⁾ (0 a 85 ⁰ C) ⁽¹⁾	0.088	0.200	0.313	V
Sensibilidade ($\Delta V/\Delta P$)	-	45	-	mV/kPa
Precisão (0 a 85 ⁰ C)	-	-	± 2.5	% Amplitude da Escala

(1) Offset é quando tem-se uma tensão de saída para um valor de pressão mínima (igual a zero). Fonte: Motorola (1998).

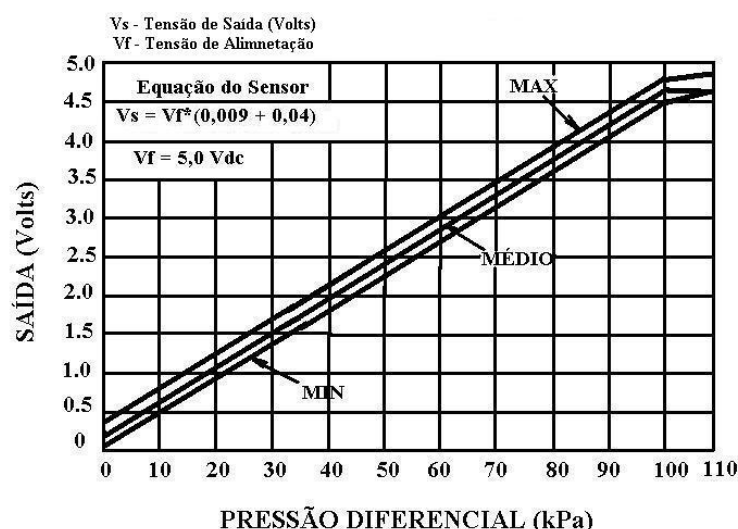


Figura 12 – Gráfico de Tensão de Saída versus Pressão Diferencial do sensor MPX 5100 DP (Fonte: Motorola 1998).

Os sensores, também chamados de transdutores, fornecem como sinal de saída um determinado valor de tensão elétrica. Estes valores estão linearmente relacionados à magnitude do valor de pressão medida. Como computador é incapaz de fazer a leitura desses valores diretamente, foi necessário acoplar ao sistema de aquisição de dados um sistema para a conversão dos dados analógicos enviados pelos sensores, em sinais digitais.

Desta forma, foi utilizado um conversor analógico/digital, marca Lynx, modelo MCS – 1000. Tal sistema, por sua vez, era formado por duas placas também da marca Lynx, modelo PCX – 082, com capacidade para receber até 16 canais analógicos de entrada cada, totalizando, dessa forma, uma placa conversora analógica/digital com capacidade para 32 canais de entrada.

Para receber esses dados e fornecê-los de forma ordenada ao sistema que realizou a análise dos mesmos, foi ligada ao computador usado para desenvolver a interface gráfica, uma placa de aquisição de dados da marca Lynx, modelo CAD 12/32.

O módulo de ensaios montado para a seqüência de ensaios da interface é o mesmo esquematizado na Figura 8.

Foram feitas tomadas de pressão na tubulação do módulo hidráulico com um “tê” de bronze para se acoplar na mesma tomada de pressão uma saída para o manômetro diferencial e outra saída para o sensor diferencial.

Para a realização da calibração dos transdutores diferenciais de pressão o procedimento básico adotado foi :

1. Primeiramente o sistema foi ligado e deixado em funcionamento por um período de tempo necessário para sua estabilização.
2. Variou-se a perda de carga localizada em um registro através do fechamento e abertura do mesmo, instalado entre os pontos de tomada de pressão, para obtenção dos valores diferenciais de pressão.
3. Os valores de perda de carga localizada eram obtidos tanto no manômetro diferencial de mercúrio, quanto no multímetro acoplado aos sensores de pressão.
4. Após provocada a variação de pressão dentro de uma faixa de trabalho permitida pelo sistema e medidos todos os valores diferenciais, foi realizada uma regressão linear para relacionar os valores medidos através do manômetro diferencial de pressão e aqueles

lidos através do multímetro. Desta regressão resultou uma equação linear capaz de associar uma voltagem a um dado valor de pressão diferencial.

4.6. Ciclos de Irrigação e Programação dos ensaios

O controlador de irrigação foi programado para acionar o sistema duas vezes ao dia, uma pela manhã e a outra ao final da tarde. Cada turno de rega tinha duração de duas horas, sendo que durante uma hora e quarenta e cinco minutos há injeção de fertilizantes na linha principal do sistema. Nos quinze minutos finais de cada ciclo há uma lavagem do sistema em decorrência do fim da injeção de fertilizantes. Este processo é uma prática usual, de fundamental importância, adotada em sistemas para fertirrigação, evitando que nutrientes fiquem disponíveis no interior das linhas laterais de irrigação, promovendo um crescimento microbiano que possa potencializar problemas relativos ao entupimento dos gotejadores.

Esta programação foi realizada para todos os dias da semana, durante um período de 30 dias, em cada etapa do projeto. Semanalmente foram realizados dois ensaios de vazão, quando eram medidas as vazões de todos os gotejadores em ambas parcelas de gotejamento. Ao final de cada ensaio, foram coletadas amostras de água para análise em laboratório, dos principais parâmetros de qualidade de água de importância relativa aos sistemas de irrigação por gotejamento. A partir dos resultados obtidos nos ensaios de vazão foram determinados coeficientes de uniformidade propostos por diferentes pesquisadores, a fim de se avaliar o efeito do desempenho dos dois elementos filtrantes em estudo no sistema de irrigação por gotejamento. Estes coeficientes foram: relação das vazões médias dos gotejadores (D_{ra}), uniformidade estatística de emissão (U_s), coeficiente de uniformidade de emissão (U_e), índice de performance do gotejador no campo ($unif$) e porcentagem estatística de entupimento dos gotejadores (ns).

Os ensaios programados foram realizados em quatro períodos de 30 dias, cada um em uma estação do ano distinta. Desta forma, houve uma simulação completa de funcionamento de um sistema de irrigação por gotejamento, num período de um ano, operando segundo diferentes condições climáticas e de qualidade da água.

A primeira etapa da pesquisa foi realizada entre os dias 29 de junho a 30 de julho de 2001, correspondendo a um mês típico de inverno. Esta estação é caracterizada por baixas

precipitações e a temperatura média da água foi de 22,5 °C. A segunda etapa da pesquisa foi realizada de 05 de novembro a 13 de dezembro de 2001, na estação da primavera. É uma estação caracterizada por aumento de precipitação, e a temperatura média da água foi de 26,3 °C. A terceira etapa ocorreu no período de 28 de fevereiro a 27 de março de 2002, correspondendo a um mês típico da estação de verão, apresentando alta precipitação e a temperatura média da água de 28,2 °C. A quarta e última etapa foi desenvolvida na estação do outono, no período de 09 de maio a 06 de junho, a temperatura média da água foi de 21,7 °C.

Durante todo o período de ensaios, houve aquisição ininterrupta de dados referentes à perda de carga localizada desenvolvida em cada um dos filtros de irrigação.

O experimento iniciou-se no mês de julho de 2001, caracterizando a estação de inverno. A segunda etapa da pesquisa foi realizada no mês de novembro do mesmo ano, ocorrendo portanto na primavera. A terceira etapa foi desenvolvida no mês de fevereiro do ano seguinte, na estação do verão, e a etapa final no mês de maio, estação do outono.

4.7. Parâmetros Avaliados nas Análises da Água

No período de ensaios foram realizadas análises das amostras de água coletadas antes e após a passagem da água pelos filtros de irrigação.

As amostras de água coletadas antes dos filtros e também anteriormente ao ponto de introdução da solução fertilizante, foram necessárias para a determinação da qualidade da água do reservatório, ou seja, da fonte de abastecimento do sistema.

A partir destas amostras determinaram-se: o potencial hidrogeniônico (pH), a turbidez, os sólidos suspensos totais (ss), a condutividade elétrica (Ec), as concentrações de ferro total (Fe), sulfeto de hidrogênio (H₂S), manganês (Mn), e de algas e bactérias. Estes são alguns dos principais parâmetros para avaliação da qualidade da água utilizada em sistemas de irrigação por gotejamento.

A classificação da qualidade da água de irrigação para o sistema de irrigação por gotejamento, seguiu a proposta idealizada por Nakayama & Bucks (1986) que consideram o potencial de entupimento de gotejadores devido aos diferentes fatores físicos, químicos e biológicos em suas respectivas concentrações (Quadro 2).

Em cada parcela de irrigação, após a passagem da água pelos filtros, coletaram-se amostras para a determinação da turbidez da água, concentração de sólidos suspensos totais, e concentrações de algas e bactérias. Desta forma, pode-se analisar o desempenho de cada filtro, através da comparação direta dos resultados destas amostras, já que a água de abastecimento das parcelas era comum às duas.

As amostras de água, tanto para caracterização da água do reservatório, quanto as filtradas em cada parcela, eram retiradas num mesmo momento do turno de rega.

Após a realização das duas etapas iniciais da pesquisa, em função dos resultados obtidos, principalmente nas análises de turbidez e sólidos suspensos totais das amostras de água tomadas antes e após os filtros de irrigação, decidiu-se analisar a influência da fertirrigação sobre a qualidade da água de irrigação. Inicialmente, em virtude da baixa concentração de nutrientes aplicadas via água de irrigação, acreditava-se que a injeção da solução fertilizante não modificaria as propriedades físico-químicas e biológicas da água.

Nas fases seguintes (terceira e quarta), foram retiradas amostras de água imediatamente antes (referentes à água do reservatório) e imediatamente após a injeção de fertilizantes (antes dos filtros). Destas amostras, foram analisadas a turbidez da água e a concentração de sólidos suspensos totais. Comparando os resultados obtidos antes e após a passagem da água pelo ponto de introdução de nutrientes na linha de irrigação, pode-se verificar, através apenas destes dois parâmetros analisados, a influência da fertirrigação sobre a qualidade da água original.

No período de um ano de ensaios, foram realizadas duas análises semestrais microbiológicas para determinação dos principais gêneros de algas encontrados nas amostras de água coletadas a partir das mangueiras e gotejadores localizados em cada uma das parcelas, com os dois tratamentos distintos da água de irrigação.

Dentre todas as análises da água realizadas durante o experimento, a determinação da turbidez e dos sólidos suspensos totais foram realizados no Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Agrícola. As demais análises foram efetuadas em Laboratórios particulares.

Para a determinação da turbidez da água foi utilizado o aparelho Turbidímetro da marca Hach, modelo 2100 NA. O método de operação do aparelho é o nefelométrico, sendo

a unidade de medida NTU. A faixa de trabalho do turbidímetro vai de 0 a 10.000 NTUs, com acuracidade de $\pm 2\%$ da leitura, mais 0,01 NTU na faixa de 0 a 1.000 NTUs.

Para se efetuar medidas de turbidez neste aparelho, há recomendação de deixá-lo ligado por um período de 30 minutos para estabilização dos componentes eletrônicos.

Para a análise da concentração de sólidos em suspensão totais na água, adotou-se a seguinte metodologia:

- 1- Pesou-se o filtro de fibra de vidro modelo “GF 52/C diâmetro 47mm em balança analítica, após ser colocado dentro de um suporte de alumínio, previamente calcinado na mufla a 550 °C por 30 minutos e resfriado em dessecador;
- 2- Colocou-se o filtro no suporte de filtro com receptor da marca Nalge Company modelo cat.300-4000 e conectou-se ao dispositivo, o qual já estava ligado a uma bomba de vácuo;
- 3- Filtrou-se uma quantidade conhecida de amostra bem misturada, aplicando vácuo no sistema.
- 4- O suporte de alumínio com o filtro foi levado para estufa a 103 – 105° C, por 1 hora;
- 5- O conjunto da estufa foi retirado e colocado no dessecador num período de 24 horas. Então o filtro foi pesado em balança analítica e anotado o valor.
- 6- Terminada a coleta dos dados a concentração dos sólidos suspensos totais foi determinada utilizando a seguinte equação:

$$SST = \frac{(P_1 - P_0) \times 1000}{Vol} \quad (\text{Eq. 14})$$

Onde:

SST = sólidos suspensos totais (mg/L)

P₁ = peso do filtro com sólidos filtrados (g)

P₀ = peso do filtro limpo (g)

Vol = volume de amostra usado (L)

A determinação da população bacteriana foi efetuada através do método de contagem em placa de Petri, utilizando agár (triptona, glucose, extrato de levedura e agár) como meio de cultura e tempo de contagem de 48 horas (APHA, 1995).

A contagem de algas foi realizada pelo método de Sedgwick-Rafter, de acordo com o “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (APHA, 1985).

4.8. Coeficientes de Uniformidade Avaliados

Os índices de uniformidade avaliados eram calculados a partir dos dados coletados nos dois ensaios de vazão que foram realizados semanalmente. Sob as linhas de gotejadores foram montadas bandejas vazadas, com furos espaçados regularmente (a cada 30 cm, assim como os gotejadores) para comportar a introdução de coletores plásticos de volume de 330 ml. Cada gotejador tinha um coletor plástico correspondente para medição do volume de água emitido num determinado tempo. Estas bandejas foram montadas sob trilhos, de forma que podiam estar rapidamente sob os gotejadores ou fora do alcance da emissão de água por estes. Desta forma, o turno de rega não precisava ser interrompido para realização do ensaio de vazão dos gotejadores. No momento de realizar o ensaio de vazão, as bandejas contendo 60 coletores plásticos cada, eram rapidamente, e de maneira sincronizada, introduzidas sob as parcelas contendo as linhas de gotejadores. O tempo de coleta de água era marcado por um cronômetro (5 minutos) e a medição do volume era feita por meio de provetas graduadas com precisão de 1,0 mL. As pressões de serviço das parcelas, assim como as vazões de água, eram monitoradas através da leitura de seus instrumentos próprios de medida. Todos os dados adquiridos eram anotados em planilhas para posterior processamento e análise dos resultados.

Para efeito de avaliação da eficiência da prevenção do entupimento dos gotejadores pelos filtros em cada parcela, foram analisados os seguintes coeficientes de uniformidade, a partir dos resultados obtidos com os ensaios de vazão de todos os 60 gotejadores de cada parcela de irrigação:

- a) Coeficiente de Uniformidade Estatística de Emissão (Us).
- b) Índice da performance do gotejador no campo.

Para se calcular a uniformidade de distribuição de água no campo, foi utilizado um programa de computador desenvolvido por Zazueta & Smajtrla (1991), utilizando um fluxograma baseado na metodologia descrita por Bralts & Kesner (1983).. Este software chama-se Unif 3.6 e foi desenvolvido no Instituto de Alimentos e Ciências Agrárias, no Departamento de Engenharia Agrícola da universidade da Flórida em 1989. Este programa computacional exige a entrada de 18 dados de tempo ou volume, obtidos nos ensaios de campo, para preencher um dado volume ou obtido num determinado tempo, respectivamente. Após a entrada dos dados, o programa calcula o valor, em porcentagem, da uniformidade de distribuição de água do sistema (ou parcelas).

- c) Relação das Vazões Médias dos Gotejadores (D_r), definido por Capra & Tamburino (1995).
- d) Coeficiente de Uniformidade de Emissão (E_U), proposto Kelller & Karmeli (1978), e aprimorado por Capra & Tamburino (1995).
- e) Porcentagem Estatística Total e Parcial de Entupimento dos Gotejadores (n_s) proposto por Capra & Scicolone (1998).

Para o cálculo de todos os coeficientes de uniformidade adotados, foram utilizados os dados dos 60 gotejadores de cada parcela, exceto pelo índice de performance do gotejador no campo que foi calculado a partir de 18 gotejadores pré-selecionados. Destes, 6 eram localizados no início das linhas laterais, 6 no meio e 6 no final.

4.9. Introdução do compressor de ar no sistema

Após a realização das primeira e segunda etapas da pesquisa, e análise de todos os parâmetros de qualidade da água houve a preocupação em promover uma queda na qualidade da água de irrigação do reservatório. Esta piora seria interessante para que os filtros fossem testados e comparados em situações bastante adversas e mais críticas

possíveis. Como a água do reservatório é estanque, uma movimentação poderia elevar as partículas que naturalmente são sedimentadas.

A primeira medida adotada foi a aproximação da válvula de pé com crivo da sucção da bomba ao fundo do tanque reservatório. A segunda medida foi a instalação de mangueiras perfuradas e ligadas a um compressor de ar ao redor do ponto de captação da água. O compressor de ar utilizado era da marca Schulz, modelo MSI 5,2 ML/100. O deslocamento teórico é de 147,55 L/min, pressão máxima de 1100 kPa, tanque com capacidade para 100 L. O motor é monofásico de potência 1,0 hp e rotação de 3500 rpm.

Estes artifícios realmente promoveram a suspensão de partículas sedimentadas sobre o fundo do reservatório de irrigação, piorando a qualidade de água que era efetivamente recalçada pela bomba. Assim como o sistema de irrigação, o funcionamento do compressor de ar foi totalmente automatizado de forma a funcionar simultaneamente com a irrigação. O compressor de ar era ligado 45 minutos antes do sistema de irrigação para que, no momento em que se iniciasse um turno de rega, as partículas já estivessem suspensas. Este tempo necessário para promover a suspensão das partículas sedimentadas, foi adotado após a realização de alguns testes. Nestes foram retiradas amostras de água na tubulação principal do sistema de irrigação, a partir do início de funcionamento do compressor de ar, a cada 15 minutos. Verificou-se que, após 45 minutos do início do funcionamento do compressor de ar, a concentração de sólidos suspensos totais na água de irrigação não variava significativamente. Desta forma, chegou-se a este tempo para o início da operação do compressor antes de iniciar-se o turno de rega. O desligamento do compressor ocorria simultaneamente com o da motobomba. Para isso foi utilizado um *timer* simples com diversos horários de partida.

4.10. Perda de carga localizada nos filtros

As medidas da perda de carga localizada nos filtros de irrigação foram obtidas automaticamente com a utilização do Datalogger. Este sistema de aquisição de dados foi programado para efetuar 10 medidas de pressão diferencial por minuto, ou seja, uma medida a cada 6 segundos. Estas medidas eram fornecidas pelos transdutores de pressão diferencial.

A programação realizada no Datalogger, com as equações resultantes da calibração dos sensores, permitiu a coleta dos dados em unidade de pressão. Estes eram armazenados em um módulo de memória do equipamento e descarregados em um computador a cada dois dias.

Ao final de cada etapa da pesquisa, com todos os dados reunidos em uma mesma planilha do Excel, elaborou-se gráficos da variação temporal da perda de carga localizada nos filtros de disco e manta sintética não tecida. Como os dados de pressão estavam relacionados com o tempo, e este, por sua vez, pode ser relacionado com o volume de água filtrado (já que a vazão do sistema é constante), relacionou-se a variação temporal com volume filtrado.

Durante os turnos de rega, era possível obter as leituras, em tempo real, da perda de carga localizada em cada filtro. Esta verificação era importante para determinação do momento de se realizar a limpeza dos elementos filtrantes sempre que as medidas de perda de carga ultrapassassem 40 kPa (perda de carga admissível no projeto).

4.11. Análise química do material retido nas mangueiras de gotejadores

Após o término das quatro etapas experimentais, realizadas ao longo de um ano, foram retiradas da instalação experimental, pedaços das linhas laterais de gotejadores. Estes foram cortados no final do comprimento das linhas, em cada parcela de irrigação. Nos trechos finais das mangueiras há maior depósito do material que fica retido no interior das mangueiras gotejadoras, entupindo os gotejadores. Em função da queda contínua da vazão, e conseqüentemente da velocidade da água no final das mangueiras, as partículas em suspensão na água tendem a sedimentar justamente nessas regiões, já que o escoamento passa de turbulento à laminar.

As amostras das mangueiras retiradas em cada parcela de irrigação foram levadas a um laboratório do Instituto de Química da UNICAMP, que utilizou um aparelho de Fluorescência de Raio X, o EDX-700 (Energy Dispersive X-Ray Spectrometer), marca Shimadzy para análise dos elementos contidos no lodo acumulado nos gotejadores. Além de identificar os principais elementos contidos neste material, o EDX-700 forneceu também, valores percentuais dos elementos identificados.

4.12. Análise estatísticas dos dados

Os resultados de análise de variância e de comparação de médias dos dados experimentais obtidos durante as quatro etapas do experimento, foram adquiridos por meio do uso do programa estatístico Sanest, seguindo-se o modelo de delineamento experimental inteiramente casualizado. A comparação das médias dos diferentes tratamentos foi baseada no teste de Tukey, que segundo Pimentel (1966), pode ser utilizado para verificação de todo e qualquer contraste.

Foram nomeados dois fatores, Filtro e Estação, tendo o primeiro 2 níveis (manta e disco) e o segundo 4 (inverno, primavera, verão e outono). Estes fatores podem influenciar os resultados obtidos nas parcelas de irrigação.

As variáveis analisadas inicialmente foram: sólidos suspensos totais, turbidez, concentração de algas e bactérias.

Já na seguinte, as variáveis analisadas foram os índices de uniformidade calculados para cada parcela de irrigação e cada etapa da pesquisa.

Com estas análises estatísticas, procurou-se determinar diferenças significativas entre os dois tratamentos da água de irrigação (filtração com disco e manta), nas diferentes etapas do projeto, tanto para os resultados das análises de água realizadas nas linhas de gotejamento, quanto para os resultados dos coeficientes de uniformidade obtidos. Embora a manta sintética utilizada na primeira etapa seja diferente daquela utilizada nas etapas seguintes, utilizaram-se os resultados da primeira etapa na análise comparativa entre os dois elementos filtrantes. Como os resultados obtidos na primeira etapa para ambas parcelas foram muito semelhantes, tanto para as variáveis de qualidade de água, quanto para os índices de uniformidade, estes dados foram considerados de forma a aumentar o número de repetições, reduzindo o erro, e assim obter resultados mais confiáveis.

Foram encontradas também, as equações de correlação entre turbidez, sólidos suspensos, algas e bactérias obtidas por regressão linear.

Para determinação destas equações foi utilizado um programa computacional para ajuste de equações em dados experimentais chamado "Ajuste.exe", que possui 17 modelos matemáticos disponíveis. Este programa foi desenvolvido pelo Cepagri (Centro de Pesquisa em Agricultura da Unicamp) e IAC (Instituto Agrônomo de Campinas).

V - RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Calibração dos sensores de pressão

Os resultados obtidos, conforme descrição da metodologia para este ensaio de calibração dos transdutores diferenciais de pressão, estão dispostos no Quadro 10.

Quadro 10: Dados obtidos na calibração dos sensores Motorola, modelo MPX 5100 DP.

VOLTAGEM	PC (kPa)	PE S1 (kPa)	PE S2 (kPa)	ERRO S1 (%)	ERRO S2 (%)
0,2	0,00	0,00	0,13	-	-
0,5	6,67	6,80	6,67	1,91	0,09
1	17,78	17,33	17,06	2,55	4,05
1,5	28,89	29,06	29,46	0,57	1,96
2	40,00	39,72	39,99	0,70	0,04
2,5	51,12	51,59	51,32	0,92	0,40
3	62,23	61,32	61,58	1,46	1,03
3,5	73,34	74,38	74,65	1,42	1,79
4	84,45	85,45	85,71	1,18	1,50
4,5	95,56	95,31	94,91	0,26	0,68
	Erro Cumulativo (%)			10,98	11,53
	Erro Médio (%)			1,22	1,28

Obs: PeS_1 = Pressão Experimental do Sensor 1

PeS_2 = Pressão Experimental do Sensor 2

Os erros médios registrados nos dois sensores testados foram de 1,22 e 1,28 %, indicando precisão nas medidas realizadas. A vantagem em se utilizar os sensores diferenciais de pressão em relação ao manômetro diferencial de mercúrio é que, durante a realização das medidas, na maioria das vezes, o operador espera um “nivelamento” do mercúrio dentro do tubo ou adota uma medida instantânea. Já a partir do uso da interface o programa calcula a média de uma quantia significativa de pontos (por exemplo, a uma frequência de amostragem de 10 Hertz e um tempo de 1 minuto terão sido coletados 600 dados) e extrai a média desses valores. Desta forma, os resultados obtidos são mais precisos e confiáveis.

Os dados obtidos na calibração destes sensores foram plotados em gráfico (Figura 13).

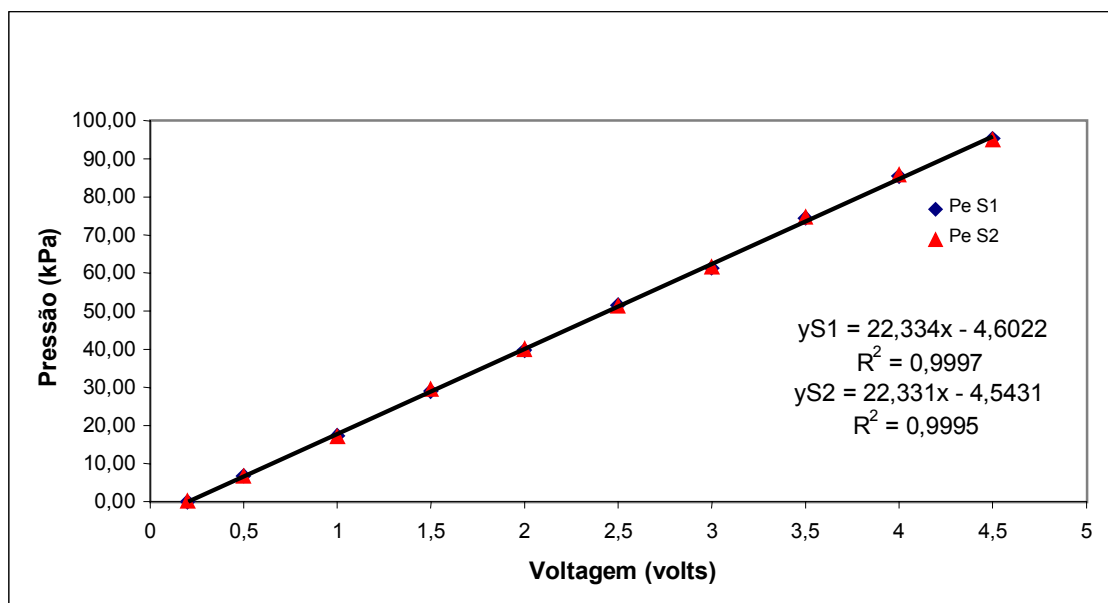


Figura 13 - Curva de calibração para os dois sensores Motorola MPX 5100 DP.

As equações obtidas, tanto para o sensor 1, quanto para o sensor 2, apresentam alta correlação com o modelo linear adotado. Estas equações foram programadas no sistema de aquisição de dados para a obtenção das perdas de carga localizada nos filtros de irrigação.

5.2. Calibração dos Manômetros

Foram obtidas as curvas de calibração para cada um dos manômetros de bourdon na faixa de 0 a 10 PSI (0 a 69kPa), mesma utilizada no sistema experimental de irrigação por gotejamento, com três repetições por medidor. A primeira repetição foi realizada aumentando-se os valores de pressão, a segunda de forma decrescente e a terceira, novamente, aumentando-se os valores de pressão. Este cuidado na realização da calibração dos manômetros minimiza os problemas relacionados aos efeitos de histerese dos medidores. Os valores entre as medidas do manômetro padrão e os de bourdon estão mostrados no Quadro 11. Cada leitura é uma média aritmética de três repetições.

Quadro 11: Calibração dos 2 manômetros de bourdon utilizados para controle da pressão de entrada de cada parcela do experimento.

PADRÃO (PSI)	MANÔMETRO 1 (PSI)	PADRÃO (PSI)	MANÔMETRO 2 (PSI)
1	1	1	3
2	2	2	4
3	3	3	5
4	4	4	6
5	5	5	7
6	6	6	7.5
7	7	7	8.5
8	8	8	9
9	9	9	10
10	10	10	11

A partir dos dados medidos durante a calibração, construiu-se um gráfico com os resultados e obteve-se a equação da curva com seu respectivo coeficiente de correlação (r^2).

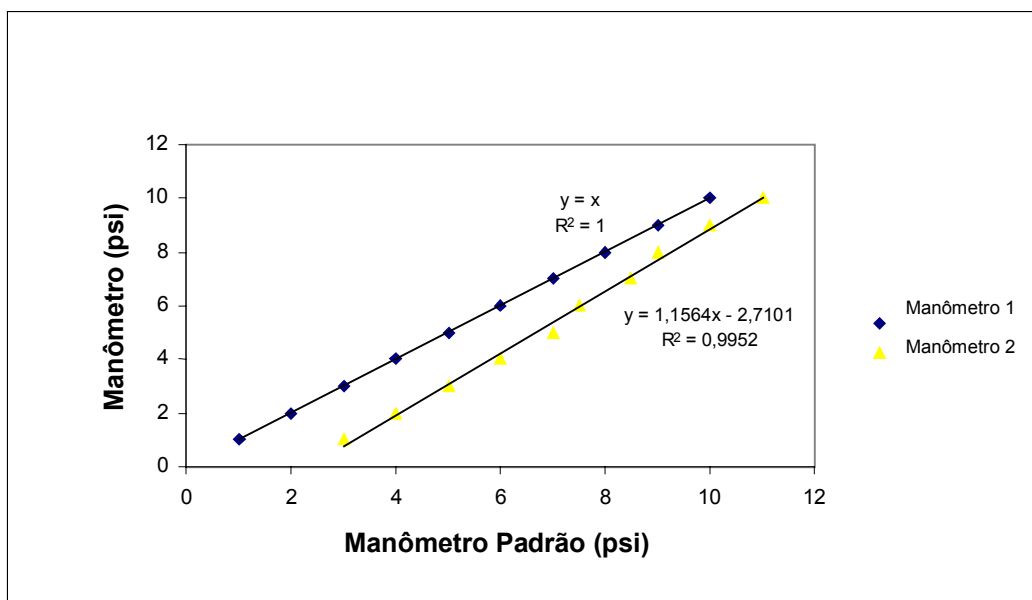


Figura 14 - Curvas de calibração dos manômetros.

Obs: Manômetro 1 – Entrada da parcela com filtro de disco.

Manômetro 2 – Entrada da parcela com filtro de manta.

Com as equações obtidas neste ensaio, corrigiram-se as leituras de pressão medidas nos ensaios de campo, obtendo-se assim, valores reais de pressão. A alta correlação dos dados para ambos manômetros, assegura a linearidade do modelo.

5.3. Caracterização hidráulica dos elementos filtrantes

Os resultados do ensaio realizado em laboratório para determinação da perda de carga, em função da variação da vazão do sistema, em ambos elementos filtrantes utilizados na pesquisa estão dispostos no Quadro 12. Foram realizadas 3 repetições e determinados os valores médios das medidas.

Quadro 12: Resultados médios do ensaio da perda de carga versus vazão, para os elementos filtrantes de disco (120 mesh) e manta sintética não tecida, com água de abastecimento urbano.

VAZÃO [m ³ /h]	M1 (kPa)	DISCO (kPa)
0,5	0,47	1,08
1,0	0,80	2,35
1,5	3,27	4,71
2,0	6,47	6,96
2,5	8,80	9,71
3,0	12,33	14,22
3,5	15,67	18,83
4,0	23,20	23,83
4,5	29,20	30,40
5,0	37,00	37,07
5,5	47,28	43,83
6,0	58,87	52,85

A partir dos resultados contidos no Quadro 12 traçou-se o gráfico da Figura 15.

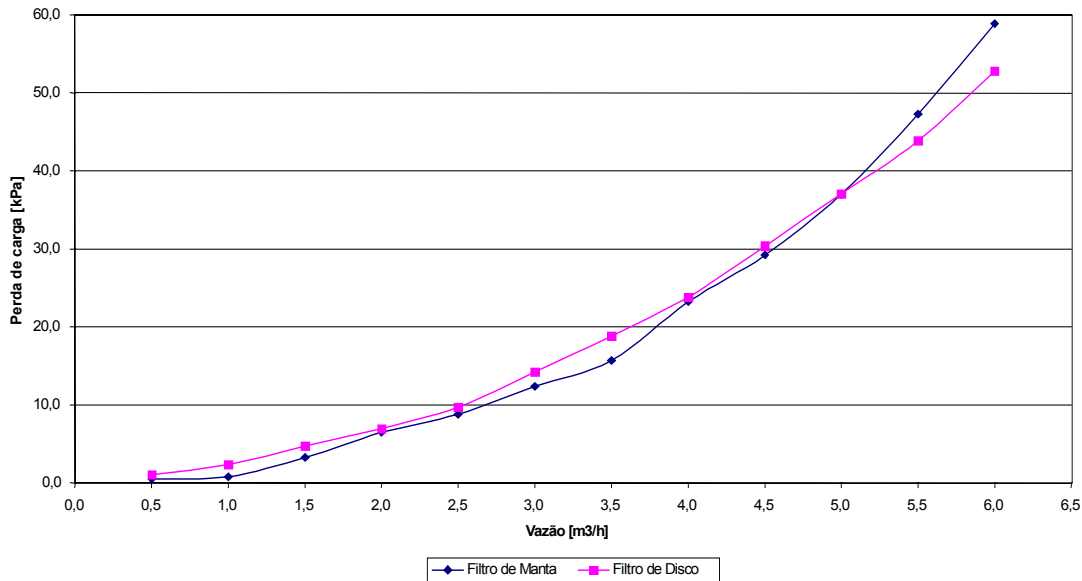


Figura 15 - Perda de carga localizada nos filtros de manta sintética (M1) e disco.

Pode-se visualizar no gráfico da Figura 15 que os valores obtidos da perda de carga nos dois elementos filtrantes são bem próximos. Para vazões inferiores a 4,0 m³/h notam-se valores de perda de carga localizada para o elemento de manta sintética inferiores aos valores medidos para o disco. Acima de 5,0 m³/h, a relação se inverte.

5.3. Análises da água

A partir das amostras de água coletadas conforme a programação dos ensaios, obtiveram-se dados para caracterização da água do reservatório de irrigação bem como dos efluentes aos filtros contendo os elementos filtrantes de disco e manta sintética não tecida.

5.3.1. Água do Reservatório

Os parâmetros de qualidade foram analisados a partir de amostras da água do reservatório que efetivamente abastecia o sistema, já que o ponto de coleta destas era localizado na linha principal de irrigação depois do sistema de bombeamento e antes do sistema injetor de fertilizantes. A partir destes resultados é possível qualificar a água utilizada para irrigação em cada período de experimentação, com relação ao risco potencial

de obstrução dos gotejadores e quantificar alguns dos parâmetros de qualidade da água de interesse relativo para irrigação localizada. Para a análise dos resultados obtidos foi adotada a classificação proposta por Bucks & Nakayama (1986).

Os Quadros 13, 14, 15 e 16 contêm os resultados das análises realizadas a partir de amostras coletadas da fonte de água do sistema de irrigação por gotejamento, nas 4 etapas de experimentação.

Quadro 13: Resultados das análises da água do reservatório realizadas na primeira etapa do projeto.

ENSAIOS	PARÂMETROS DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO							
	Físicos		Químicos				Biológicos	
	Sólidos Suspensos (mg/L)	Turbidez (NTU)	PH	Ferro (ppm)	Sulfetos (ppm)	Cond. Elétrica (dS/m)	Algas (nº/cm³)	Bactérias (nº/cm³)
1	5,0	3,88	7,1	1,0	1,0	0,056	165	600
2	0,0	2,69	7,3	0,5	1,0	0,076	255	1000
3	0,0	3,51	7,7	0,5	1,0	0,056	1295	6500
4	0,0	2,2	7,2	0,5	1,0	0,067	480	6500
5	0,0	3,39	7,1	0,5	1,0	0,045	770	6500
6	3,0	1,82	7,2	0,4	1,0	0,05	705	680
7	1,0	2,31	7,7	0,5	1,0	0,067	315	270
8	3,0	2,29	7,2	0,4	2,0	0,062	460	900
9	3,0	3,41	7,3	0,4	1,0	0,047	310	440
10	1,0	2,8	7,5	0,5	1,0	0,063	215	990
Média	2,67	2,83	7,33	0,52	1,10	0,06	497	2438
Desvio	1,51	0,68	0,23	0,18	0,32	0,01	345	2812
Coef. Variação (%)	56,46	24,18	3,09	33,68	28,75	16,80	69,46	115,36
Risco de entupimento ¹	B	S/C	M	M	M	S/C	S/C	B

¹ - Dos gotejadores, segundo Bucks & Nakayama (1986), onde: B - baixo risco; M - Médio risco; A - Alto risco e S/C - Sem Classificação.

A concentração média de sólidos suspensos totais na água do reservatório, na primeira etapa da pesquisa, foi de 2,67 mg/L, com desvio padrão de 1,51 mg/L e elevado coeficiente de variação de 56,46%. A concentração média de sólidos suspensos totais é extremamente baixa e decorrente do fato do reservatório utilizado como fonte de abastecimento ter água parada. Certamente há sedimentação do material em suspensão na água. O fato de ter havido algumas análises com resultado de sólidos suspensos nulo deve-se à precisão da balança analítica utilizada, além do baixo volume filtrado no procedimento em laboratório (100 mL). A partir do sexto ensaio, as pesagens passaram a ser efetuadas em

uma balança mais precisa, de forma que concentrações entre 0 e 5 mg/L puderam ser determinadas. Nas etapas que se seguiram além de se filtrar um volume maior de água amostrada, foi utilizada esta mesma balança, mais precisa, a fim de tornar os resultados mais confiáveis. Segundo Bucks & Nakayama (1986), uma concentração de sólidos suspensos de até 50 ppm (ou 50 mg/L), é considerada baixa e apresenta baixo risco de obstrução dos emissores.

Assim como a concentração de sólidos suspensos, os valores obtidos de turbidez também foram baixos, indicando que no período a água apresentou boa qualidade. A turbidez média foi de 2,83 NTU com desvio padrão de 0,68 NTU e coeficiente de variação 24,18%. A variação da turbidez esteve entre 3,88 NTU e 1,82 NTU. A Figura 16 mostra a variação dos valores dos parâmetros físicos obtidos.

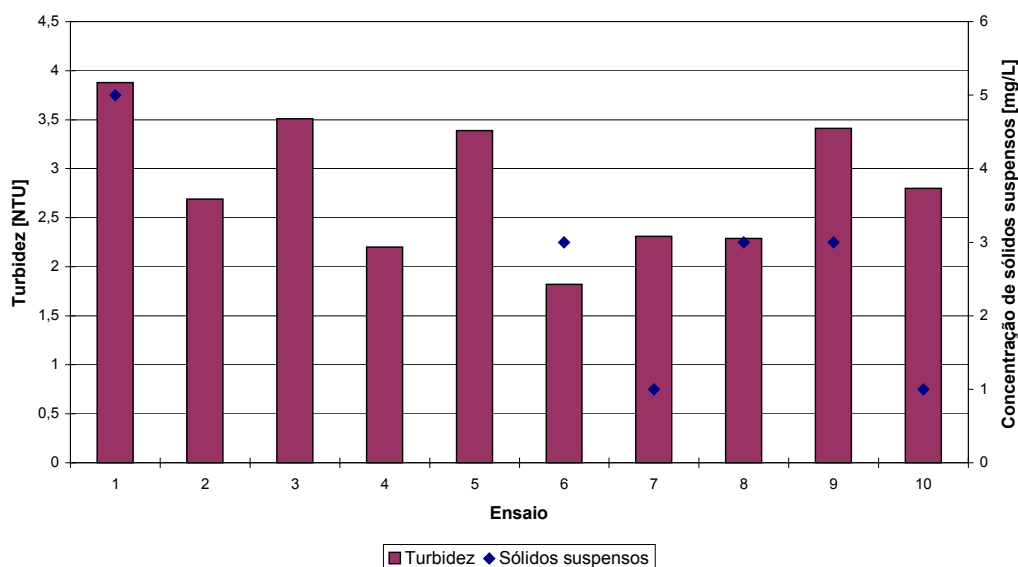


Figura 16 - Variação da turbidez e concentração de sólidos suspensos na água do reservatório analisadas na primeira etapa.

Nota-se no gráfico da Figura 16 uma pequena faixa de variabilidade dos valores de turbidez, entre aproximadamente 2,0 e 4,0 NTU.

O potencial hidrogeniônico (pH) medido na água, variou entre 7,1 e 7,7, apresentando média de 7,33, com desvio padrão de 0,23 e coeficiente de variação de apenas

3,09%, confirmando a baixa variação deste parâmetro ao longo do período de testes. Segundo a classificação proposta por Bucks & Nakayama (1986) este valor indica um risco médio de obstrução dos gotejadores, pois se encontra entre 7,0 e 8,0. Potenciais hidrogeniônicos elevados (acima de 8,0) podem promover a precipitação de sais, principalmente do carbonato de cálcio. O ideal é que o pH da água de irrigação por gotejamento esteja próximo de 6,5 (Bucks & Nakayama, 1986).

A concentração de ferro total presente na água de irrigação esteve entre 0,40 ppm e 1,0 ppm durante a primeira etapa, apresentando valor médio de 0,52 ppm, com desvio padrão de 0,18 ppm e coeficiente de variação de 33,68%. Segundo a classificação proposta por Bucks & Nakayama (1986), este valor representa um risco médio de entupimento de gotejadores já que está num intervalo entre 0,2 e 1,5 ppm. O ferro presente na água representa um problema, pois pode ser precipitado na forma de óxido ou na forma de hidróxido (transformação pelas bactérias). Este elemento contribui também para a formação de mucilagens produzidas por ferrobactérias.

Assim como o ferro presente na água do reservatório, a concentração média de sulfetos nos 10 ensaios realizados também representou um risco médio de obstrução dos emissores. Esta variou entre 1,0 e 2,0 ppm, com valor médio de 1,10 ppm e desvio padrão de 0,32 ppm. O coeficiente de variação obtido foi de 28,75%. Segundo Bucks & Nakayama (1986), valores entre 0,2 e 2,0 ppm de sulfetos representam um risco médio de obstrução dos gotejadores. Em águas que contenham sulfetos, especialmente o sulfeto de hidrogênio, pode ocorrer a formação de lodo de enxofre. A Figura 17 mostra a variação das concentrações de ferro total e sulfetos na água do reservatório na primeira fase da pesquisa. Nota-se alta uniformidade nos resultados obtidos de ambos parâmetros, especialmente da concentração de sulfetos que atingiu a concentração de 1,0 ppm em todos ensaios exceto no oitavo quando foi de 2,0 ppm.

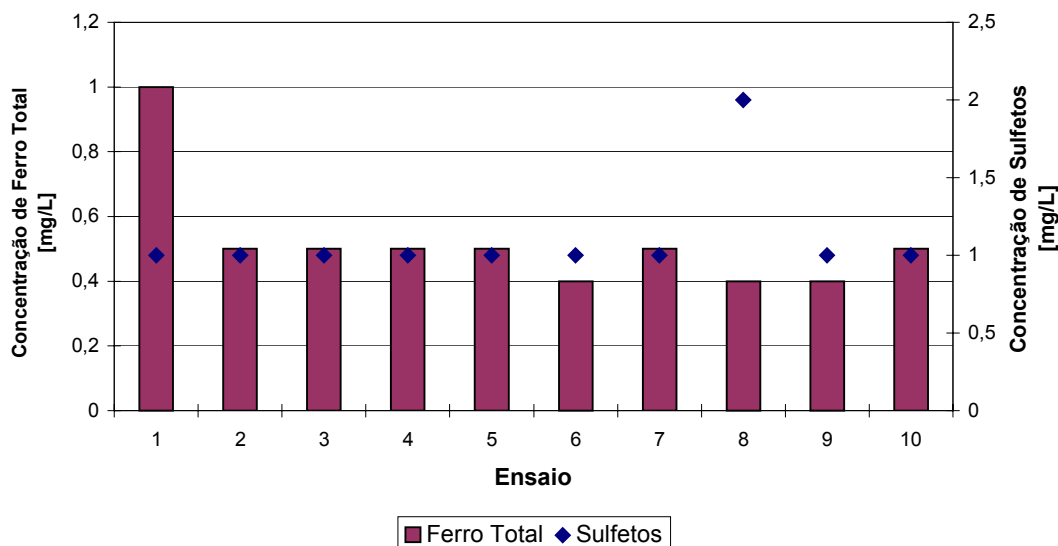


Figura 17 - Variação das concentrações de ferro total e sulfetos na água do reservatório, na primeira etapa.

A concentração de manganês presente na água pode ser considerada nula, já que esteve sempre abaixo do nível de detecção do método de análise, não representando portanto, risco potencial de entupimento aos emissores.

A condutividade elétrica média da água, medida nos 10 ensaios na primeira etapa do projeto, foi de 0,060 dS/m, com desvio padrão de 0,010 dS/m e um coeficiente médio de variação de 16,80%. Estes valores indicam que a água utilizada para a irrigação tem salinidade muito baixa e pouco variou ao longo da primeira etapa do projeto.

Entre os fatores biológicos que podem provocar o entupimento dos gotejadores foram analisadas as concentrações de algas e bactérias do reservatório.

As algas e bactérias são quantificadas em função de quantidade por volume (mililitro ou centímetro cúbico). O valor médio da concentração de algas obtido foi de 497 algas/cm³, com desvio padrão de 345 algas/cm³ e coeficiente de variação de 69,46%. Os altos valores do desvio padrão e principalmente do coeficiente de variação, indicam que houve grande variação da quantidade de algas presentes na água. De fato a maior concentração medida foi de 1295 algas/cm³ e a menor de 165 algas/cm³. Esta mudança dinâmica da população de algas pode representar um risco ao sistema de irrigação por

gotejamento se não houver um tratamento eficiente da água e indica uma grande sensibilidade destes organismos com relação às variações do meio.

Com relação à concentração de bactérias também foram verificadas mudanças rápidas e significativas em seus valores. O valor médio de bactérias medido no período foi de 2438 ufc/cm³, com desvio padrão de 2812 ufc/cm³ e coeficiente de variação de 115,36%. O valor máximo obtido no período foi de 6500 ufc/cm³, e o mínimo registrado de 270 ufc/cm³. Obtiveram-se novamente elevados desvios padrão da média e coeficientes de variação. A unidade ufc significa unidade formadora de colônia. Segundo Bucks & Nakayama (1986), o valor médio obtido deste parâmetro para o período de experimentação representa um risco baixo de obstrução dos emissores por estar abaixo de 10.000 ufc/cm³.

A Figura 18 ilustra a alta variabilidade dos resultados dos parâmetros biológicos para os 10 ensaios realizados. Nota-se ainda uma certa correlação entre as concentrações de algas e bactérias, já que na maior parte dos ensaios realizados o comportamento da variação da concentração destas duas variáveis foi semelhante.

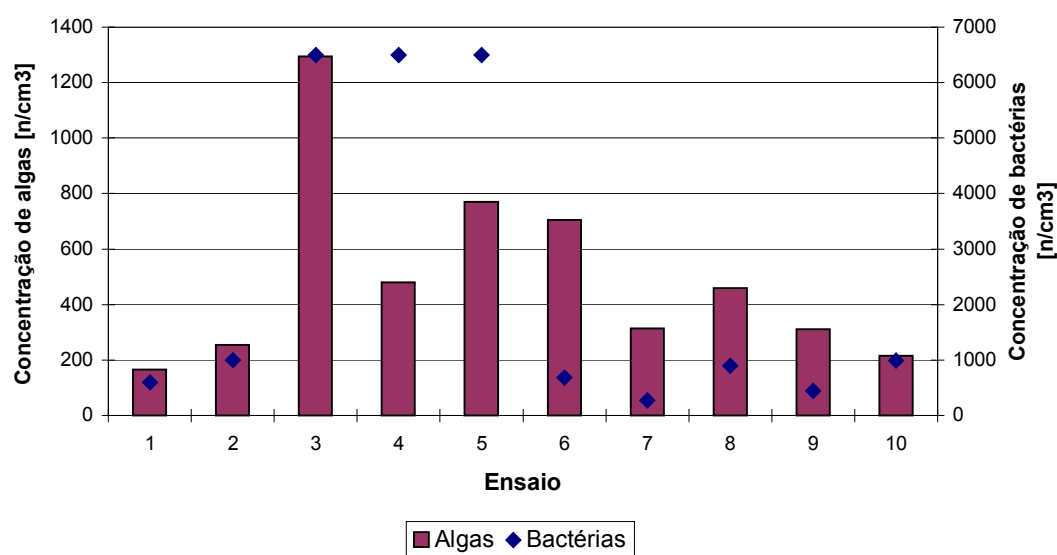


Figura 18 - Variação das concentrações de algas e bactérias na água do reservatório analisadas na primeira etapa.

De uma forma geral, pode-se afirmar que a água do reservatório apresentou, nesta primeira etapa da pesquisa, boa qualidade para abastecer um sistema de irrigação por

gotejamento. Exceto por alguns fatores químicos que apresentaram médio risco de obstrução aos emissores, entre eles, o pH, concentração de ferro total e sulfetos, todos os demais parâmetros de qualidade de água analisados resultaram em valores que não apresentam risco de entupimento aos gotejadores. Esta primeira etapa da pesquisa foi realizada no mês de julho de 2001, correspondendo a um mês típico da estação de inverno. Esta estação é caracterizada por baixas precipitação e temperatura média.

Quadro 14: Resultados das análises da água do reservatório realizadas na segunda etapa do projeto.

ENSAIOS	PARÂMETROS DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO							
	Físicos		Químicos				Biológicos	
	Sólidos Suspensos (mg/L)	Turbidez (NTU)	pH	Ferro (ppm)	Sulfetos (ppm)	Cond. Elétrica (dS/m)	Algas (nº/cm³)	Bactérias (nº/cm³)
1	12,0	10,8	7,4	1,5	1,0	0,06	995	1
2	8,5	8,36	7,8	1,7	2,0	0,056	930	1
3	13,5	9,42	7,5	1,0	2,0	0,045	1340	1
4	12,5	8,9	7,0	1,0	3,0	0,057	1340	1
5	10,0	7,72	7,2	1,0	2,0	0,045	1380	280
6	11,5	7,58	7,2	1,5	2,0	0,05	1015	110
7	11,0	6,19	7,4	1,0	1,0	0,051	1495	1500
8	10,0	11,9	7,7	1,5	1,0	0,049	1340	32
9	11,5	6,47	7,1	0,5	1,0	0,055	1555	3200
10	11,0	9,06	8,1	1,0	4,0	0,044	1530	1300
11	9,50	7,60	7,9	0,5	1,0	0,05	1780	1000
12	10,50	5,19	6,4	1,0	9,0	0,052	1820	7000
Média	10,96	8,27	7,39	1,10	2,42	0,05	1377	1202
Desvio	1,37	1,91	0,46	0,38	2,27	0,01	287	2065
Coef. Variação (%)	12,53	23,13	6,23	34,89	94,13	9,96	20,88	171,81
Risco de entupimento ¹	B	S/C	M	M	A	S/C	S/C	B

¹ - Dos gotejadores, segundo Bucks & Nakayama (1986), onde: B - baixo risco; M - Médio risco; A - Alto risco e S/C - Sem Classificação.

A segunda etapa da pesquisa foi realizada no mês de Setembro, na estação da Primavera.

As análises da concentração de sólidos suspensos da água do reservatório de irrigação resultaram num valor médio de 10,96 mg/L, desvio padrão de 1,37 mg/L e coeficiente de variação de 12,53%. Estes números revelam que houve um acréscimo substancial na quantidade de matéria em suspensão na água em relação a etapa anterior do projeto e também maior estabilidade deste parâmetro em função do baixo valor do coeficiente de variação obtido. Mas ainda assim, segundo a classificação proposta por Bucks & Nakayama (1986), o risco potencial de entupimento dos emissores permaneceu

baixo em função do valor médio obtido estar abaixo de 50 mg/L. A maior concentração de sólidos suspensos medida nesta etapa foi de 13,5 mg/L e a menor 8,5 mg/L.

Com relação à turbidez da água de irrigação, observou-se a mesma tendência que a verificada com os sólidos em suspensão. A média obtida no período foi de 8,27 NTU (com variações entre 5,19 e 11,9 NTU), desvio padrão de 1,91 NTU e coeficiente de variação de 23,13%. Houve um aumento do valor médio da turbidez e uma ligeira diminuição na variabilidade dos dados. O gráfico da Figura 19 mostra a variação das medidas dos parâmetros físicos analisados. Nota-se uma maior estabilidade nos valores de turbidez nos primeiro 6 ensaios. Já com relação aos sólidos em suspensão, uma maior variabilidade dos dados é observada a partir do sexto ensaio.

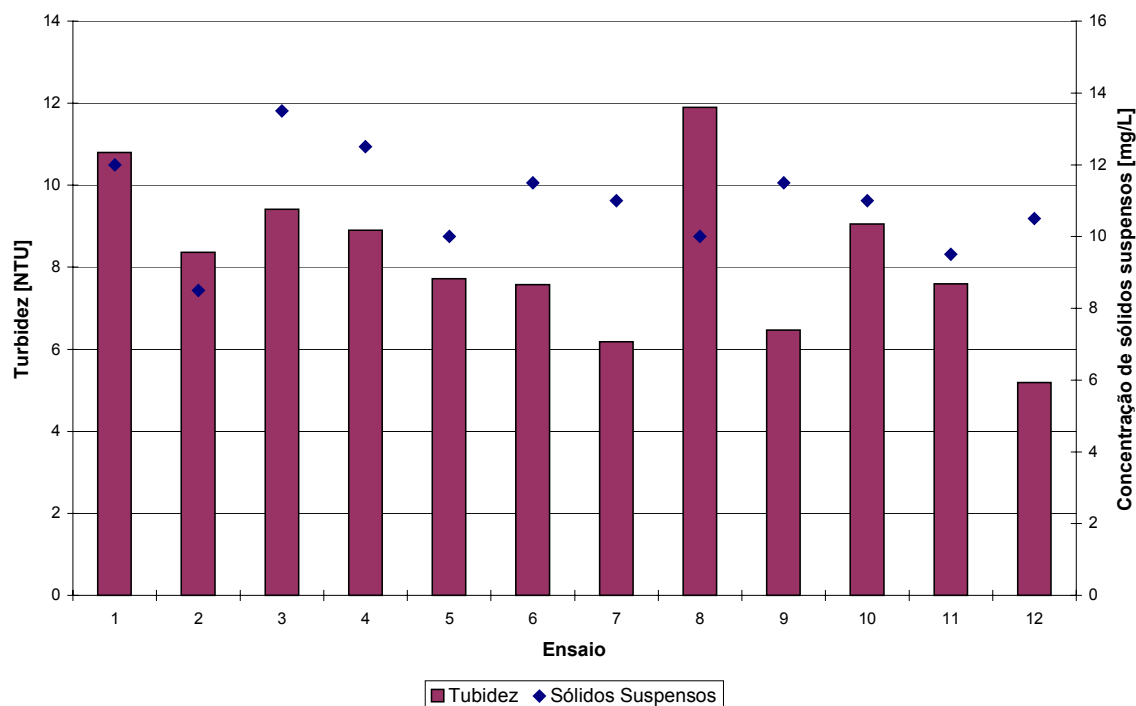


Figura 19 - Variação da turbidez e concentração de sólidos suspensos na água do reservatório analisadas na segunda etapa.

O potencial hidrogeniônico pouco variou com relação à primeira etapa. Houve um ligeiro acréscimo no seu valor médio, insuficiente para elevar o risco de obstrução dos gotejadores que permaneceu na faixa de médio risco. O valor médio de pH obtido foi de

7,39, desvio padrão de 0,46 e coeficiente de variação de 6,23%. O coeficiente de variação dos valores de pH medidos foi maior que na etapa anterior, porém continuou baixo.

A concentração de ferro total na água também sofreu um substancial aumento na segunda fase da pesquisa. Seu valor médio foi de 1,10 ppm (com variações entre 0,5 e 1,7 ppm), com desvio padrão de 0,38 ppm e coeficiente de variação de 34,89%. A variação observada nesta etapa para os valores da concentração de ferro foi equivalente àquela obtida na fase anterior. A elevação do valor da concentração de ferro na água não elevou qualitativamente o risco de obstrução dos emissores. No entanto, seu valor é muito próximo de 1,5 ppm, o que caracterizaria um risco alto de entupimento dos gotejadores.

Com relação aos sulfetos também observou-se maior concentração deste elemento quando comparada com a etapa anterior do estudo. O valor médio da concentração do elemento foi de 2,42 ppm (variando entre 1,0 e 9,0 ppm), com desvio padrão de 2,27 ppm e um alto coeficiente de variação de 94,13%. Este último valor indica que, em resposta a alguma alteração no meio, pode haver uma repentina mudança na concentração de sulfetos presentes na água. Para Bucks & Nakayama (1986), o valor médio de 2,42 ppm caracteriza um alto risco de entupimento dos emissores (superior a 2,0 ppm). Se forem observados os resultados das concentrações de sulfetos nas 12 medições realizadas nesta etapa, verifica-se que em 7 amostras a concentração de sulfetos foi igual ou superior a 2,0 ppm. A Figura 20 contém o gráfico com os resultados obtidos nesta segunda fase com relação às concentrações de ferro total e sulfetos. Verifica-se que a concentração de sulfetos atinge 9,0 ppm no último ensaio realizado. Nos ensaios anteriormente realizados, houve uma certa estabilidade nos valores deste parâmetro.

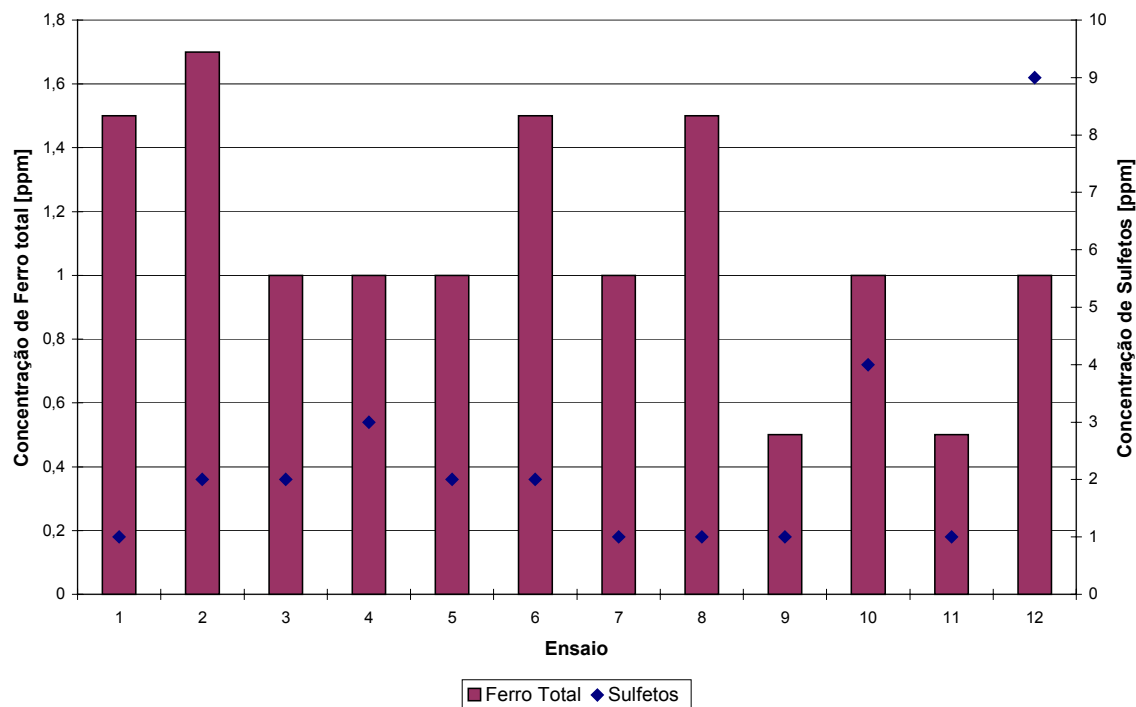


Figura 20 - Variação das concentrações de ferro total e sulfetos na água do reservatório, na segunda etapa.

Já a concentração de manganês na água de irrigação, novamente, não pode ser detectada pelo método de análise empregado, de forma tal que este parâmetro não representou qualquer risco ao sistema de irrigação por gotejamento. Este comportamento também foi verificado nas etapas finais.

A condutividade elétrica da água sofreu decréscimo neste período, já que a média obtida foi de apenas 0,050 dS/m, com desvio padrão de 0,010 dS/m e coeficiente de variação de 9,96%. Nesta etapa os valores de condutividade elétrica medidos mantiveram-se até mesmo mais estáveis do que aqueles observados na etapa predecessora.

Com relação aos fatores biológicos analisados, verificou-se um aumento na quantidade de algas presentes na água e um decréscimo na quantidade de bactérias.

O valor médio de algas contidas na água foi de 1377 algas/cm³, com desvio padrão de 287 algas /cm³ e coeficiente de variação de 20,88%. Observou-se um acréscimo na quantidade de algas presentes na água e uma queda substancial da variação das medidas (entre 930 e 1820 algas/cm³). Provavelmente a elevação natural das temperaturas e número

de horas diárias de sol possam explicar esta mudança na concentração de algas, em relação à fase predecessora.

Com relação às bactérias, verificou-se nesta fase uma queda acentuada no valor médio obtido. A quantidade média de bactérias foi de 1202 bactérias/cm³, desvio padrão de 2065 bactérias/cm³ e coeficiente de variação de 171,81%. Observou-se que no início do período de testes a quantidade de bactérias medida era insignificante. A partir da quinta medição, no entanto, o número de bactérias presentes na água de irrigação aumentou consideravelmente, o que justifica o elevado coeficiente de variação das medidas. Novamente o risco de entupimento dos emissores relacionados à quantidade de bactérias na água manteve-se baixo. A Figura 21 mostra a variação da concentração dos parâmetros biológicos analisados.

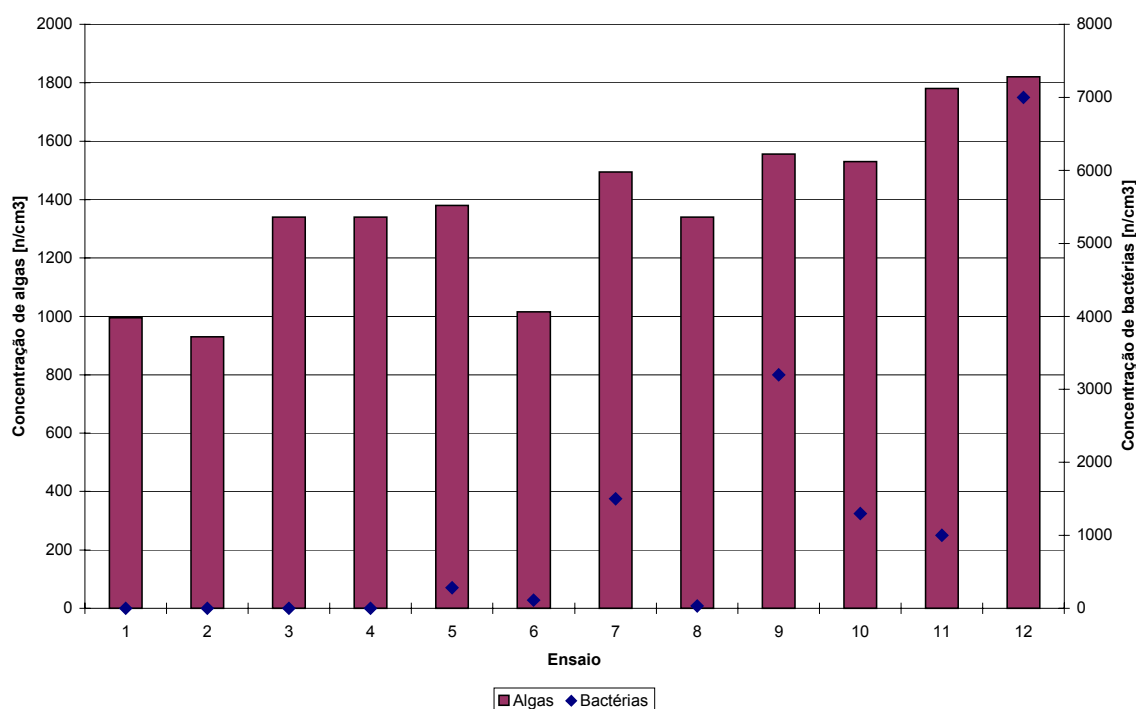


Figura 21 - Variação das concentrações de algas e bactérias na água do reservatório analisadas na segunda etapa.

A Figura 21 mostra uma tendência de crescimento constante ao longo do período de medição da variável concentração de algas. Nos primeiros ensaios realizados a concentração de algas era próxima de 1000 algas/cm³, chegando a aproximadamente 1800

algas/cm³ no final do período de testes. Apesar da baixa média de concentração de bactérias obtida nesta fase, verifica-se que após a sexta medição, houve um crescimento acelerado da população de bactérias presentes na água do reservatório atingindo um pico de aproximadamente 7000 bactérias/cm³.

Na segunda etapa de estudos, a qualidade da água do reservatório apresentou mudanças significativas em diversos parâmetros analisados. Estas mudanças promoveram uma queda na qualidade da água de irrigação evidenciada principalmente pelo aumento da concentração de sólidos suspensos totais, turbidez, concentrações de ferro, sulfetos e algas. Apesar do aumento nos valores médios destes parâmetros, somente o aumento da concentração de sulfetos elevou o risco de entupimento dos emissores de médio para alto. Os demais valores dos parâmetros analisados não propiciaram mudança na classe de risco de obstrução.

Quadro 15: Resultados das análises da água do reservatório realizadas na terceira etapa do projeto.

ENSAIOS	PARÂMETROS DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO							
	Físicos		Químicos				Biológicos	
	Sólidos Suspensos (mg/L)	Turbidez (NTU)	pH	Ferro (ppm)	Sulfetos (ppm)	Cond. Elétrica (dS/m)	Algas (nº/cm³)	Bactérias (nº/cm³)
1	14,0	7,12	6,8	0,6	1,0	0,047	485	190
2	12,5	9,13	6,9	1,0	2,0	0,049	515	200
3	13,5	10,5	6,6	0,8	2,5	0,05	390	330
4	15,0	9,86	6,9	0,7	3,0	0,056	120	10
5	19,0	11,0	6,9	0,6	3,0	0,042	655	160
6	19,0	10,0	7,7	0,2	2,0	0,053	395	760
7	18,5	13,3	7,8	1,0	3,0	0,053	555	26
8	24,5	16,9	7,2	0,8	5,0	0,047	315	320
9	22,5	13,9	7,4	1,0	4,0	0,049	705	10
Média	17,61	11,30	7,13	0,74	2,83	0,05	459	223
Desvio	4,17	2,93	0,42	0,26	1,17	0,01	179	236
Coef. Variação (%)	23,66	25,95	5,86	34,97	41,39	8,33	38,97	105,74
Risco de entupimento ¹	B	S/C	M	M	A	S/C	S/C	B

¹ - Dos gotejadores, segundo Bucks & Nakayama (1986), onde: B - baixo risco; M - Médio risco; A - Alto risco e S/C - Sem Classificação.

A terceira etapa da pesquisa foi realizada no mês de Janeiro, correspondendo a um mês típico da estação de verão. Nesta fase foram realizadas 9 medições ao longo de 30 dias.

Houve novos acréscimos nos valores de sólidos suspensos totais na água quando comparados aos valores médios obtidos nesta fase e na fase predecessora. A concentração

média de sólidos suspensos foi de 17,61 mg/L (variando entre 12,5 e 24,5 mg/L), desvio padrão 4,17 mg/L e coeficiente de variação de 23,66%. Observou-se também maior variabilidade dos dados. O aumento da concentração de sólidos suspensos totais na água não pode ser atribuído apenas às alterações no meio provocadas pela mudança de estação climática, mas também à introdução do compressor de ar no sistema. O mesmo pode ser dito com relação ao aumento médio da turbidez da água.

O valor médio da turbidez da água na terceira etapa foi de 11,30 NTU (com valor mínimo de 7,12 NTU e máximo de 16,9 NTU), desvio padrão de 2,93 NTU e coeficiente de variação de 25,95%. Este último ligeiramente maior que o obtido anteriormente. O gráfico da Figura 22 mostra a variação da concentração de sólidos suspensos e turbidez da água do reservatório na terceira etapa da pesquisa.

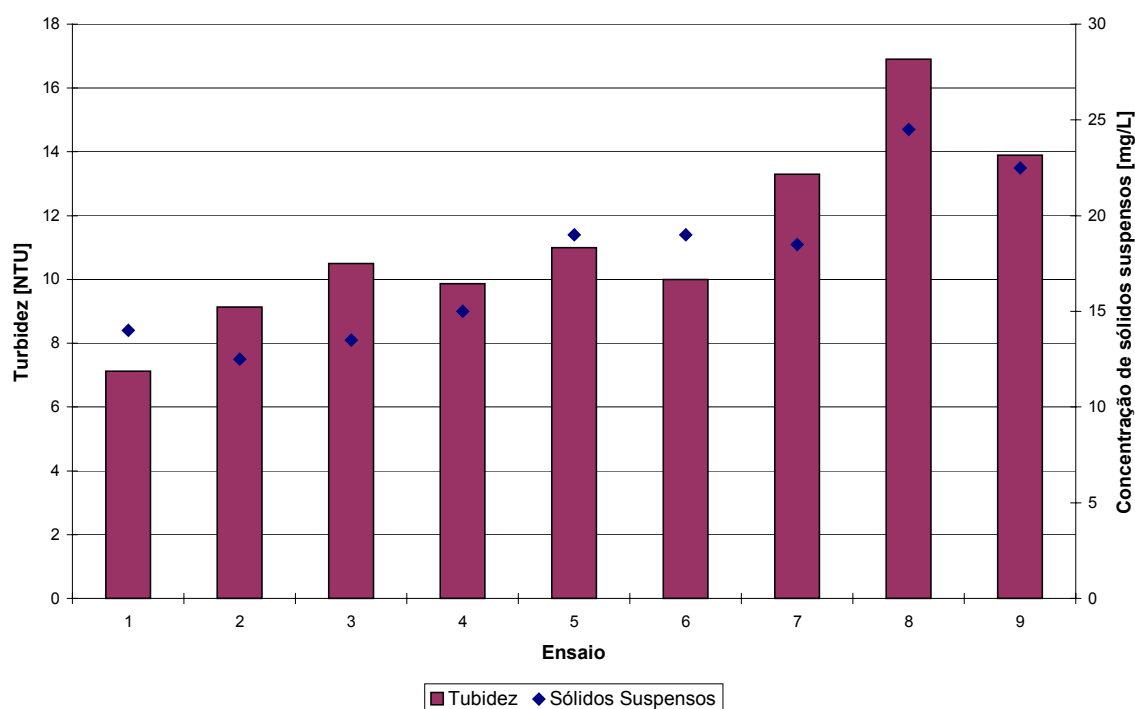


Figura 22 –Variação da turbidez e concentração de sólidos suspensos na água do reservatório analisadas na terceira etapa.

No gráfico da Figura 22 é possível constatar que há uma tendência de crescimento tanto dos valores de turbidez (de cerca de 7,0 NTU à 17,0 NTU), quanto dos valores de sólidos suspensos (que variaram entre aproximadamente 15,0 mg/L e 25,0 mg/L) medidos

durante os 9 ensaios realizados. Nota-se, visualmente, que existe uma forte correlação entre os valores de sólidos suspensos totais e turbidez da água.

O potencial hidrogeniônico sofreu ligeira queda em relação à etapa anterior. Seu valor médio foi de 7,13, o desvio padrão 0,42 e o coeficiente de variação de apenas 5,86%. Novamente a classificação, segundo Bucks & Nakayama (1986) foi de médio risco de entupimento aos gotejadores.

A concentração de ferro total caiu para um valor médio no período de 0,74 ppm, com desvio padrão de 0,26 ppm e coeficiente de variação de 34,97%. A variação dos valores permaneceu praticamente constante em relação à fase anterior. O risco de entupimento dos emissores, segundo a classificação adotada, novamente foi médio.

A concentração média de sulfetos na água do reservatório voltou a subir nesta fase, atingindo 2,83 ppm, com desvio padrão de 1,17 ppm e coeficiente de variação de 41,39%. Embora os valores da concentração de sulfetos tenham sido mais constantes em relação à fase anterior, ainda assim o coeficiente de variação foi elevado. A concentração máxima medida no período foi de 5,0 ppm e a mínima de 1,0 ppm. O risco de entupimento dos gotejadores permaneceu alto segundo Bucks & Nakayama (1986). A Figura 23 mostra as medidas das concentrações de ferro total e sulfetos, realizadas no terceiro período de experimentação.

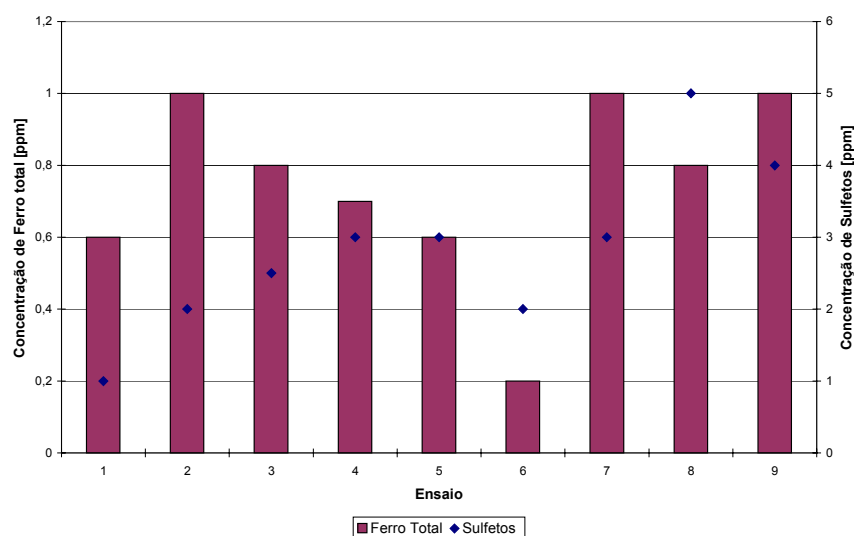


Figura 23 –Variação das concentrações de ferro total e sulfetos na água do reservatório, na terceira etapa.

O gráfico da Figura 23 mostra uma tendência de crescimento na concentração de sulfetos, que passou de valores da ordem de 1,0 ppm no início do período à 5,0 ppm ao final dos ensaios. Já a concentração de ferro total variou muito no período, sem tendência de crescimento ou decréscimo ao longo dos ensaios.

A condutividade elétrica média apresentou o mesmo valor da segunda fase, de 0,050 dS/m, desvio padrão nulo e coeficiente de variação de 8,33%.

Nesta fase, ambos os parâmetros biológicos analisados sofreram quedas abruptas em suas concentrações.

A quantidade média de algas resultantes das 9 medidas efetuadas no período foi de 459 algas/cm³, o desvio padrão 179 algas/cm³ e o coeficiente de variação de 38,97%. Este último cresceu em relação à fase anterior.

A quantidade média de bactérias foi também mais baixa, 223 bactéria/cm³, com desvio padrão de 236 bactéria/cm³ e coeficiente de variação de 105,74%. A variação das medidas de bactérias caiu em relação a fase predecessora.

O gráfico da Figura 24 ilustra bem a alta variabilidade dos dados tanto da concentração de algas quanto de bactérias. Verificam-se também baixos valores nas concentrações medidas.

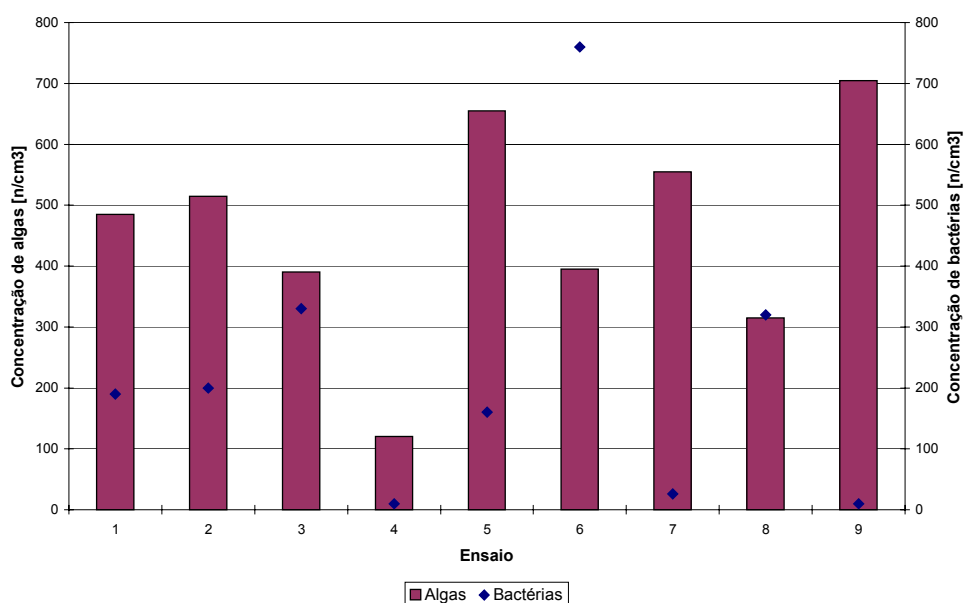


Figura 24 –Variação das concentrações de algas e bactérias na água do reservatório analisadas na terceira etapa.

Nesta terceira fase houve basicamente, elevação dos valores médios dos parâmetros físicos, queda dos valores dos parâmetros químicos (exceto concentração de sulfetos) e também dos parâmetros biológicos. Pode-se atribuir a elevação nas concentrações de sólidos suspensos e da turbidez da água à ação do compressor de ar no sistema, que tinha a função de promover a suspensão das partículas sedimentadas sobre o fundo do reservatório. Mas as mudanças não foram substanciais de forma que a classificação do risco de entupimento de cada fator analisado permaneceu inalterada, quando comparada à fase anterior.

Quadro 16: Resultados das análises da água do reservatório realizadas na quarta etapa do projeto.

Nº DE ENSAIOS	PARÂMETROS DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO							
	Físicos		Químicos				Biológicos	
	Sólidos Suspensos (ppm)	Turbidez (NTU)	pH	Ferro (ppm)	Sulfetos (ppm)	Cond. Elétrica (dS/m)	Algas (nº/cm³)	Bactérias (nº/cm³)
1	16,0	10,0	7,3	0,5	3,0	0,051	495	5400
2	18,0	9,1	6,6	0,5	2,0	0,058	700	3900
3	22,5	8,96	6,7	1,0	2,0	0,032	205	260
4	19,0	8,86	7,0	1,0	2,0	0,080	695	760
5	21,0	10,2	6,8	0,5	16,0	0,070	410	200
6	22,5	8,29	6,9	0,5	2,0	0,049	950	970
7	23,5	13,4	6,7	0,3	2,0	0,090	355	3200
8	19,0	14,5	6,9	0,3	2,0	0,058	430	840
9	18,0	7,45	6,9	0,2	2,0	0,052	515	780
10	17,5	10,6	7,0	0,0	2,0	0,054	365	710
Média	19,7	10,14	6,88	0,48	3,50	0,059	512	1702
Desvio	2,51	2,23	0,19	0,32	4,40	0,017	216	1798
Coef. Variação	12,78	21,97	2,89	66,46	125,81	28,00	42,12	105,62
Risco de entupimento ¹	B	S/C	B	M	A	S/C	S/C	B

¹ - Dos gotejadores, segundo Bucks & Nakayama (1986), onde: B - baixo risco; M - Médio risco; A - Alto risco e S/C - Sem Classificação.

A média da concentração de sólidos suspensos na água do reservatório obtida na última fase do projeto, realizada na estação do outono, foi de 19,7 mg/L, com desvio padrão de 2,51 mg/L e coeficiente de variação de 12,78%. Observou-se ligeiro aumento no sólidos em suspensão em relação à terceira fase, e ainda uma maior uniformidade nos dados. O risco de entupimento permaneceu baixo segundo a classificação proposta por Bucks & Nakayama (1986).

A turbidez, por sua vez, apresentou um valor médio inferior em relação à fase predecessora, de 10,14 NTU, com desvio padrão de 2,23 NTU e coeficiente de variação de 21,97%.

O gráfico da Figura 25 mostra a evolução dos resultados obtidos, tanto de sólidos em suspensão, como de turbidez da água, nesta quarta etapa da pesquisa.

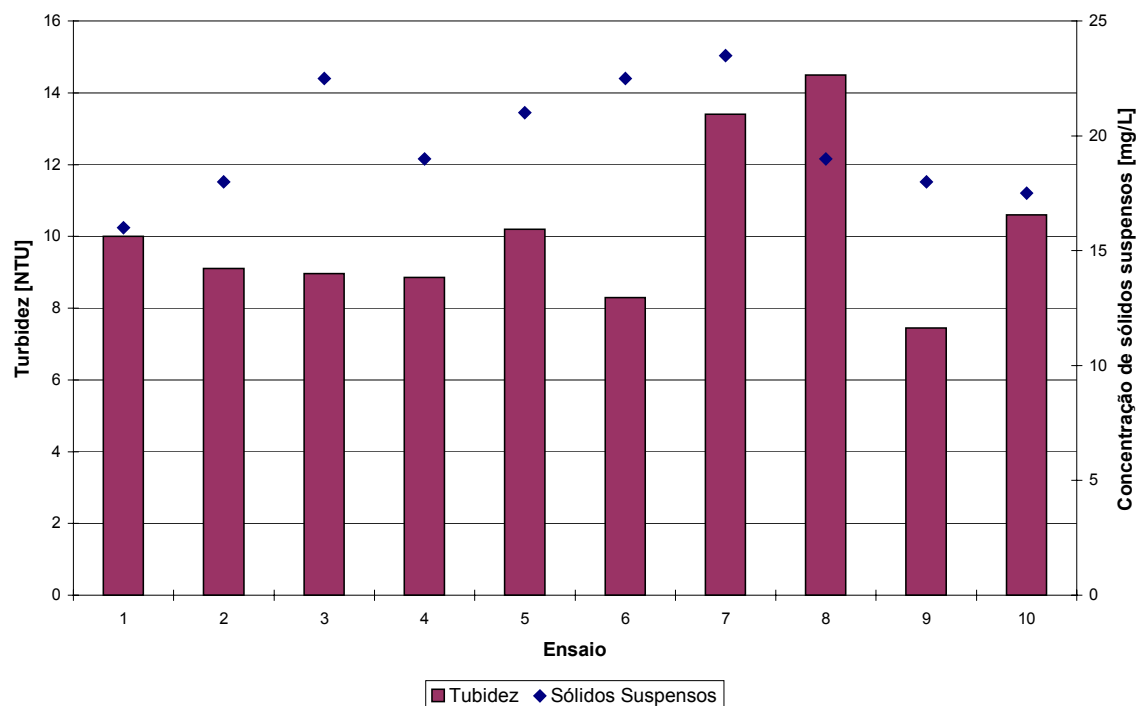


Figura 25 – Variação da turbidez e concentração de sólidos em suspensos na água do reservatório analisadas na quarta etapa.

Pelo gráfico da Figura 25 pode-se perceber que houve baixa variação dos dados referentes aos sólidos suspensos da água do reservatório. A turbidez da água variou principalmente nos quatro ensaios finais. Assim como observado anteriormente, observa-se uma correlação entre os valores de sólidos suspensos e turbidez da água.

O pH apresentou queda em relação ao valor médio obtido na terceira fase do experimento, atingindo o menor valor entre todas as fases realizadas. A média do pH foi de 6,88, com desvio padrão de 0,19 e coeficiente de variação de 2,89%, indicando alta precisão dos dados. Esta queda no pH da água do reservatório reduziu o risco de entupimento dos gotejadores de médio (obtido nas 3 fases anteriores) para baixo.

A concentração média de ferro total na água de irrigação voltou a cair, muito embora o risco potencial de entupimento tenha permanecido médio. O valor médio da concentração de ferro total foi de 0,48 ppm, desvio padrão 0,32 ppm e coeficiente de variação de 66,42%, indicando alta variabilidade das medidas.

A concentração média de sulfetos aumentou em relação a terceira etapa da pesquisa, atingindo 3,50 ppm, com desvio padrão de 4,40 ppm e coeficiente de variação de 125,81%. A alta média obtida e alta variabilidade dos dados sofreram influência direta da alta concentração de sulfetos obtida, de 16,0 ppm, no quinto ensaio realizado. O risco médio de entupimento dos emissores permaneceu alto segundo a classificação adotada.

Nota-se através do gráfico da Figura 26 que a concentração de sulfetos na água do reservatório foi sempre constante, exceto pelo valor obtido no quarto ensaio. Neste, o valor medido foi de 16,0 ppm, muito acima do valor de 2,0 e 3,0 ppm obtido nos demais ensaios. Já a concentração de ferro total presente na água de irrigação variou bastante, apresentando tendência de queda ao longo dos ensaios. Nos ensaios de número 2 e 3 a concentração de ferro total medida foi de 1,0 ppm, atingindo apenas 0,2 ppm no ensaio de número 8 e nenhuma concentração de ferro foi obtida no ensaio final desta fase.

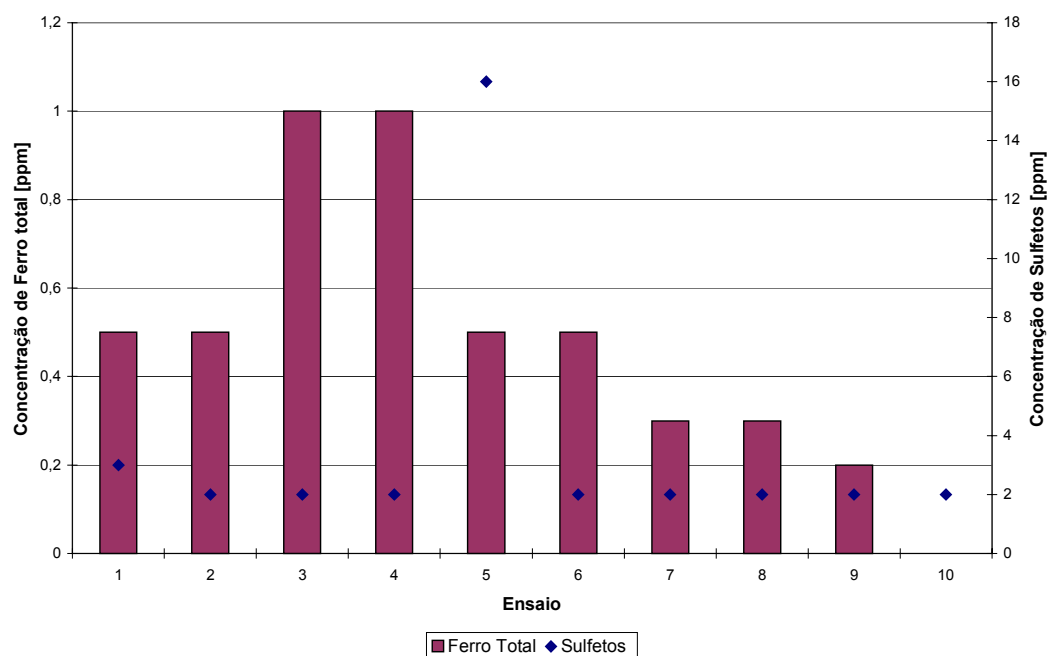


Figura 26 – Variação das concentrações de ferro total e sulfetos na água do reservatório, na quarta etapa.

O valor médio da condutividade elétrica obtido nesta fase foi de 0,059 dS/m, com desvio padrão de 0,017 dS/m e coeficiente de variação de 28%. Houve ligeiro aumento do valor deste parâmetro em relação à fase anterior.

Tanto as concentrações médias de algas quanto de bactérias foram maiores que as obtidas na fase anterior. O valor médio de algas foi de 512 algas/cm³, com desvio padrão de 216 algas/cm³ e coeficiente de variação de 42,12%.

O valor médio de bactérias medido no período foi de 1702 bactérias/cm³, com desvio padrão de 1798 bactérias/cm³ e coeficiente de variação de 105,62%. O gráfico da Figura 27 mostra a variação das concentrações de algas e bactérias ao longo da quarta etapa.

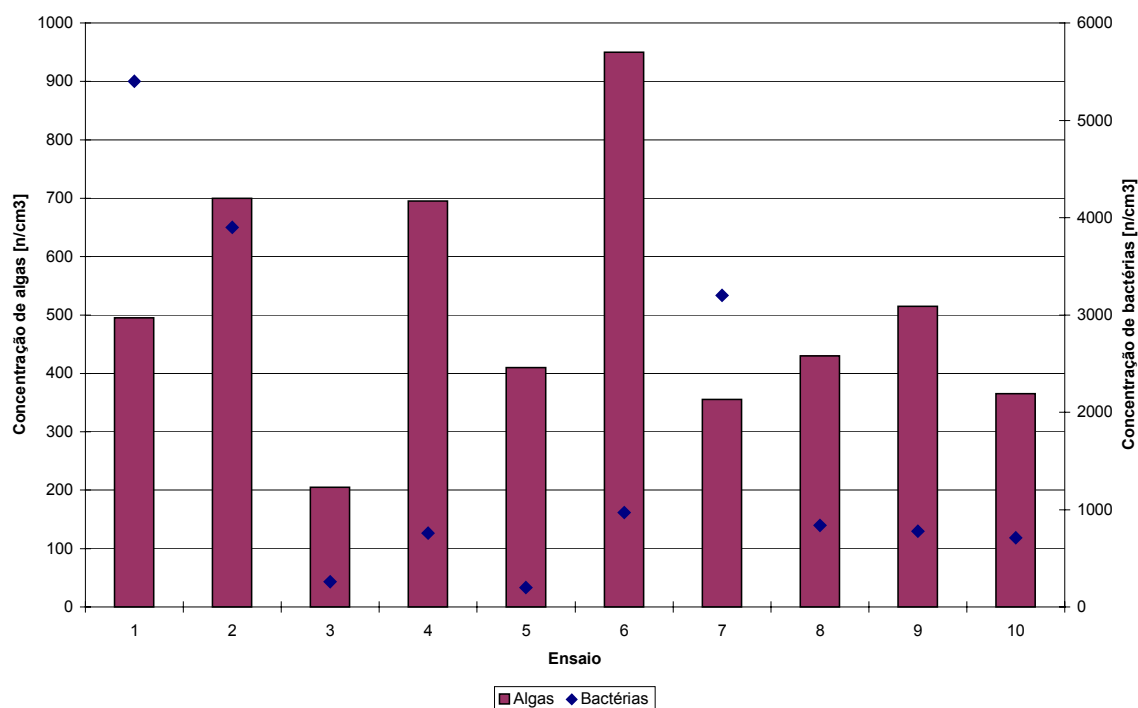


Figura 27 –Variação das concentrações de algas e bactérias na água do reservatório analisadas na quarta etapa.

Ambos parâmetros biológicos analisados apresentaram grande variação dos resultados. A população de bactérias sofreu uma queda brusca entre os primeiro e terceiro ensaios, voltando a crescer e atingindo um pico no sétimo e caindo novamente até o ensaio

de número 10. A concentração de algas na água do reservatório também variou muito ao longo dos ensaios, atingindo seu valor máximo no sexto ensaio.

Nesta última fase, exceto pela turbidez da água, pH e concentração de Ferro Total, houve aumento de todos os parâmetros de qualidade da água analisados. No entanto, a única mudança em relação ao risco de entupimento dos gotejadores que houve, foi a diminuição do risco em relação ao pH, de médio para baixo.

A seguir, construíram-se gráficos da variação dos diferentes parâmetros analisados entre as quatro fases experimentais. Para isso, utilizaram-se os valores médios de cada parâmetro, em cada fase, a fim de obter uma visão geral das mudanças ocorridas entre as etapas.

O gráfico da Figura 28 mostra a variação média dos parâmetros físicos, turbidez e sólidos suspensos, nas 4 etapas realizadas.

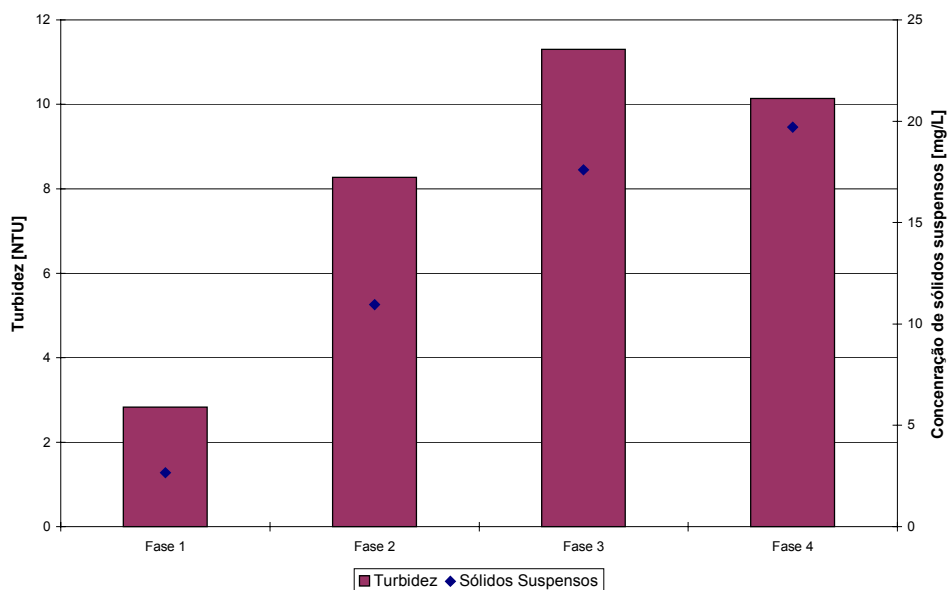


Figura 28 – Variação média da turbidez e concentração de sólidos suspensos na água do reservatório analisadas nas 4 etapas da pesquisa.

Verifica-se que houve um crescimento constante dos valores médios tanto de turbidez, quanto da concentração de sólidos suspensos da água do reservatório de irrigação até a terceira etapa da pesquisa. Na quarta etapa, o valor médio de turbidez foi ligeiramente menor que o obtido na etapa anterior e a concentração média de sólidos suspensos atingiu

seu maior valor entre as 4 fases do experimento. Verifica-se uma correlação entre os parâmetros físicos analisados. Mesmo crescendo, na média, cerca de 10 vezes da primeira para a quarta etapa, a concentração de sólidos suspensos não atingiu magnitudes muito elevadas a ponto de oferecer riscos médio ou alto de entupimento aos emissores.

O gráfico da Figura 29 mostra a variação do pH médio da água do reservatório obtido em cada etapa. Nota-se alta constância dos dados. Nas 3 etapas iniciais o valor de pH esteve sempre acima de 7,0, já na etapa final, o pH médio obtido foi de 6,88. O maior valor de pH ocorreu na segunda fase (7,39). O pH abaixo de 7,0 representa baixo risco de entupimento dos gotejadores.

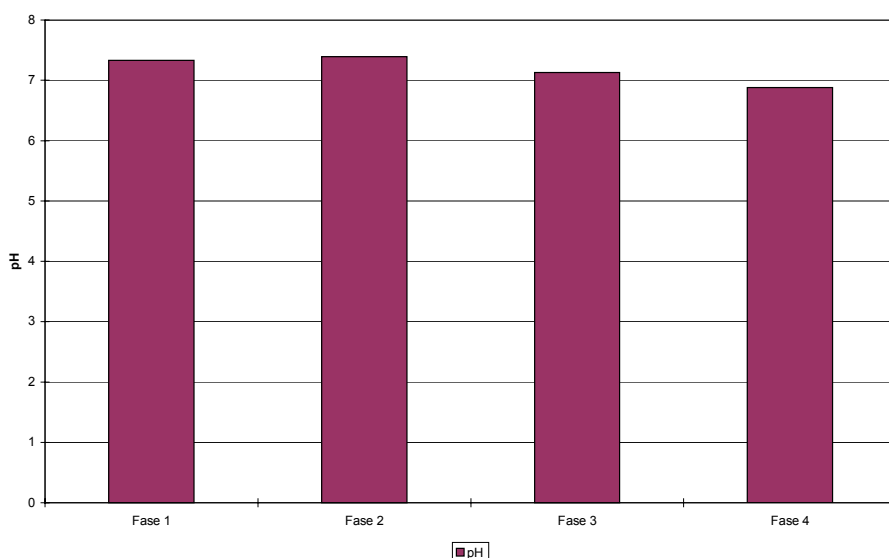


Figura 29 – Variação média do pH na água do reservatório nas 4 etapas da pesquisa.

O gráfico da Figura 30 mostra um crescimento contínuo da concentração média de sulfetos ao longo das 4 etapas realizadas. De um valor médio de aproximadamente 1,0 ppm medido na primeira etapa, chegou-se a 3,50 ppm na última etapa. Já a concentração de ferro total da água que sofreu uma elevação de aproximadamente 0,5 ppm para 1,1 ppm da primeira para a segunda etapa, e decaindo até cerca de 0,5 na etapa final. Com isso, a concentração de ferro sempre esteve num potencial médio de obstrução dos gotejadores, ao passo que a concentração de sulfetos foi potencialmente alta, a partir da segunda etapa.

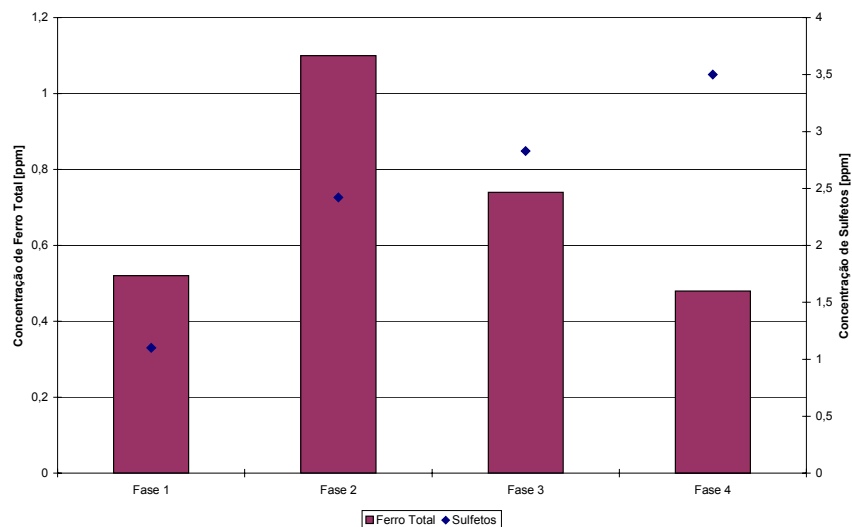


Figura 30– Variação média das concentrações de ferro total e sulfetos na água do reservatório analisadas nas 4 etapas da pesquisa.

O gráfico da Figura 31 ilustra a variação da condutividade elétrica média em cada etapa realizada. Verifica-se que, além dos baixos valores deste parâmetro obtidos nas 4 etapas, isentando a água do reservatório de qualquer problema relacionado à salinidade, houve uma queda dos valores nas estações da primavera e verão (etapas 2 e 3) e posterior aumento na fase final, igualando o valor obtido na primeira etapa.

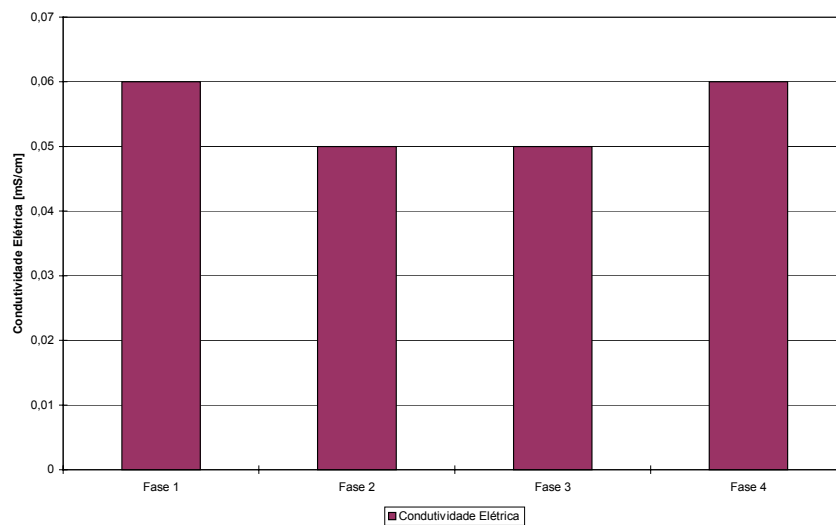


Figura 31 – Variação média da condutividade elétrica na água do reservatório analisadas nas 4 etapas da pesquisa.

O gráfico da Figura 32 apresenta os valores médios das quantidades de algas e bactérias presentes na água do reservatório. A concentração média de bactérias sofre elevada queda entre a primeira e a terceira etapa. Na fase final, houve um aumento significativo no valor médio da concentração de bactérias. Em nenhum momento, porém, este número esteve próximo a 10000 bactérias/cm³, considerado de risco moderado de entupimento dos emissores. Já a concentração média de algas, após grande crescimento observado entre a primeira e a segunda etapa, passando de aproximadamente 500 algas/cm³ à cerca de 1400 algas/cm³, decresceu na terceira etapa, crescendo muito pouco na quarta, atingindo valores equivalentes aos da primeira etapa.

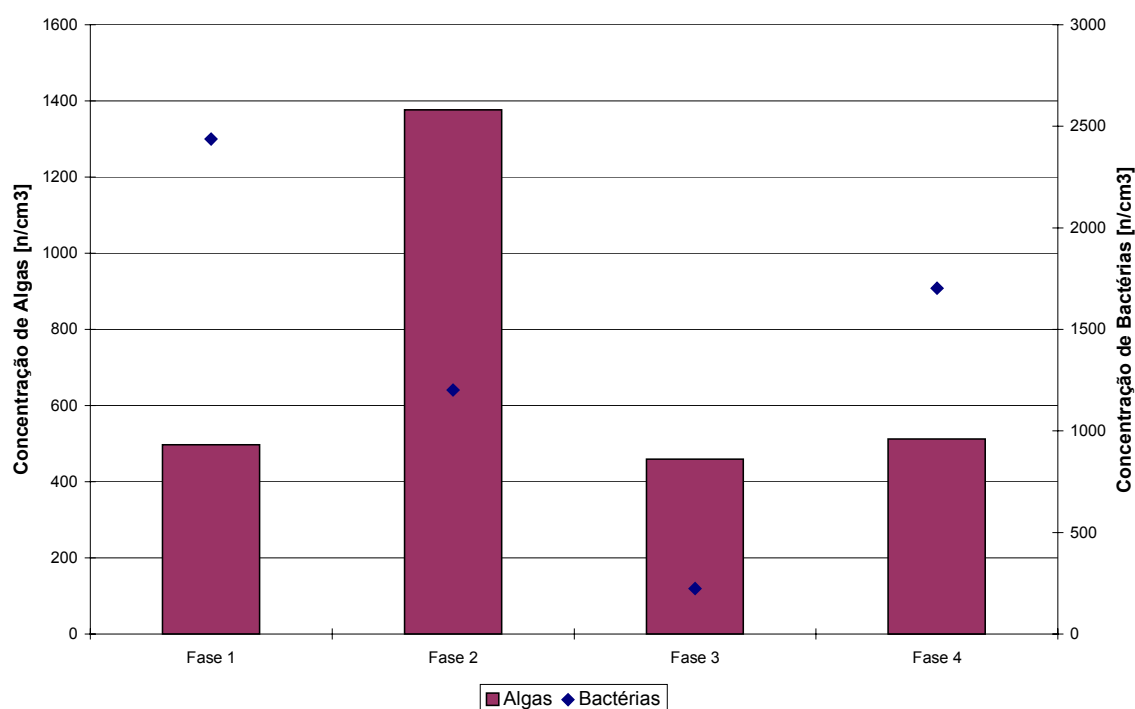


Figura 32 – Variação média das concentrações de algas e bactérias na água do reservatório analisadas nas 4 etapas da pesquisa.

Decorridas as 4 etapas do experimento, pode-se afirmar que a água do reservatório apresentou diferenças expressivas entre os diferentes parâmetros de qualidade de água analisados ao longo das diferentes etapas experimentais. Estas diferenças são decorrentes das mudanças climáticas locais, tais como temperatura, radiação solar, precipitação pluviométrica, além da influência causada pela suspensão do material sedimentado sobre o

fundo do reservatório provocada pelo compressor de ar. Um risco alto de entupimento dos gotejadores só foi proporcionado pela alta concentração de sulfetos na água nas 3 etapas finais. Já o pH e a concentração de ferro total da água, resultaram num risco médio de obstrução dos emissores. A concentração de sólidos suspensos apresentou crescimento contínuo ao longo das etapas, assim como a concentração de sulfetos. O fato do reservatório de irrigação ter água parada contribuiu para que houvesse sedimentação das partículas em suspensão da água, tornando-a com qualidade satisfatória para a irrigação por gotejamento.

5.3.2. Água efluente aos elementos filtrantes

As amostras coletadas antes e após os elementos filtrantes representam a água advinda do reservatório e água filtrada por um ou outro filtro. A partir destas amostras foram determinadas as concentrações de algas e bactérias, e turbidez e sólidos suspensos totais na água.

Como os resultados das amostras referentes à água do reservatório foram apresentados anteriormente, para se ter uma visão da qualidade da água utilizada na irrigação das parcelas de irrigação por gotejamento, apresentam-se aqui os resultados das amostras advindas dos pontos de coleta após os filtros. Em primeiro lugar, a água abastece simultaneamente ambas parcelas de gotejamento. Além disso, a água que chega até a entrada dos filtros sofre influência direta da fertirrigação, mesmo em baixa intensidade, conforme verificado em análises realizadas ao final da terceira etapa. Desta forma, não foram consideradas as remoções dos filtros de manta e disco como sendo a diferença entre a medida de determinado parâmetro de qualidade da água realizada antes (água do reservatório) e após os filtro, pois a injeção de fertilizantes ocorria num ponto intermediário. A comparação entre o desempenho dos elementos filtrantes passou a ser direta a partir dos resultados obtidos das amostras coletadas após os filtros. Em princípio, não se imaginava que a baixa concentração de fertilizantes pudesse incorrer em mudanças mensuráveis de determinados parâmetros analisados.

O Quadro 17 apresenta todos os resultados obtidos durante os ensaios da primeira fase das amostras de água coletadas após a passagem pelos filtros.

Quadro 17: Resultados dos parâmetros de qualidade de água medidos após os filtros, da primeira etapa.

ENSAIOS	PARÂMETROS FÍSICOS				PARÂMETROS BIOLÓGICOS			
	Sólidos Suspensos (mg/L)		Turbidez (NTU)		Algas (nº/cm³)		Bactéria (nº/cm³)	
	Manta	Disco	Manta	Disco	Manta	Disco	Manta	Disco
1	5,0	5,0	2,90	3,18	125	110	17	10
2	0,0	0,0	2,77	3,13	240	160	1300	3800
3	0,0	0,0	5,37	3,71	380	305	1000	1300
4	0,0	0,0	2,80	3,28	365	370	6500	5900
5	0,0	0,0	3,26	2,86	335	250	1000	800
6	2,0	5,0	1,65	1,84	340	460	340	1400
7	5,0	2,0	1,79	1,99	180	290	440	610
8	3,0	3,0	2,18	2,36	190	250	1100	1400
9	2,0	2,0	2,98	3,48	190	225	470	620
10	2,0	2,0	2,44	2,42	105	205	740	840
Média	1,90	1,90	2,81	2,83	245	263	1291	1668
Desv. Pad.	1,97	1,97	1,04	0,64	102	101	1873	1799
Coef. Variação (%)	103,64	103,64	36,92	22,66	41,72	38,50	145,11	107,88

O gráfico da Figura 33 mostra os resultados obtidos das análises de turbidez e da concentração de sólidos suspensos das amostras de água coletadas nos diferentes ensaios realizados na primeira etapa de experimentação para ambos os elementos filtrantes.

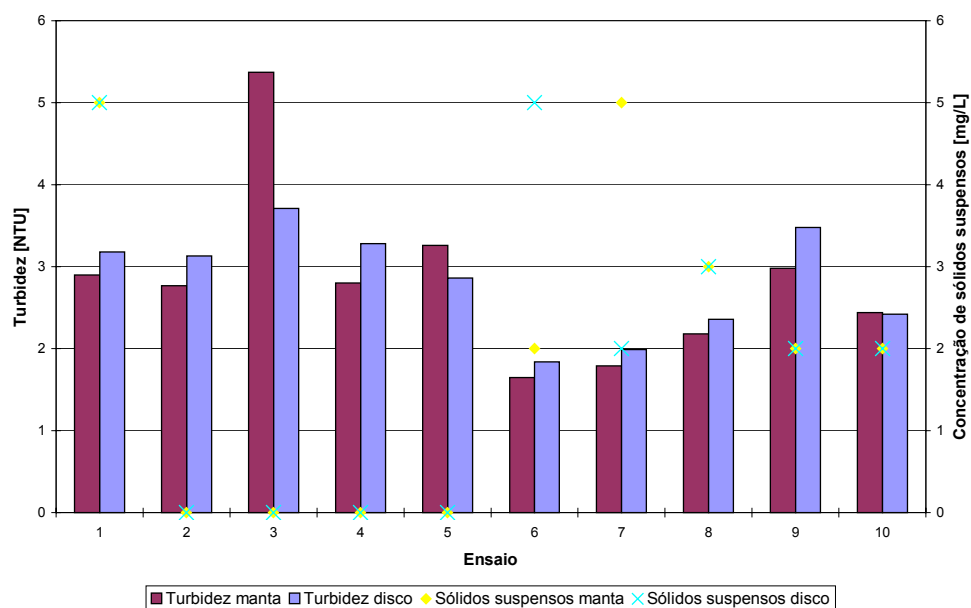


Figura 33 - Análises de turbidez e da concentração de sólidos suspensos na água medidas após os elementos filtrantes, na primeira etapa.

Pode-se verificar através do gráfico da Figura 33 que os valores obtidos das análises de turbidez da água coletada após os elementos filtrantes são bastante próximos. Nota-se ainda que na metade do período de ensaios houve uma ligeira diminuição da turbidez da água. A média dos valores medidos, na parcela com filtro de manta, foi de 2,81 NTU, com desvio padrão de 1,04 NTU e coeficiente de variação de 36,92%, contra um valor médio de 2,83 NTU, desvio padrão de 0,64 NTU e coeficiente de variação de 22,66%, medidos na parcela com filtro de disco. Portanto não foram observadas diferenças significativas entre as amostras coletadas no que diz respeito à turbidez da água.

Como fora dito anteriormente, os resultados iniciais de sólidos suspensos foram prejudicados em decorrência da utilização de uma balança de baixa precisão para pesagem dos cadinhos com os filtros utilizados nas análises deste parâmetro. Não foram detectadas diferenças nos valores médios das amostras coletadas a partir das duas parcelas de irrigação, de 1,90 mg/L, desvio padrão de 1,97 mg/L e coeficiente de variação de 103,64%. O valor elevado no coeficiente de variação está relacionado à desuniformidade dos dados em função das análises que resultaram em valor nulo.

Além desses dois parâmetros físicos, também foram determinadas, através de análises da água, as concentrações de algas e bactérias nas duas parcelas de irrigação. O gráfico da Figura 34 mostra a evolução destes parâmetros ao longo do primeiro período de ensaios.

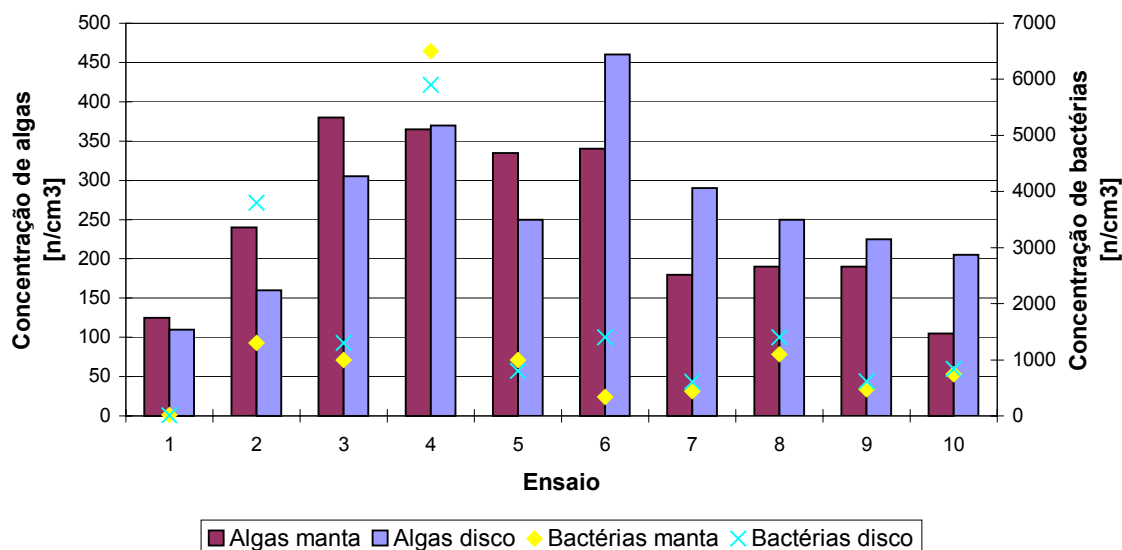


Figura 34 - Análises das concentrações de algas e bactérias na água medidas após os elementos filtrantes, na primeira etapa.

A concentração média de algas na linha com filtro de manta foi de 245 algas/cm³, com desvio padrão de 102 algas/ cm³ e coeficiente de variação de 41,72%, contra um valor médio de 263 algas/ cm³, desvio padrão de 101 algas/ cm³ e coeficiente de variação de 38,50% obtido na parcela com filtro de disco. Os maiores valores da concentração de algas em ambas parcelas de irrigação foram obtidas nos ensaios de número 3, 4, 5 e 6.

A média da população de bactérias na parcela com filtro de manta foi de 1291 bactérias/ cm³, com desvio padrão de 1873 bactérias/ cm³ e coeficiente de variação de 145,11%. Já na parcela com filtro de disco a média foi de 1668 bactérias/ cm³, o desvio padrão de 1799 bactérias/ cm³ e o coeficiente de variação de 107,88%.

Com relação aos parâmetros físicos, não houve diferença significativa nos resultados obtidos por um ou outro elemento filtrante nesta primeira etapa da pesquisa. Ressaltam-se os altos valores dos coeficientes de variação obtidos nas análises dos parâmetros biológicos, especialmente em relação às bactérias. Estes resultados mostram a alta sensibilidade destes parâmetros às variações do meio durante o curto período de experimentação.

Se por um lado, o elemento filtrante de manta sintética não tecida apresentou resultados semelhantes àqueles obtidos pelo filtro de disco no que se refere a remoção de

sólidos suspensos, turbidez, algas e bactérias da água de irrigação, por outro, a perda de carga localizada desenvolvida no filtro de manta foi significativamente superior à perda verificada no filtro de disco (vide item 5.7). Além disso, a qualidade da água nesta primeira etapa da pesquisa esteve muito boa. Como esperava-se que, com a realização das etapas seguintes, a qualidade da água piorasse muito em relação à primeira fase, a tendência seria obter perdas de carga localizada neste filtro ainda maior. Desta forma, decidiu-se optar por um novo elemento filtrante para dar prosseguimento à pesquisa. A nova manta sintética não tecida foi escolhida entre outras 3, após a realização de ensaios de campo na própria instalação experimental. Estes ensaios ocorreram logo após o término da primeira etapa de experimentação, entre os dias 15 de agosto e 15 de setembro de 2001.

5.3.2.1. Ensaios das mantas sintéticas

Apresentam-se aqui, os resultados dos ensaios realizados para a escolha de um novo elemento filtrante que foi utilizado nas etapas seguintes, em substituição à manta original.

Para o ensaio das novas mantas sintéticas seguiu-se a mesma metodologia adotada na primeira etapa da pesquisa, exceto com relação à duração do evento, que foi reduzida a fim de se testar o maior número de mantas sintéticas possível. As análises da água realizadas determinaram a concentração de sólidos suspensos totais e turbidez da água do reservatório e filtrada em ambas parcelas de irrigação. Foram testadas quatro novas mantas sintéticas denominadas aqui de: M2, M3, M4 e M5. Em todos os ensaios, houve comparação do desempenho da manta testada com o elemento de disco. As mantas M2 e M4 são de fabricação da 3M, e não foi possível ter acesso aos seus dados técnicos. Já as características das mantas M3 e M5 estão discriminadas no Quadro 18.

Quadro 18: Dados técnicos das mantas sintéticas não tecidas M3 e M5.

CARACTERÍSTICAS	M3	M5
Porosidade (%)	84	88
Permeabilidade (mm/s)	1,3	7,2
Gramatura (g/m ²)	680	380
Espessura (mm)	2,5	3,0

Fonte: Amoco do Brasil.

5.3.2.1.1. Manta M2

O gráfico da Figura 35 apresenta a evolução da perda de carga nos dois elementos filtrantes ao longo do tempo. Esta manta sintética não tecida apresentou perda de carga inferior àquela medida no filtro de disco. Construiu-se um gráfico da variação da perda de carga localizada em função do volume filtrado de água, que neste ensaio chegou a aproximadamente 10 m³.

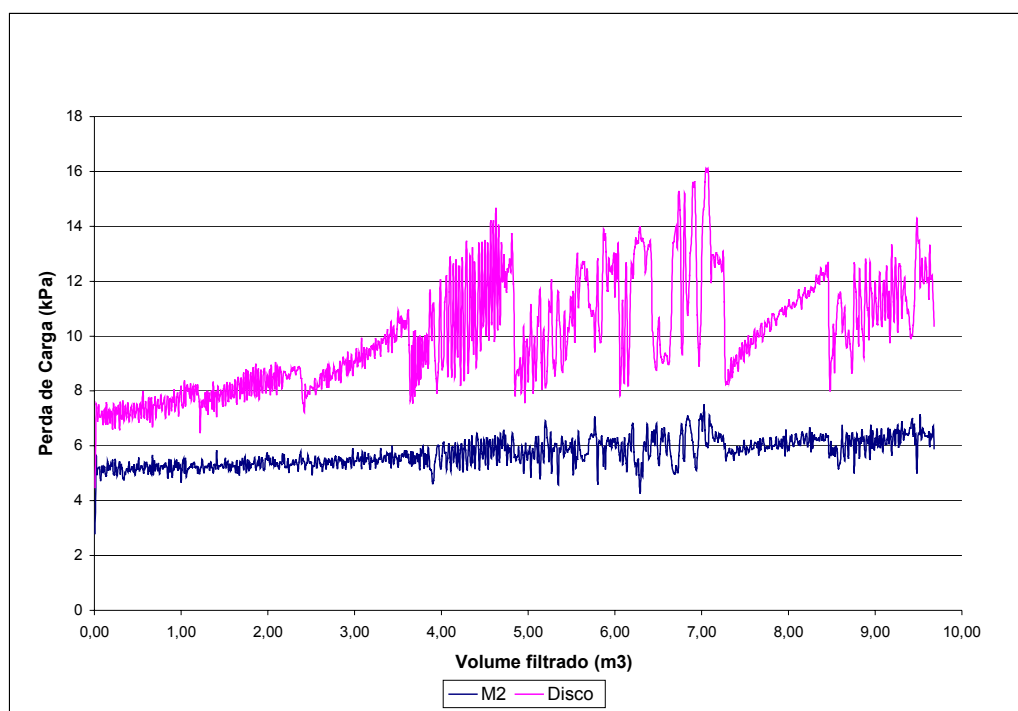


Figura 35 – Evolução da perda de carga localizada nos elementos filtrantes disco e manta M2.

Pode-se verificar no gráfico da Figura 35 que a perda de carga na manta M2 manteve-se sempre abaixo de 8,0 kPa, enquanto que no elemento de disco a perda de carga chegou a atingir valores próximos a 16,0 kPa.

Os gráficos apresentados a seguir mostram os resultados das análises da água realizadas neste ensaio para determinação da concentração de sólidos suspensos totais e da turbidez da água medidos antes e após os elementos filtrantes disco e manta M2.

Verifica-se pela Figura 36 que os valores de turbidez da água obtidos na parcela com filtro de manta foram sempre inferiores aos obtidos na parcela com filtro de disco. O valor médio da turbidez da água do reservatório foi de 5,63 NTU, contra 5,64 NTU da água filtrada pela manta M2 e 6,16 NTU da água filtrada pelo disco, com desvio padrão de 0,74 NTU, 0,83 NTU e 0,55 NTU respectivamente. A partir dos resultados de turbidez obtidos, calculou-se a eficiência de remoção da turbidez da água em cada parcela e traçou-se um gráfico com estes resultados.

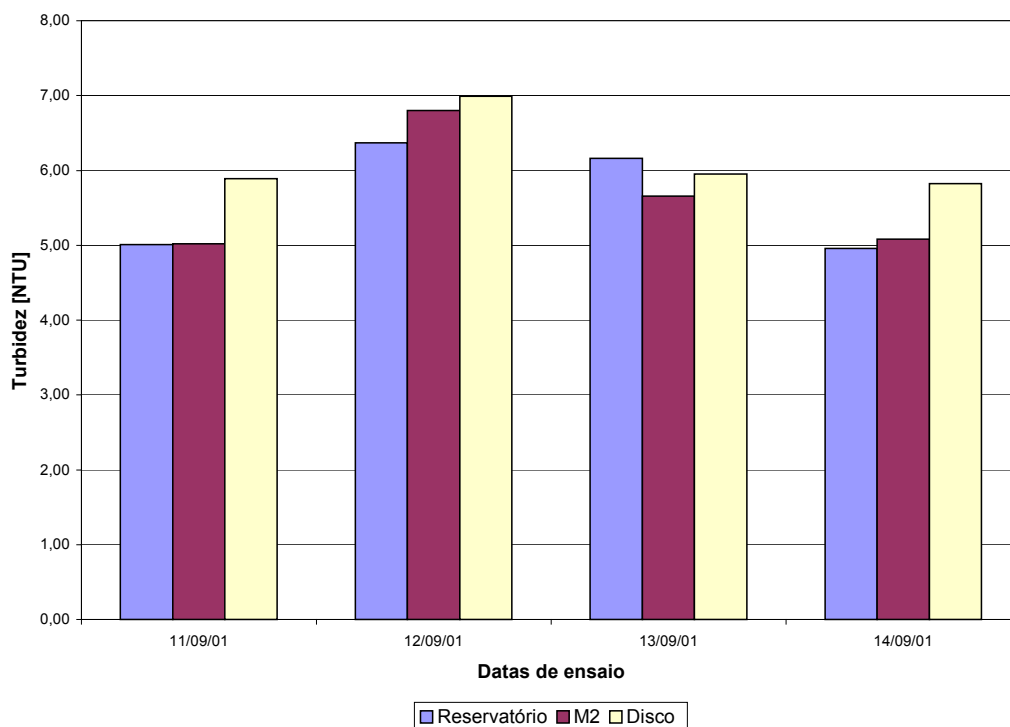


Figura 36 - Análise da turbidez da água medida no reservatório e após os elementos filtrantes disco e manta M2.

Verifica-se no gráfico da eficiência de remoção da turbidez da água (Figura 37) que houve um melhor desempenho do elemento filtrante de manta sintética em relação ao de disco. No entanto, em ambos elementos não houve remoção desejável da turbidez. A remoção média pelo filtro de manta foi insignificante (0,2 %), enquanto que no filtro de disco, ao contrário, houve aumento da turbidez da água após a passagem pelo mesmo da ordem de 9,0 %.

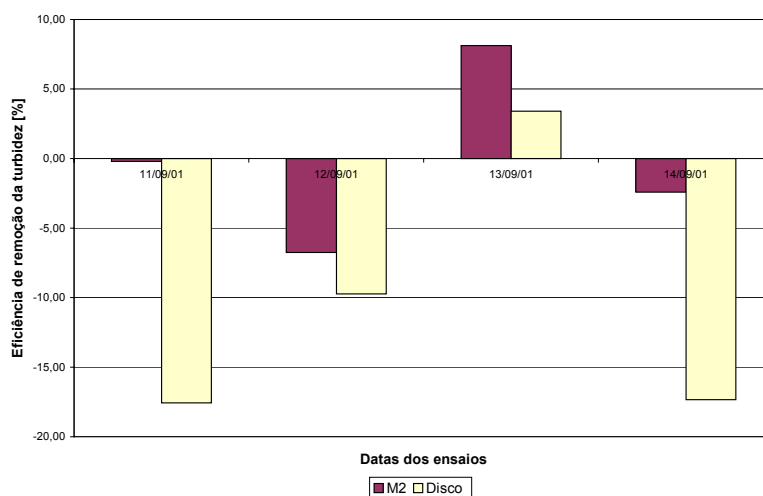


Figura 37 – Eficiência de remoção da turbidez da água dos elementos filtrantes de disco e manta M2.

Os valores médios de sólidos suspensos totais obtidos nas amostras coletadas no reservatório, manta M2 e disco, foram de 8,75 mg/L, 8,33 mg/L e 8,33 mg/L respectivamente com desvio padrão de 3,44 mg/L, 1,92 mg/L e 2,36 mg/L. A variação dos valores obtidos neste ensaio pode ser visualizada pelo gráfico da Figura 38.

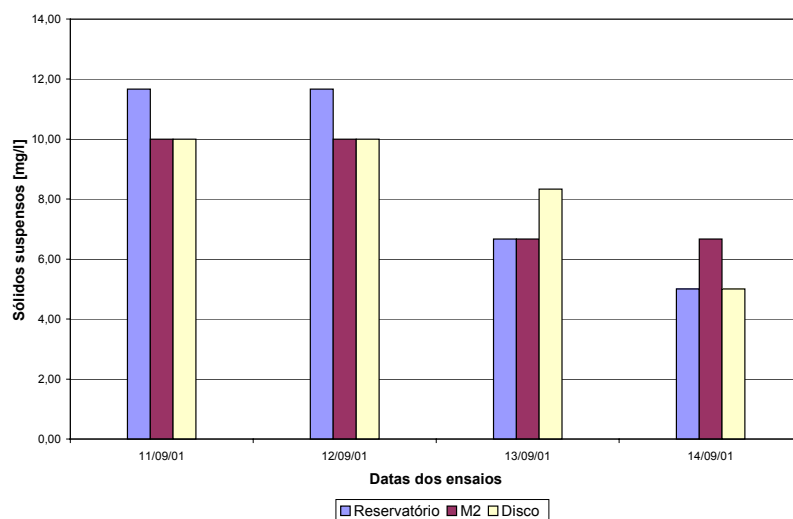


Figura 38 - Análise da concentração de sólidos suspensos totais da água medida no reservatório e após os elementos filtrantes disco e manta M2.

A partir dos resultados das análises da concentração de sólidos suspensos totais da água, calculou-se a eficiência de remoção dos mesmos pelos filtros. Os resultados são apresentados no gráfico da Figura 39.

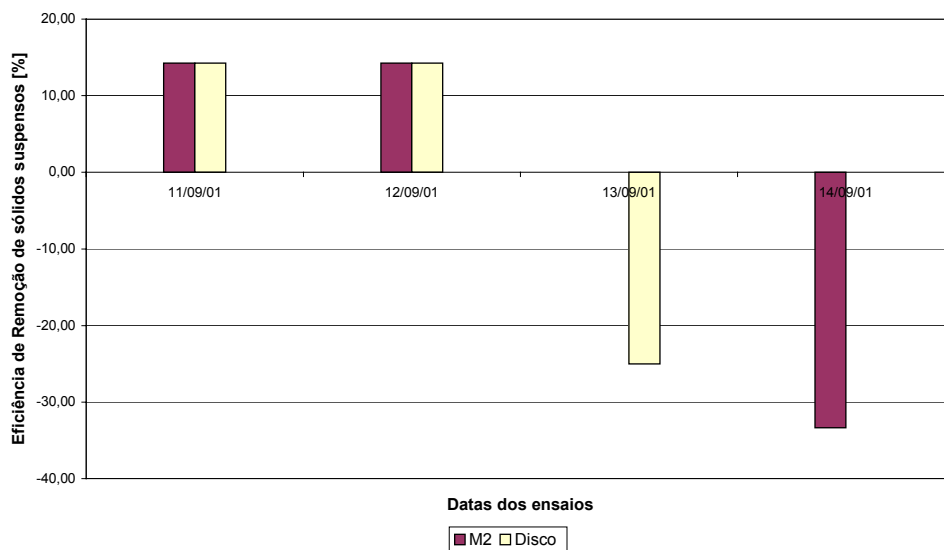


Figura 39 - Eficiência de remoção dos sólidos suspensos totais da água dos elementos filtrantes disco e manta M2.

Verifica-se que ambos elementos filtrantes apresentaram eficiência de remoção de sólidos suspensos totais muito semelhante. No entanto, nas duas últimas análises da água realizadas, não houve remoção de sólidos suspensos na água por ambos elementos filtrantes. A remoção média de sólidos suspensos por ambos filtros foi de 4,8 %.

5.3.2.1.2. Manta M3

O gráfico da Figura 40 apresenta a evolução da perda de carga em ambos elementos filtrantes ao longo do tempo. Esta manta sintética não tecida apresentou uma rápida evolução da perda de carga quando comparado ao filtro de disco. A duração deste ensaio foi reduzida já que esta elevada perda de carga descartou a possibilidade da utilização deste elemento filtrante no prosseguimento do experimento. Desta forma, o volume filtrado em todo o ensaio foi de aproximadamente 2,50 m³ em cada parcela de irrigação.

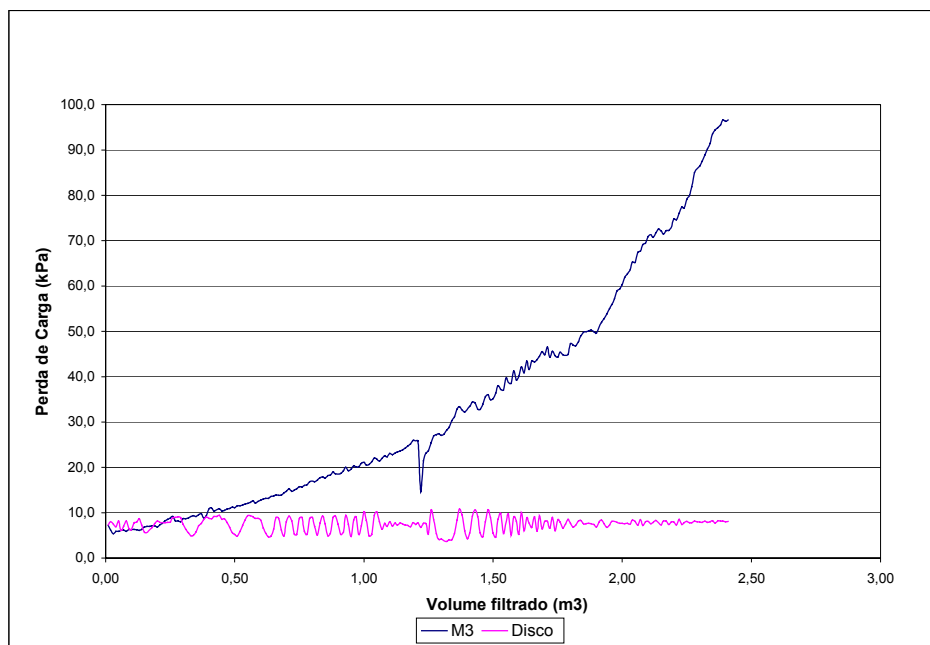


Figura 40 – Evolução da perda de carga localizada nos elementos filtrantes disco e manta M3.

Nota-se que a perda de carga localizada na manta M3 atingiu valores próximos a 100 kPa em curto intervalo de tempo (cerca de 4 horas de irrigação). Como houve um monitoramento constante da perda de carga nos elementos filtrantes, assim que foi notada a

elevada perda de carga no filtro com a manta M3 eliminou-se a necessidade da coleta de amostras de água para análise de turbidez e sólidos suspensos totais. Esta elevada perda de carga apresentada por este elemento filtrante pode ser explicada a partir da sua gramatura de 680 g/m^2 , superior às gramaturas das mantas M1 e M5, ambas de 380 g/m^2 . A magnitude da gramatura é uma característica determinante para o comportamento hidráulico das mantas sintéticas não tecidas. No Quadro 18, verifica-se que a manta M5, de menor gramatura, apresenta permeabilidade de $7,2 \text{ mm/s}$, ao passo que a manta M3 apresenta permeabilidade de $1,3 \text{ mm/s}$, cinco vezes inferior à primeira.

5.3.2.1.3. Manta M4

O gráfico da Figura 41 contém a evolução da perda de carga nos dois elementos filtrantes ao longo do tempo. Esta manta sintética não tecida apresentou menor perda de carga em relação ao filtro de disco. Durante o período deste ensaio, suficiente para filtração de aproximadamente $8,5 \text{ m}^3$ de água, a perda de carga no elemento de manta atingiu valores sempre abaixo de $8,0 \text{ kPa}$, sendo que no elemento de disco foram registrados valores próximos de $16,0 \text{ kPa}$.

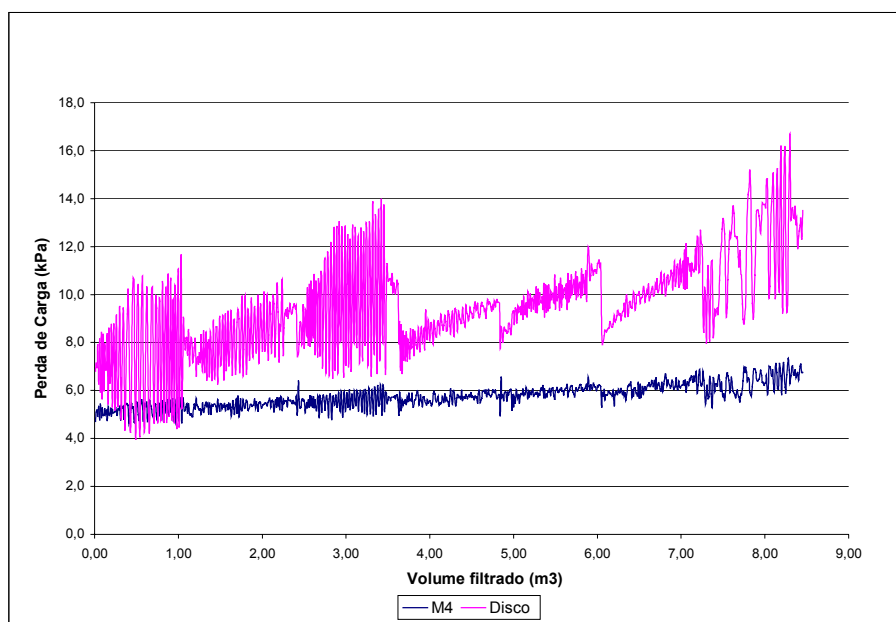


Figura 41 – Evolução da perda de carga localizada nos elementos filtrantes disco e manta M4.

Os gráficos das Figuras 42 e 44 apresentam os resultados das análises de água realizadas a partir das amostras coletadas antes e após a passagem da água pelos elementos filtrantes.

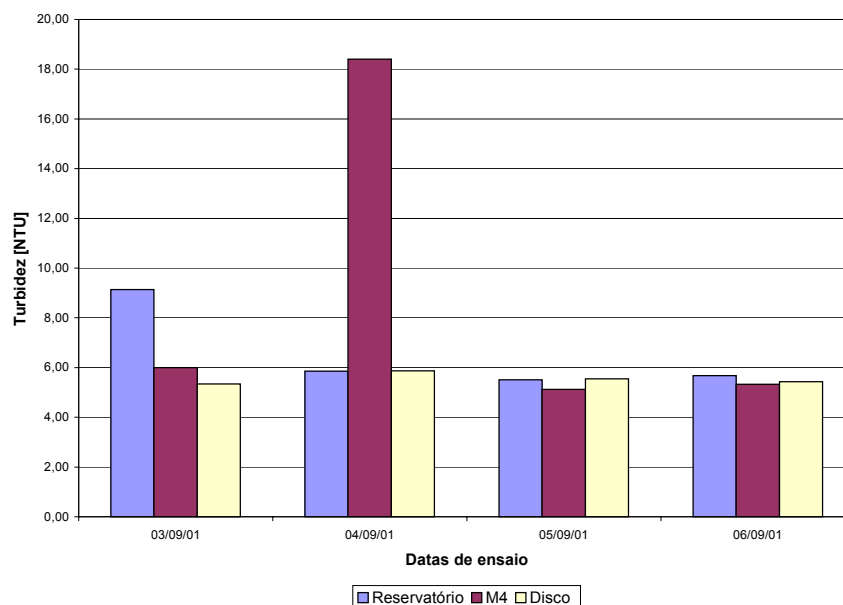


Figura 42 - Análise da turbidez da água medida no reservatório e após os elementos filtrantes disco e manta M4.

Nota-se no gráfico da Figura 42 que, exceto na segunda análise realizada, o valor de turbidez da água medido a partir da amostra coletada em ambas parcelas de irrigação foram muito próximos. No entanto, na segunda análise, mediu-se uma turbidez bastante elevada na parcela contendo filtro de manta em relação à turbidez da água do reservatório e da filtrada pelo filtro de disco. A média de turbidez da água no reservatório de irrigação foi de 6,55 NTU, com desvio padrão de 1,74 NTU, contra 8,71 NTU e desvio de 6,47 NTU na parcela com filtro de manta e 5,55 NTU com desvio padrão de 0,23 NTU na parcela contendo filtro de disco.

A partir destes resultados calculou-se a eficiência de remoção da turbidez em cada elemento filtrante.

Nota-se, através do gráfico da figura 43, que a remoção da turbidez da água pelo filtro contendo a manta M4 não foi satisfatória. Na segunda análise, ao contrário do que esperava, houve aumento da turbidez da água nesta parcela, de forma que, na média das

análises realizadas, houve um aumento no valor da turbidez da água filtrada de 32,9% em relação à água do reservatório. Ao contrário, no filtro de disco, houve uma remoção média de 15,3 % da turbidez da água.

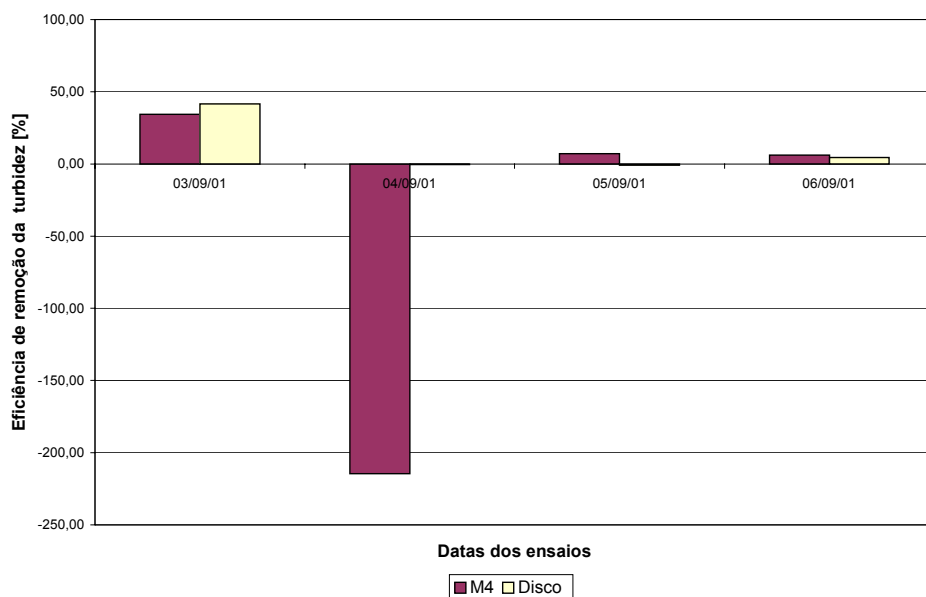


Figura 43 - Eficiência de remoção da turbidez da água dos elementos filtrantes de disco e manta M4.

Em relação a concentração de sólidos suspensos na água, verifica-se no gráfico da Figura 44 que o elemento filtrante de disco foi mais eficiente que o da manta M4, já que nas três análises realizadas a média obtida nas amostras coletadas na parcela com filtro de disco foi de 6,78 mg/L com desvio padrão de 0,19 mg/L, enquanto que na água do reservatório o valor médio de sólidos suspensos medido foi de 8,22 mg/L e desvio padrão de 0,19 mg/L. Já na parcela com filtro de manta a média foi de 10,0 mg/L com desvio padrão de 5,77 mg/L.

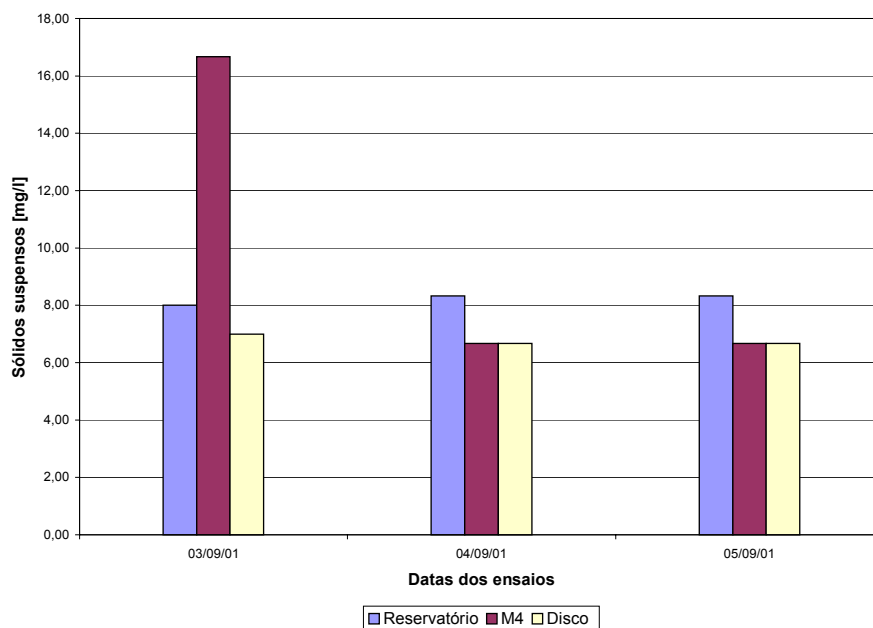


Figura 44 – Análise da concentração de sólidos suspensos totais da água medida no reservatório e após os elementos filtrantes disco e M4.

Após o cálculo da eficiência de remoção de sólidos suspensos totais na água, traçou-se o gráfico da Figura 45.

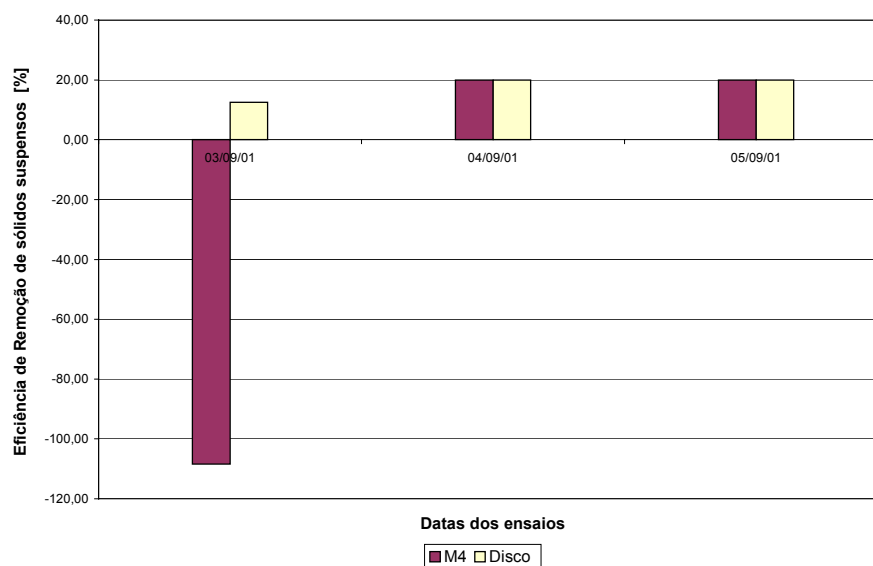


Figura 45 –Eficiência de remoção dos sólidos suspensos totais da água dos elementos filtrantes de disco e manta M4.

Exceto pela primeira análise da água filtrada pela manta M4, houve eficiência de remoção de sólidos suspensos totais da água por ambos elementos filtrantes, sendo o disco o mais eficiente. No entanto, na parcela contendo filtro de manta observou-se um aumento médio de 21,7 % na concentração de sólidos suspensos em relação a água do reservatório. Já o filtro de disco apresentou eficiência de remoção média de 17,5 %.

5.3.2.1.4. Manta M5

O gráfico da Figura 46 apresenta o resultado da perda de carga localizada em ambos elementos filtrantes num ensaio onde foram filtrados aproximadamente 17,0 m³. Esta manta sintética apresentou maior perda de carga em relação ao filtro de disco.

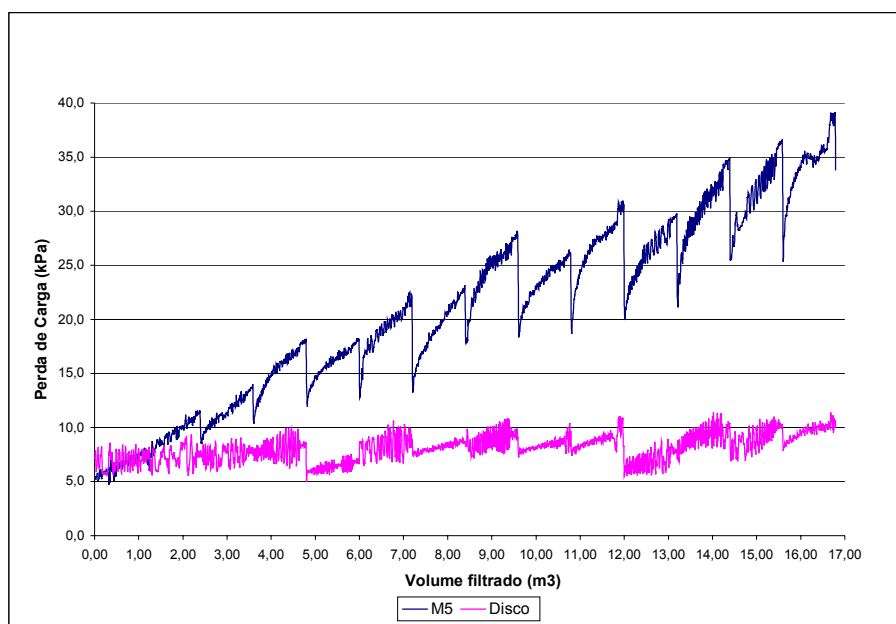


Figura 46 – Evolução da perda de carga localizada nos elementos filtrantes disco e manta M5.

A perda de carga localizada no filtro de manta sintética atingiu valores próximos à 40 kPa ao final do ensaio, enquanto que o disco apresentava perdas em torno de 10 kPa.

Nota-se no gráfico da Figura 47 que a turbidez da água medida em ambas parcelas foi sempre inferior à obtida a partir das amostras de água do reservatório. Além disso a turbidez medida na parcela com filtro de manta foi ligeiramente maior que a obtida na

parcela com filtro de disco. Os valores médios obtidos foram de 5,02 NTU, 4,62 NTU e 4,21 NTU, com desvio padrão de 1,21 NTU, 1,35 NTU e 1,05 NTU respectivamente para o reservatório, parcela com filtro de manta e de disco.

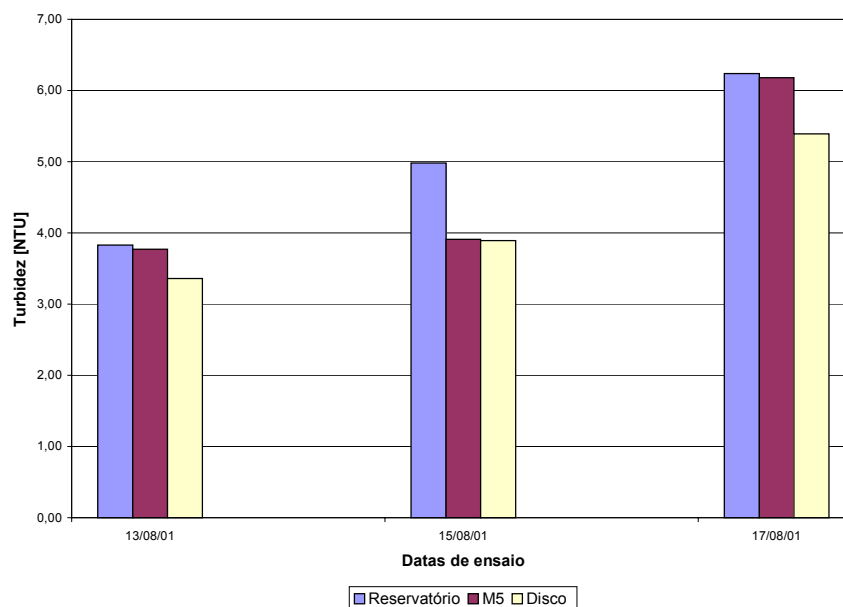


Figura 47 - Análise da turbidez da água medida no reservatório e após os elementos filtrantes de disco e manta M5.

O filtro de disco foi mais eficiente que o de manta na remoção da turbidez da água para as 3 análises realizadas (Figura 48). Em média, a remoção da turbidez pelo filtro de disco foi de 16,1 % e 8,0 % no filtro de manta sintética.

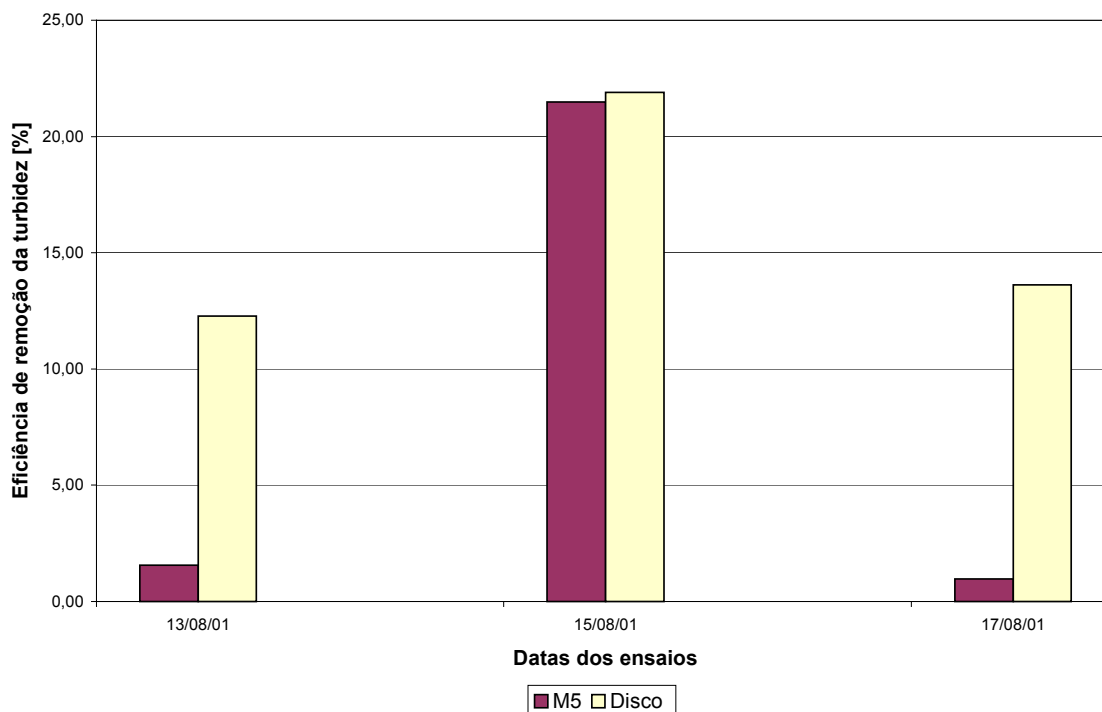


Figura 48 - Eficiência de remoção da turbidez da água dos elementos filtrantes de disco e manta M5.

A concentração média de sólidos suspensos totais na água do reservatório obtida foi de 4,0 mg/L, com desvio padrão de 1,0 mg/L. Já na parcela com filtro de manta a média foi de 3,33 mg/L, com desvio de 1,15 mg/L e na parcela com filtro de disco o valor médio obtido foi de 3,67 mg/L com desvio padrão de 1,15 mg/L. A partir dos resultados obtidos (Figura 49), calculou-se a eficiência de remoção de sólidos suspensos totais por cada elemento filtrante.

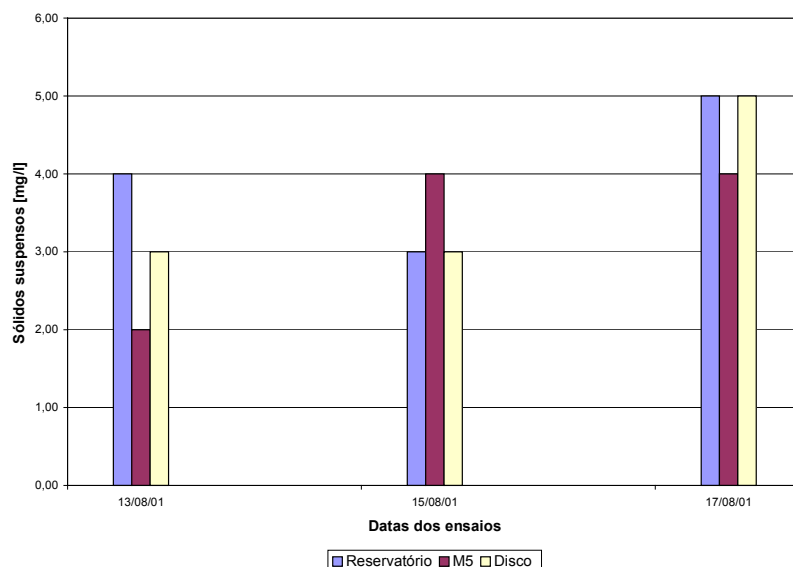


Figura 49 - Análise da concentração de sólidos suspensos totais da água medida no reservatório e após os elementos filtrantes de disco e manta M5.

O gráfico da Figura 50 contém a variação da remoção de sólidos suspensos pelos filtros de disco e manta nos ensaios. A remoção média de sólidos suspensos pelo filtro de disco durante o período de ensaios foi de 8,3 %, contra 16,8 % pelo filtro de manta. Desta forma, verificou-se que este último elemento filtrante apresentou desempenho mais satisfatório.

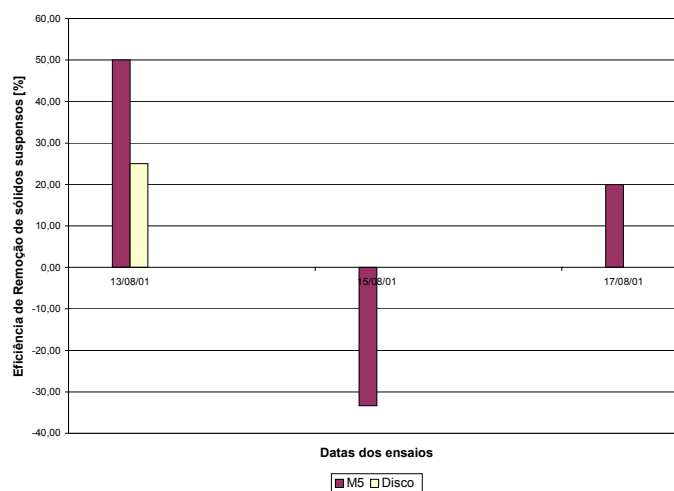


Figura 50 - Eficiência de remoção dos sólidos suspensos totais da água dos elementos filtrantes de disco e manta M5.

Com base nos resultados dos ensaios das quatro mantas sintéticas testadas, decidiu-se optar pela manta M5 para ser utilizada nas 3 etapas finais da pesquisa. Embora a perda de carga neste elemento filtrante seja maior que no filtro de disco, a retenção de sólidos suspensos também é maior, o que justifica uma evolução de perda de carga localizada mais acentuada. Esta manta foi a que apresentou melhor remoção tanto de turbidez quanto de sólidos suspensos entre as testadas.

O fato das medidas da turbidez e da concentração de sólidos suspensos terem sido, com frequência, maiores nos pontos de coleta depois dos filtros do que na água do reservatório, pode estar relacionado à influência da fertirrigação sobre a qualidade da água do reservatório (vide item 5.5). A introdução de fertilizantes ocorria justamente num ponto intermediário entre o ponto de coleta de água do reservatório e os filtros de irrigação. Além disso, outra hipótese é a de que os filtros retinham partículas continuamente, acumulando-as, até que, num certo momento, este aglomerado nos filtros desmembrava-se e havia transpasse de partículas através do elemento filtrante. Desta forma, a qualidade da água à jusante dos filtros tornava-se inferior à água afluyente aos mesmos.

5.4. Nova estrutura para o filtro de manta

Após esta primeira etapa da pesquisa, decidiu-se também modificar a estrutura de suporte do filtro para a manta sintética não tecida.

A estrutura de suporte dos discos produzida pela Amiad, não tem função estrutural já que os discos são rígidos. Desta forma, a estrutura interior do filtro tem apenas a função de manter os discos alinhados.

Utilizando a mesma estrutura para suportar a manta sintética não tecida, pode haver a deformação deste elemento tendo em vista que este não é rígido e opera sob pressão. A deformação do elemento filtrante pode ocasionar queda em seu desempenho. Para minimizar possíveis efeitos de deformação da manta sintética não tecida, foi construída uma nova estrutura, em plástico, para suportar os esforços internos ao filtro (Figura 7).

Esta nova estrutura foi construída com dimensões tais que permitiram sua utilização no mesmo filtro de 1" da Amiad, mantendo a mesma vedação interna.

Após a construção do novo corpo interno do filtro, houve a preocupação em se comparar a perda de carga desta nova estrutura com a original, já que esta última seria novamente utilizada para o elemento filtrante de disco. Os resultados são apresentados no gráfico da Figura 51.

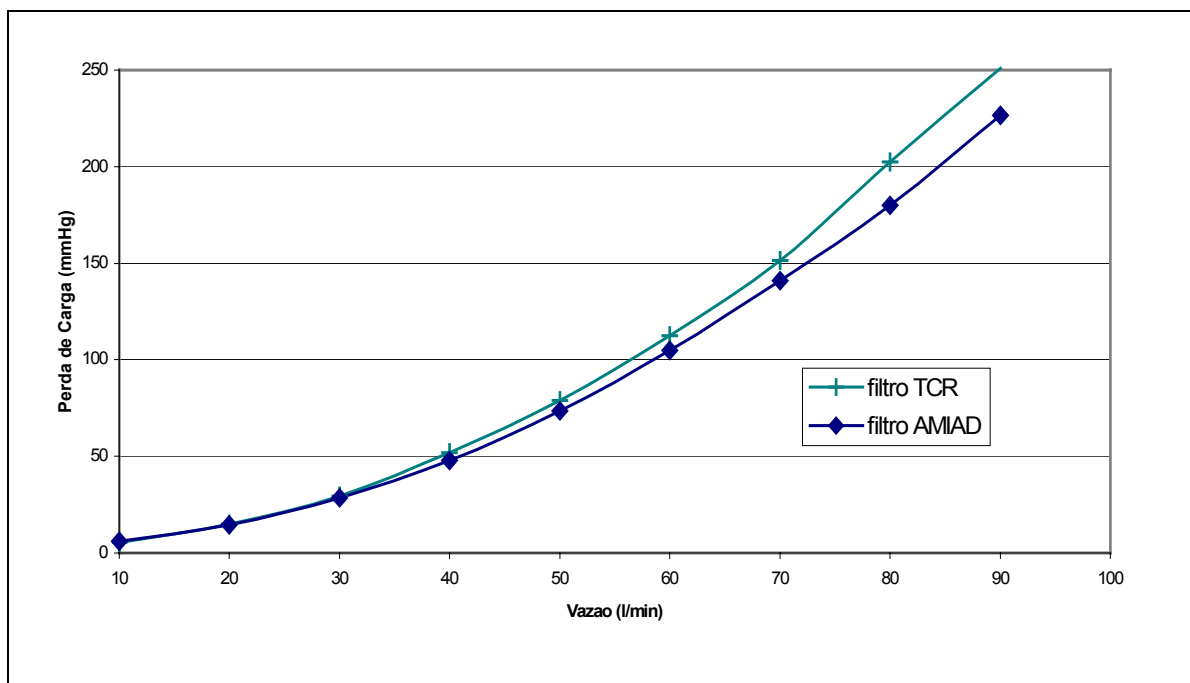


Figura 51 - Perda de carga nas duas estruturas internas dos filtros de irrigação.

Este ensaio foi realizado com os filtros contendo apenas as estruturas internas, sem qualquer elemento filtrante. O filtro original é denominado filtro Amiad na legenda da Figura 51, enquanto que o filtro com a nova estrutura recebeu a denominação de TCR.

Nota-se no gráfico da Figura 51, que a diferença de perda de carga entre os dois filtros é desprezível até a vazão de 40 L/min, a partir da qual se nota uma diferença pouco significativa. Deste ponto em diante, verifica-se no filtro Amiad uma perda de carga cerca de 10% menor que a provocada pela estrutura construída para utilização dos filtros de manta sintética não tecida. Como na instalação experimental a vazão de projeto para cada parcela de irrigação é de 10 L/min, pode-se admitir, a partir dos resultados obtidos, que a nova estrutura do filtro construída é hidraulicamente semelhante à original.

O Quadro 19 contém os resultados obtidos na segunda etapa.

Quadro 19: Resultados dos parâmetros de qualidade de água medidos após os filtros, da segunda etapa.

ENSAIOS	PARÂMETROS FÍSICOS				PARÂMETROS BIOLÓGICOS			
	Sólidos Suspensos (mg/L)		Turbidez (NTU)		Algas (nº/cm³)		Bactéria (nº/cm³)	
	Manta	Disco	Manta	Disco	Manta	Disco	Manta	Disco
1	13,0	15,0	10,1	10,3	445	390	1	1
2	10,5	10,0	8,08	7,9	635	570	340	270
3	13,0	13,0	9,77	9,24	550	880	1	1
4	13,0	12,0	8,96	8,73	900	785	1	1
5	10,5	11,5	7,47	7,19	1060	1035	1700	2500
6	10,0	10,0	7,26	7,09	870	850	380	280
7	10,0	10,0	6,6	6,89	930	905	1200	1300
8	10,0	9,5	8,43	7,85	725	1155	920	1600
9	11,0	11,5	5,94	6,38	1130	1020	2900	1700
10	11,0	10,5	8,3	8,14	975	640	2400	4100
11	10,00	10,00	6,01	5,95	845	925	3000	1200
12	9,50	9,50	5,82	5,38	1800	790	2300	2600
Média	10,96	11,04	7,73	7,59	905	829	1262	1296
Desv. Pad.	1,30	1,66	1,46	1,41	348	214	1159	1293
Coef. Variação (%)	11,91	15,01	18,95	18,54	38,39	25,78	91,88	99,77

O gráfico da Figura 52 mostra a variação dos resultados das análises de turbidez e da concentração de sólidos suspensos das amostras de água coletadas nos diferentes ensaios realizados na segunda etapa de experimentação para ambos os elementos filtrantes.

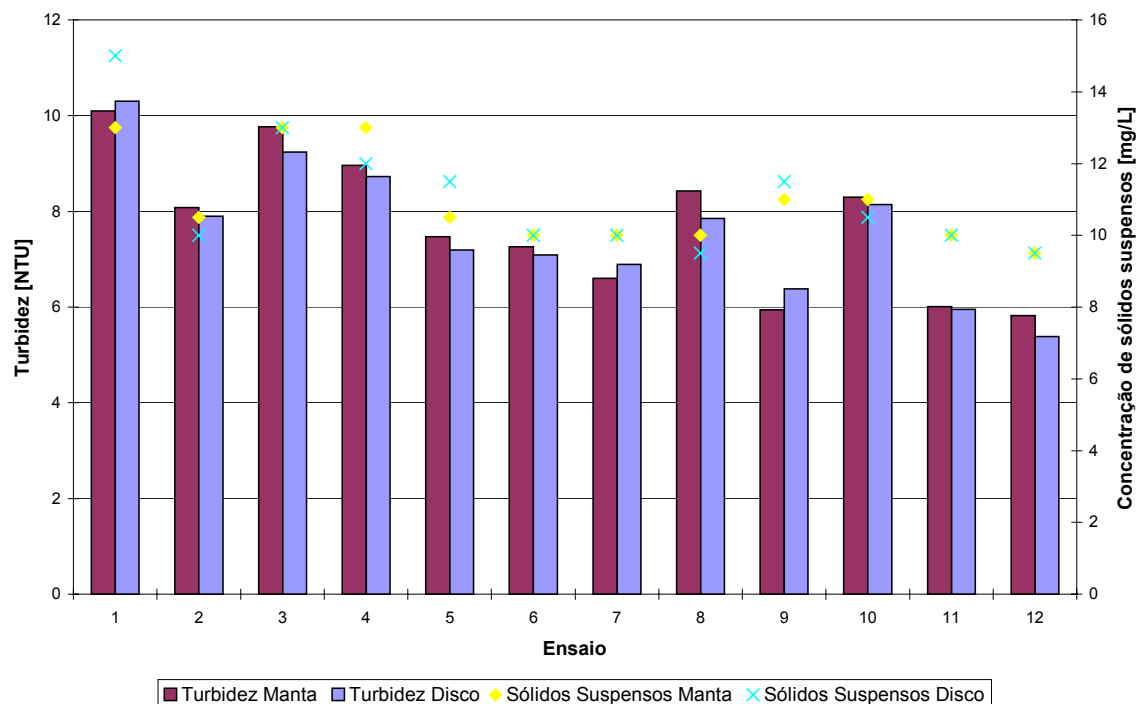


Figura 52- Análises de turbidez e da concentração de sólidos suspensos da água medidas após os elementos filtrantes, na segunda etapa.

Através do Gráfico da Figura 52 verifica-se uma tendência de queda tanto dos valores de sólidos suspensos quanto da turbidez da água em ambos elementos filtrantes ao longo dos ensaios. Há uma alternância entre as medidas realizadas nas parcelas com filtro de manta e disco, ora os maiores valores são registrados em uma parcela, ora na outra, tanto para a turbidez quanto para a concentração de sólidos suspensos. O valor médio de turbidez obtido na parcela com filtro de manta foi de 7,73 NTU, com desvio padrão de 1,46 NTU e coeficiente de variação médio de 18,95%. Já na parcela com filtro de disco, a média das medidas de turbidez resultaram em 7,59 NTU, com desvio padrão de 1,41 NTU e coeficiente de variação também médio de 18,54%. Nota-se portanto, um desempenho semelhante entre os dois elementos filtrantes em relação à remoção da turbidez da água.

O valor médio da concentração de sólidos suspensos na parcela com filtro de manta foi de 10,96 mg/L, com desvio padrão de 1,30 mg/L e coeficiente de variação de 11,91%. A média calculada para a parcela com filtro de disco, para o mesmo parâmetro, foi de 11,04 mg/L, com desvio padrão de 1,66 mg/L e coeficiente de variação de 15,01%. Assim como

ocorrido para os valores de turbidez, as concentrações de sólidos suspensos medidas nas parcelas de irrigação por gotejamento foram muito próximas.

O gráfico da Figura 53 mostra a variação dos parâmetros biológicos analisados nesta segunda etapa.

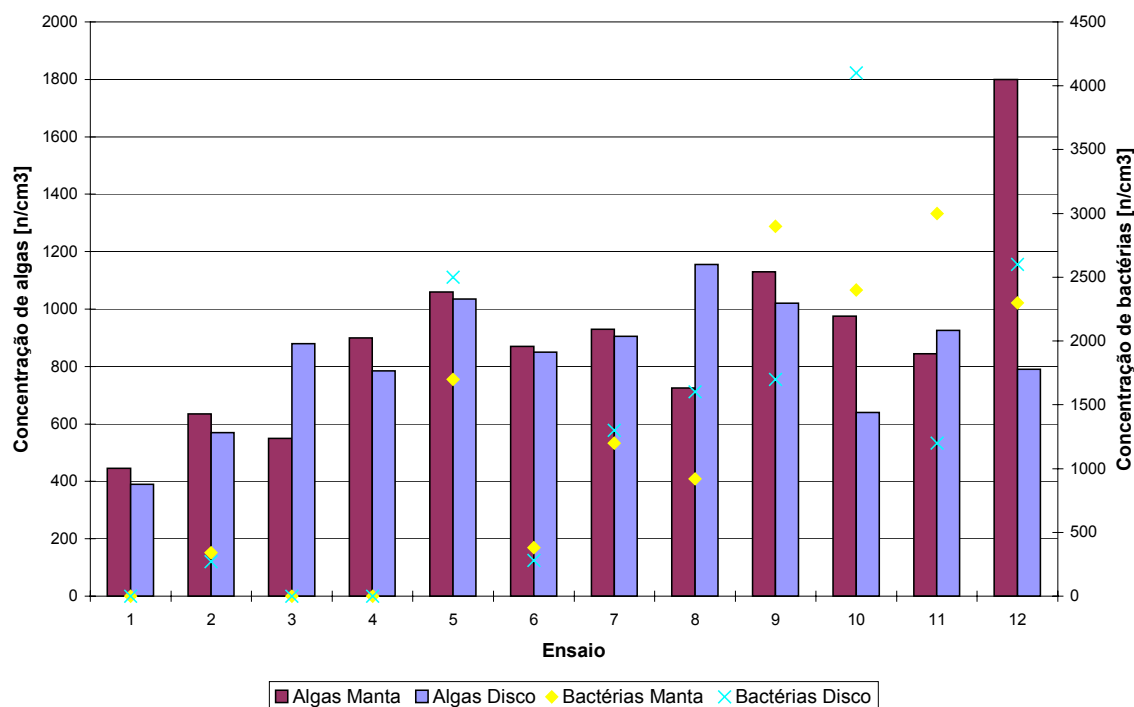


Figura 53 - Análises das concentrações de algas e bactérias da água medidas após os elementos filtrantes, na segunda etapa.

Observa-se, no gráfico da Figura 53, que há grande alternância entre os valores obtidos em ambas parcelas de irrigação tanto para os valores das concentrações de algas como de bactérias. Há uma tendência de crescimento das populações de algas e bactérias ao longo dos ensaios, principalmente das últimas. O valor médio da concentração de algas, medidas na parcela com filtro de manta foi de 905 algas/cm^3 , com desvio padrão de 348 algas/cm^3 e coeficiente de variação de $38,39\%$. A parcela contendo filtro de disco registrou uma média de 829 algas/cm^3 , com desvio padrão de 214 algas/cm^3 e coeficiente de variação de $25,78\%$.

A média de bactérias encontradas após a passagem da água pelo filtro de manta foi de $1262 \text{ bactérias/cm}^3$, o desvio padrão de $1159 \text{ bactérias/cm}^3$ e o coeficiente de variação

de 91,88%. Após o filtro de disco, foram encontradas, em média, 1296 bactérias/cm³, com desvio padrão de 1293 bactérias/cm³ e coeficiente de variação de 99,77%.

Assim como verificado na primeira etapa da pesquisa, os valores médios dos parâmetros físicos medidos nas duas parcelas de irrigação estiveram muito próximos. Com relação aos parâmetros biológicos, nota-se elevada variabilidade das medidas, especialmente em relação à população de bactérias. O melhor desempenho de um ou outro elemento filtrante, em relação a cada parâmetro analisado, deve ser comprovado estatisticamente, já que as médias obtidas são próximas.

O Quadro 20 contém os resultados das análises realizadas na terceira etapa da pesquisa.

Quadro 20: Resultados dos parâmetros de qualidade de água medidos após os filtros, da terceira etapa.

ENSAIOS	PARÂMETROS FÍSICOS				PARÂMETROS BIOLÓGICOS			
	Sólidos Suspensos (mg/L)		Turbidez (NTU)		Algas (nº/cm ³)		Bactéria (nº/cm ³)	
	Manta	Disco	Manta	Disco	Manta	Disco	Manta	Disco
1	18,5	18,5	6,58	9,73	1825	925	130	50
2	12,5	12	9,51	9,72	330	420	700	760
3	12,5	13,5	8,39	9,21	585	350	100	320
4	14	15	8,17	8,65	425	480	700	170
5	19,5	19	10,5	11,8	715	860	1200	1800
6	14,5	19	12,6	14,4	855	850	1300	120
7	18,5	19,5	11,7	11,9	750	710	10	1000
8	25,5	25	14,1	13,8	685	680	1200	320
9	25,5	27,5	15,3	15,8	1030	1210	260	1000
Média	17,89	18,78	10,76	11,67	800	721	622	616
Desv. Pad.	5,05	5,04	2,90	2,55	438	275	520	576
Coef. Variação (%)	28,22	26,86	26,99	21,82	54,79	38,16	83,51	93,64

A partir dos resultados contidos no Quadro 20, construíram-se os gráficos das Figuras 54 e 55, mostrando a variação dos parâmetros da água analisados nesta terceira etapa.

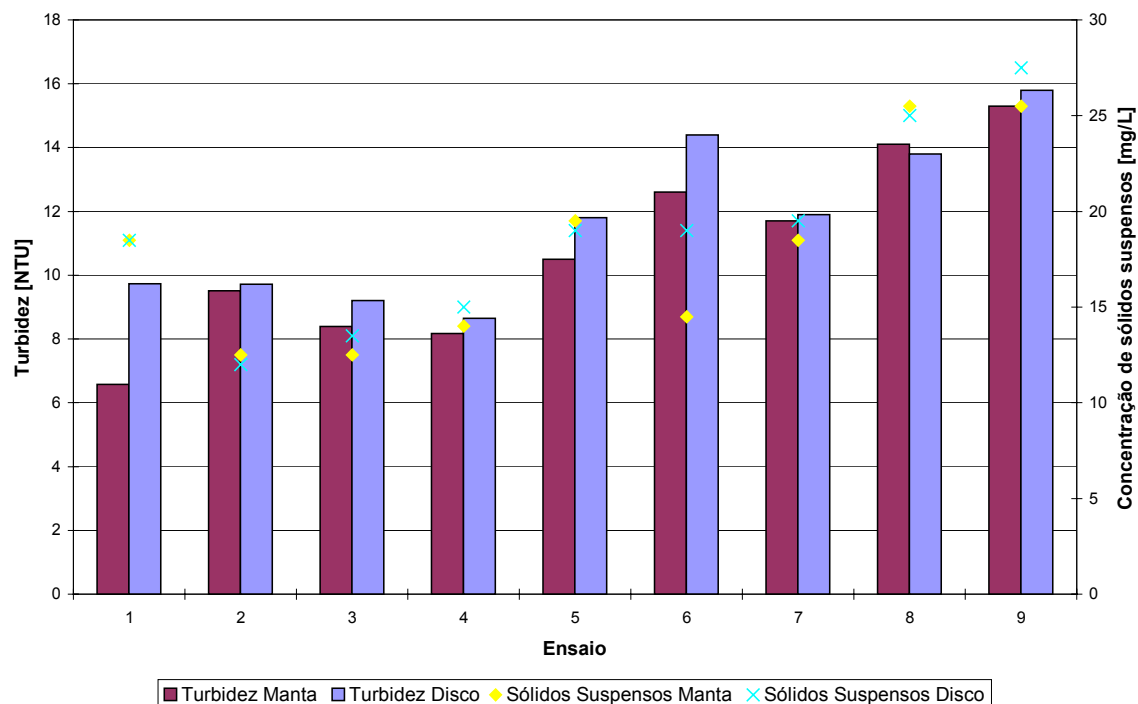


Figura 54 - Análises de turbidez e da concentração de sólidos suspensos da água medidas após os elementos filtrantes, na terceira etapa.

Através do gráfico da Figura 54 pode-se verificar, além de uma tendência de crescimento dos valores de turbidez medidos nas parcelas de irrigação ao longo do período, que os valores medidos na parcela de irrigação com filtro de manta foi sempre inferior aos obtidos na outra parcela, exceto pelo ensaio de número 8. Desta forma, a média da turbidez nesta parcela foi de 10,76 NTU, com desvio padrão de 2,90 NTU e coeficiente de variação de 26,99%. Já na parcela contendo filtro de disco, o valor médio para o período foi de 11,67 NTU, o desvio padrão foi de 2,55 NTU e o coeficiente de variação de 21,82%.

Com relação à concentração de sólidos em suspensão, a média obtida na parcela com elemento filtrante de manta foi de 17,89 mg/L, com desvio padrão de 5,05 mg/L e coeficiente de variação de 28,22%. A média na outra parcela foi de 18,78 mg/L, com desvio padrão de 5,04 mg/L e coeficiente de variação de 26,86%. Assim como a turbidez da água, os valores da concentração de sólidos em suspensão na água apresentaram tendência de crescimento ao longo deste período de experimentação.

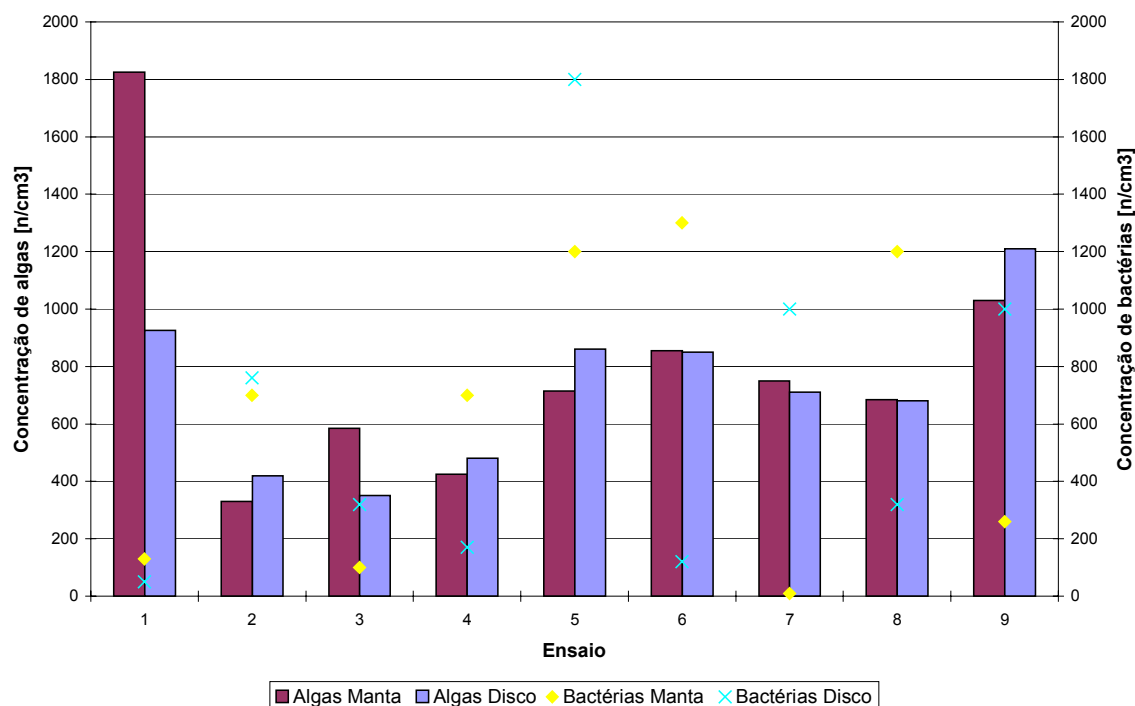


Figura 55 - Análises das concentrações de algas e bactérias da água medidas após os elementos filtrantes, na terceira etapa.

O gráfico da Figura 55 mostra a grande variância dos resultados das concentrações de algas e bactérias, obtidos nesta etapa do experimento. As concentrações de bactérias foram maiores nos ensaios 5 e 6, e as de algas, no primeiro e no último ensaio. A concentração média de algas, na parcela com filtro de manta, foi de 800 algas/cm^3 , com desvio padrão de 438 algas/cm^3 e coeficiente de variação de 54,79%. Na parcela com filtro de disco a média atingiu 721 algas/cm^3 , com desvio padrão de 520 algas/cm^3 e coeficiente de variação de 83,51%.

A concentração média de bactérias, medida na parcela com filtro de manta nesta fase, foi de $622 \text{ bactérias/cm}^3$, com desvio padrão de $520 \text{ bactérias/cm}^3$ e coeficiente de variação de 83,51%. Já na outra parcela os valores foram de $616 \text{ bactérias/cm}^3$, desvio padrão de $576 \text{ bactérias/cm}^3$ e coeficiente de variação de 93,64%. Os valores médios obtidos nas parcelas são muito próximos, mostrando que houve equivalência no desempenho dos filtros em relação à remoção de algas e bactérias.

Quadro 21: Resultados dos parâmetros de qualidade de água medidos após os filtros, da quarta etapa.

ENSAIOS	PARÂMETROS FÍSICOS				PARÂMETROS BIOLÓGICOS			
	Sólidos Suspensos (mg/L)		Turbidez (NTU)		Algas (nº/cm³)		Bactéria (nº/cm³)	
	Manta	Disco	Manta	Disco	Manta	Disco	Manta	Disco
1	17,5	16,5	10,6	10	990	1025	1300	23000
2	16	17,5	7,89	9,89	845	875	10000	8600
3	20	21	8,81	8,83	590	525	3900	4500
4	17,5	19	6,41	10,2	675	745	890	1100
5	22,5	21	11,6	10,6	580	390	1100	1700
6	22	24	9,36	9,54	930	535	1500	1700
7	19	23,5	14,1	11,9	415	355	190	650
8	19	22	12,1	11,9	480	470	1400	810
9	15,5	19	8,1	6,05	725	610	1800	810
10	18	15,5	9,01	10,3	680	560	1400	1100
Média	18,70	19,90	9,80	9,92	691	609	2348	4397
Desv. Pad.	2,31	2,88	2,30	1,66	187	213	2852	6991
Coef. Variação (%)	12,36	14,50	23,44	16,75	27,07	35,01	121,48	158,98

A partir dos dados do Quadro 21 construíram-se os gráficos das Figuras 56 e 57.

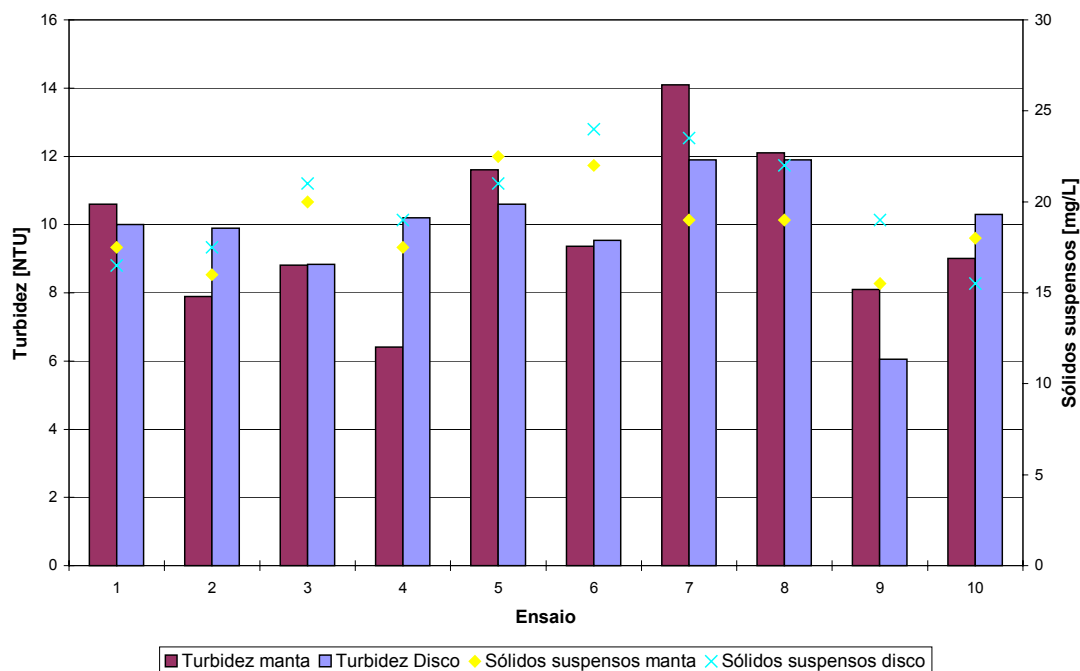


Figura 56 - Análises de turbidez e da concentração de sólidos suspensos da água medidas após os elementos filtrantes, na quarta etapa.

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

O valor médio da turbidez da água para a parcela com filtro de manta foi de 9,80 NTU, com desvio padrão de 2,30 NTU e coeficiente de variação de 23,44%. Na parcela com filtro de disco a média atingiu 9,92 NTU, com desvio padrão de 1,66 NTU e coeficiente de variação de 16,75%.

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

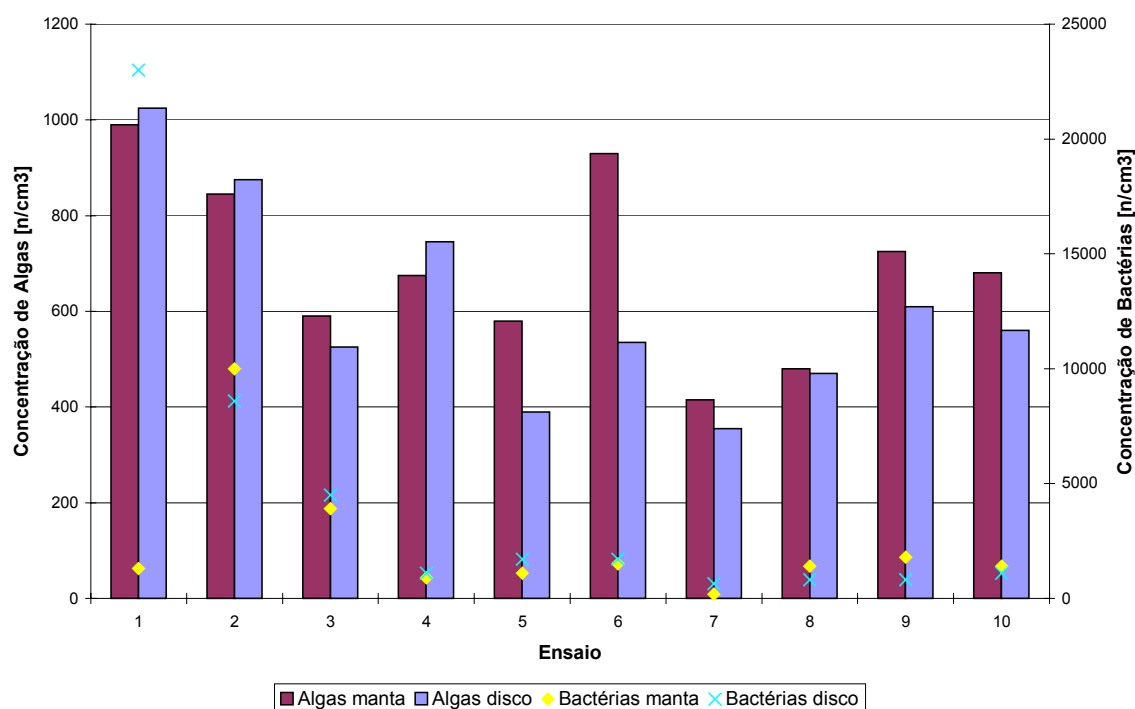


Figura 57 - Análises das concentrações de algas e bactérias da água medidas após os elementos filtrantes, na quarta etapa.

O gráfico da Figura 57 mostra a variação temporal do desenvolvimento das populações de algas e bactérias, contidas na água de irrigação em cada parcela do sistema.

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

Com relação às bactérias, nesta etapa final, obtiveram-se concentrações, tanto na parcela com filtro de disco, quanto na com filtro de manta, elevadas o suficiente para que o risco de entupimento dos emissores pudesse ser considerado médio. No entanto, estes valores só foram verificados em um ensaio para cada parcela. No primeiro ensaio, a concentração de bactérias no filtro de disco foi de 23000 bactérias/cm³, bem acima dos 10000 bactérias/cm³ necessários para elevar o risco potencial de obstrução dos gotejadores de baixo para médio. No segundo ensaio realizado, a concentração de bactérias na parcela com filtro de manta foi de exatamente 10000 bactérias/cm³. No entanto, os valores medidos nos demais ensaios, embora, na média, fossem maiores que os obtidos nas fases anteriores, não mantiveram a mesma magnitude. Desta forma, a concentração média de bactérias medida no período foi de 2348 bactérias/cm³, com desvio padrão de 2852 bactérias/cm³ e coeficiente de variação de 121,48% na parcela com filtro de manta. Já na parcela com filtro de disco, a média foi de 4397 bactérias/cm³, o desvio padrão foi de 6991 bactérias/cm³ e o coeficiente de variação foi de 158,98%. Verificou-se novamente a grande variabilidade das medidas da concentração de bactérias nas linhas de irrigação, especialmente na parcela com filtro de disco.

Após a realização das 4 fases verificou-se uma similaridade entre o desempenho de ambos filtros na remoção das partículas em suspensão na água. Foram elaborados também, gráficos com os valores médios dos parâmetros físicos e biológicos analisados para cada fase do experimento, para visualização da variação média dos valores obtidos (Figuras 58 e 59).

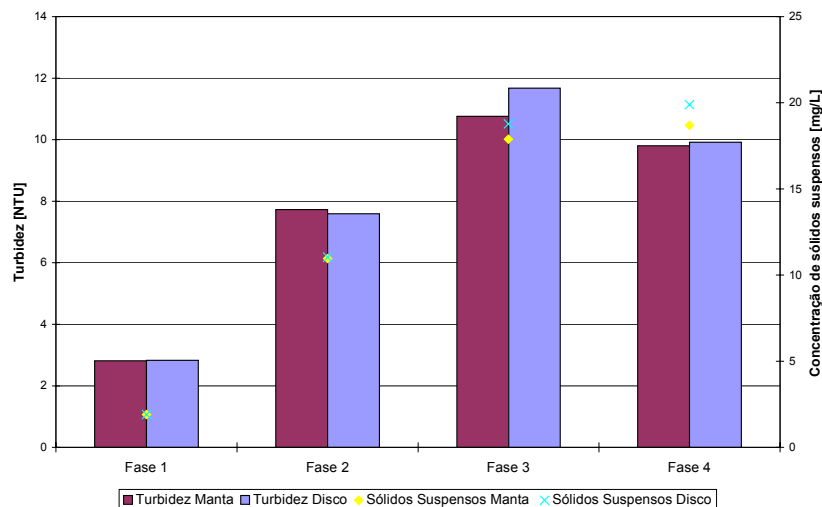


Figura 58 - Variação dos valores médios da turbidez e concentração de sólidos suspensos da água efluente aos filtros analisadas nas 4 etapas.

O gráfico da Figura 58 mostra o grande crescimento da turbidez e da concentração de sólidos suspensos de uma fase para a outra até a terceira etapa da pesquisa. Na fase final, os valores médios de turbidez sofreram uma diminuição, ao passo que os valores médios de sólidos suspensos apresentaram um discreto crescimento para ambas parcelas de irrigação. Em qualquer fase, no entanto, os valores médios obtidos nas parcelas são muito próximos entre si.

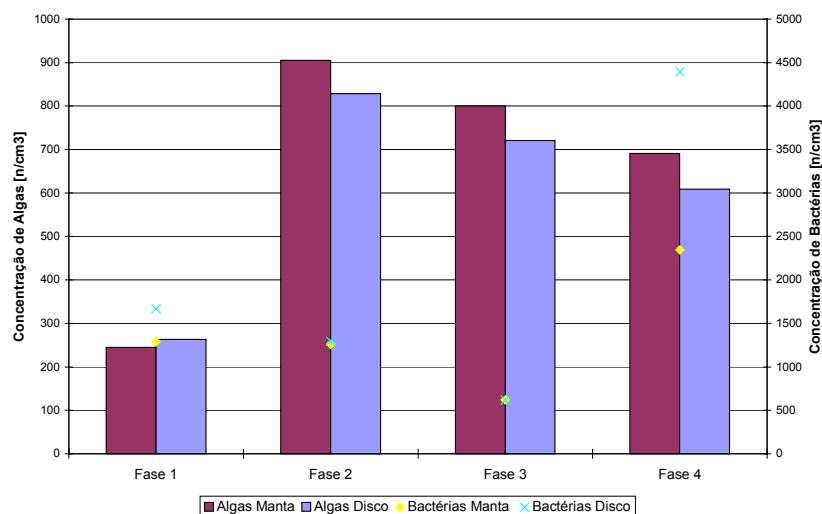


Figura 59 - Variação dos valores médios das concentrações de algas e bactérias da água efluente aos filtros analisadas nas 4 etapas.

O gráfico da Figura 59 mostra a queda contínua dos valores de concentração de bactérias medidas nas 3 etapas iniciais, seguida por um alto crescimento na etapa final. Em todas as etapas realizadas os valores médios da concentração de bactérias obtidos na parcela com filtro de manta foram sempre inferiores àqueles obtidos na outra parcela. Com relação aos valores de concentração de algas, houve um forte crescimento entre a primeira e segunda fase, e uma posterior queda entre a segunda, terceira e quarta etapas. De uma forma geral, os menores valores de concentração de algas foram obtidos na parcela com filtro de disco, exceto na primeira fase.

Com todos os dados reunidos dos parâmetros de qualidade da água analisados nas duas parcelas de gotejamento, realizou-se uma análise de variância para determinação de diferenças significativas entre os tratamentos da água com filtros contendo elemento de disco ou manta sintética não tecida.

5.5. Influência da Fertirrigação sobre a qualidade da água de irrigação

Conforme citado anteriormente, foram realizadas algumas análises, a partir da metade da terceira fase, a fim de se verificar a influência da injeção de fertilizantes sobre a qualidade da água de irrigação. As análises realizadas foram apenas de turbidez da água e concentração de sólidos suspensos. Os pontos de coleta de amostras de água foram: antes da injeção (correspondente a água do reservatório), depois da injeção (a água que chega até os filtros) e do próprio tanque reservatório com a solução fertilizante. As amostras eram tomadas simultaneamente.

Os gráficos das Figuras 60 e 61 mostram os resultados obtidos tanto para turbidez quanto para os sólidos. As análises foram realizadas a partir do quinto ensaio da terceira fase.

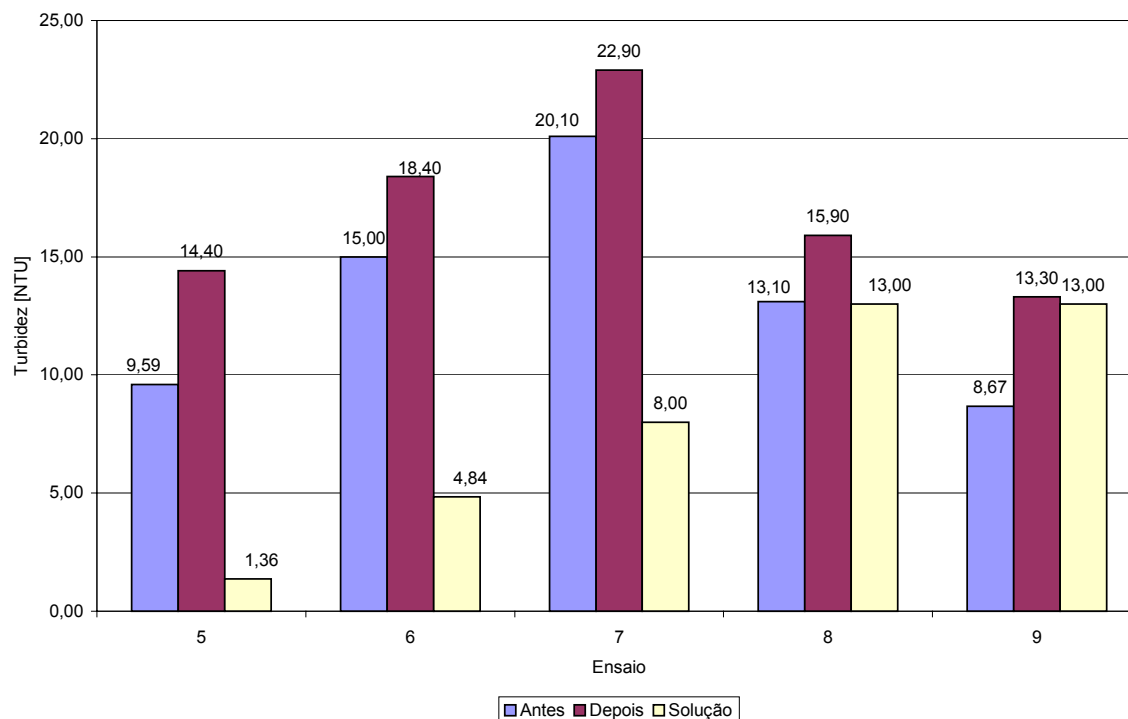


Figura 60 - Variação da turbidez da água amostrada antes e depois do ponto de injeção de fertilizantes e da própria solução fertilizante, na terceira etapa da pesquisa.

É interessante notar no gráfico da Figura 60 que há uma variação da turbidez da água amostrada a partir do reservatório da solução fertilizante. Ou seja, há uma mudança contínua na qualidade da água do tanque fertilizante. Do quinto para o nono ensaio, a turbidez subiu de 1,36 NTU para 13,0 NTU. Visualmente, durante o período de ensaios, era possível notar o rápido desenvolvimento de algas dentro do tanque, o que pode estar relacionado a este aumento rápido dos valores de turbidez. Também é possível verificar que a turbidez após o ponto de injeção de fertilizantes é sempre maior que a medida realizada antes. Isto significa que a água que chega efetivamente aos filtros tem sua qualidade depreciada em relação à água que abastece o sistema de irrigação.

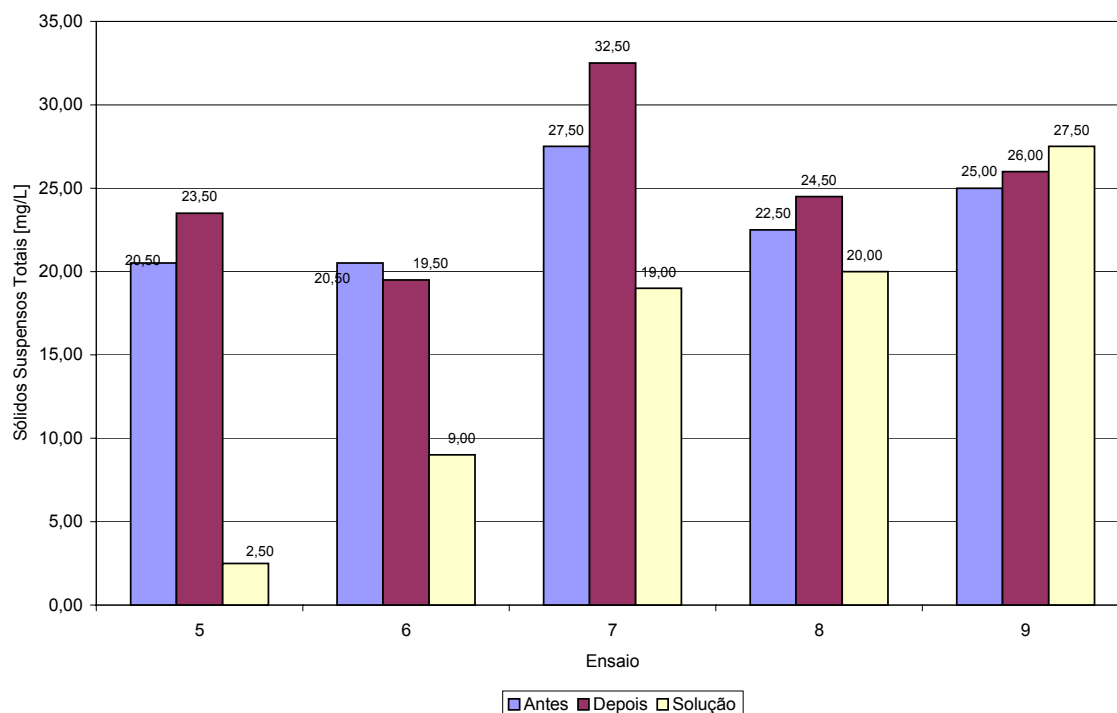


Figura 61 - Variação da concentração de sólidos suspensos da água amostrada antes e depois do ponto de injeção de fertilizantes e da própria solução fertilizante, na terceira etapa da pesquisa.

Assim como o verificado com a turbidez, nota-se no gráfico da Figura 61 que há um contínuo crescimento da concentração de sólidos suspensos no interior do tanque de fertilizantes. A água do reservatório sofreu também influência da fertirrigação já que as amostras coletadas depois da injeção de fertilizantes apresentaram maior concentração de sólidos suspensos que as coletadas anteriormente a este ponto, exceto no ensaio de número 6.

Os gráficos das Figuras 62 e 63 a seguir contém os resultados das análises realizadas na quarta e última fase do experimento para avaliação da influência da fertirrigação sobre a qualidade da água utilizada na irrigação.

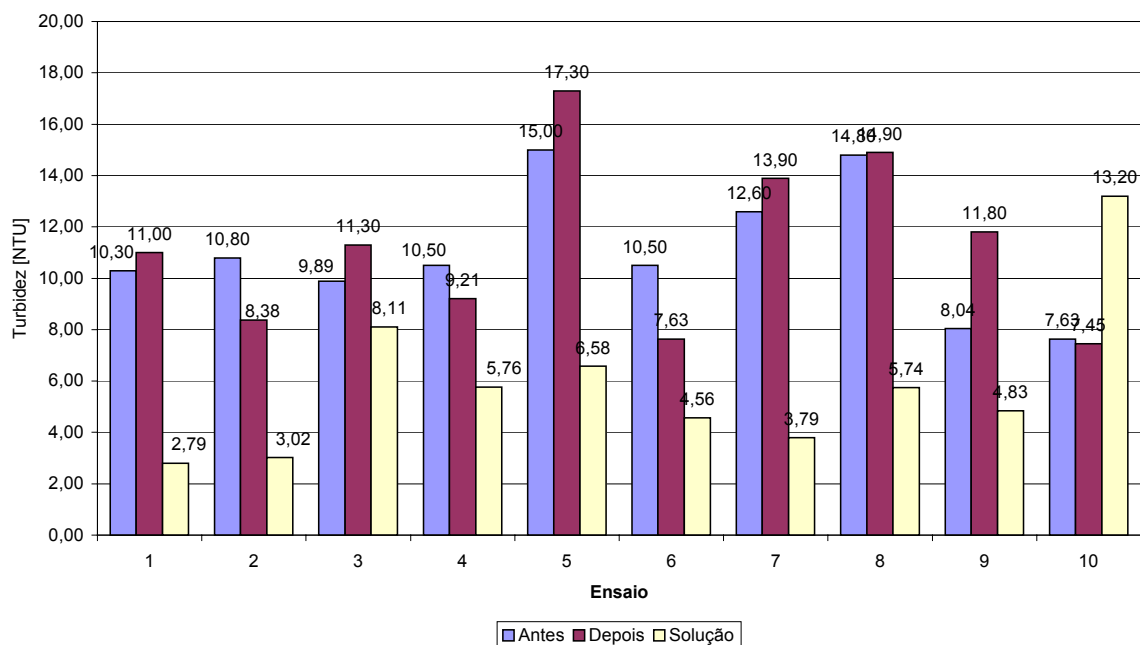


Figura 62 – Variação da turbidez da água antes e depois do ponto de injeção de fertilizantes e da própria solução fertilizante, na quarta etapa da pesquisa.

Observa-se no gráfico da Figura 62 que as medidas efetuadas após o ponto de injeção de fertilizantes apresentaram, em 6 dos 10 ensaios, valores superiores aqueles obtidos nas amostras coletadas antes do ponto de injeção de fertilizantes. Além disso, nota-se uma alta variabilidade nos dados referentes a própria solução fertilizante, indicando que, ao longo do tempo, há variação na qualidade de água no interior do tanque reservatório da solução. No décimo ensaio, o valor da turbidez da água do reservatório supera o valor medido tanto antes como após o ponto de injeção. Provavelmente, houve aí um rápido desenvolvimento de algas e bactérias, em função da abundância de nutrientes na solução, que resultou numa elevação da turbidez da água.

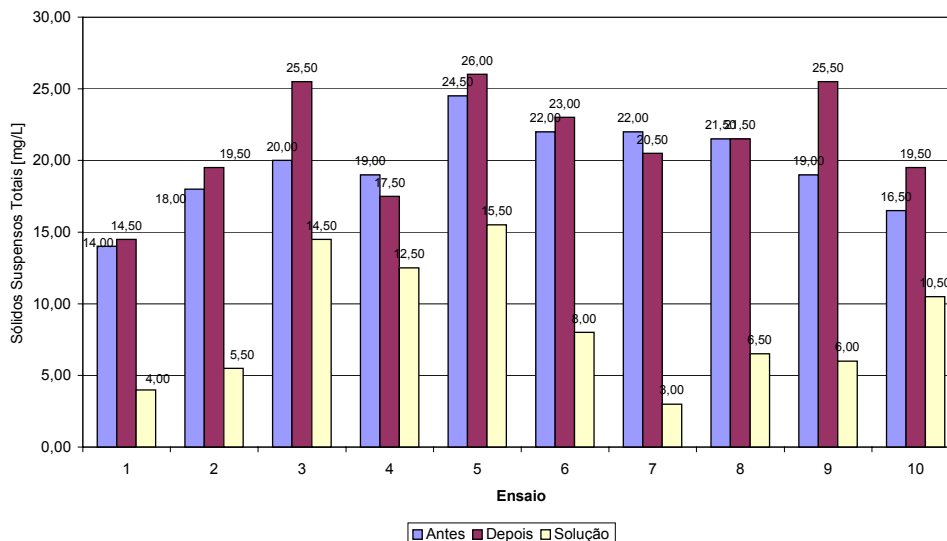


Figura 63 – Variação da concentração de sólidos suspensos totais da água antes e depois do ponto de injeção de fertilizantes e da própria solução fertilizante, na quarta etapa da pesquisa.

Nota-se uma alta correlação entre a variação da turbidez da água da solução fertilizante e a sua concentração de sólidos suspensos totais. Certamente a turbidez da solução de fertilizante é muito mais afetada com o desenvolvimento de algas e bactérias no interior do tanque do que a concentração de sólidos suspensos. Em nenhum momento a concentração de sólidos em suspensão na solução apresentou valor próximo aos obtidos nos outros dois pontos de coleta. Verifica-se também, que a concentração de sólidos suspensos totais da água, medida após o ponto de injeção de fertilizantes, foi igual ou superior a concentração obtida antes deste ponto em 8 dos 10 ensaios realizados nesta etapa.

Diante dos resultados obtidos nos 5 ensaios finais da terceira etapa e em todos os realizados na quarta, pode-se afirmar que existe influência da fertirrigação sobre a qualidade de água de irrigação, evidenciada pela elevação tanto da turbidez quanto da concentração de sólidos em suspensão da água após o ponto de introdução de fertilizantes na água de irrigação.

5.6. Análise dos coeficientes de uniformidade

Decorridas as 4 etapas da pesquisa, calcularam-se, para cada ensaio de cada etapa, os diferentes índices de uniformidade de distribuição da água para cada parcela de irrigação.

Para cálculo dos coeficientes de uniformidade foram utilizadas as medidas de vazão tomadas nos ensaios realizados dos 60 gotejadores de cada parcela, exceto para a determinação do Índice de Performance do gotejador que foi obtido através de um programa computacional, o Unif 3.6, que utiliza 18 dados.

Os Quadros 22, 23, 24 e 25 mostram todos os resultados dos 5 índices de uniformidade de distribuição de água calculados para cada fase.

Quadro 22: Resultados dos índices de uniformidade de distribuição de água calculados da primeira etapa.

ENSAIO	FILTROS	ÍNDICES DE UNIFORMIDADE				
		ns	Dra	Eu	Us	UNIF 36
1	Manta	58,33	102,04	98,38	97,63	97,66
	Disco	15,00	104,18	98,55	97,96	97,98
2	Manta	3,33	111,92	94,17	97,67	98,00
	Disco	8,33	105,32	98,01	97,82	97,70
3	Manta	33,67	115,6	93,36	97,6	97,73
	Disco	8,33	104,98	98,20	97,64	98,24
4	Manta	33,34	131,25	86,72	97,69	98,42
	Disco	50,00	101,97	97,78	97,44	98,05
5	Manta	3,33	106,57	98,8	98,21	98,60
	Disco	5,00	106,52	98,68	97,81	98,59
6	Manta	26,67	103,73	108,76	98,10	98,00
	Disco	40,00	102,10	96,99	96,79	97,33
7	Manta	1,67	113,08	98,41	97,64	98,57
	Disco	1,67	112,12	95,89	97,65	98,39
8	Manta	45,00	102,51	98,10	97,71	97,18
	Disco	11,67	104,91	98,58	97,84	98,27
9	Manta	13,33	107,12	96,57	97,56	98,42
	Disco	21,67	101,52	99,61	97,23	97,06
10	Manta	0,00	130,80	88,55	88,55	98,24
	Disco	3,33	113,96	93,52	93,52	96,70
Média	Manta	21,87	112,46	96,18	96,84	98,08
	Disco	16,50	105,96	97,58	97,17	97,83

Quadro 23: Resultados dos índices de uniformidade de distribuição de água calculados da segunda etapa.

ENSAIO	FILTROS	ÍNDICES DE UNIFORMIDADE				
		ns	Dra	Eu	Us	UNIF 36
1	Manta	91,67	99,16	116,80	92,73	98,63
	Disco	26,67	108,81	97,95	95,02	96,15
2	Manta	8,33	106,03	109,22	84,12	98,65
	Disco	0,00	124,47	85,63	97,67	97,99
3	Manta	5,00	111,99	103,41	93,85	97,58
	Disco	3,33	115,95	91,92	97,51	97,14
4	Manta	6,67	107,96	107,28	96,29	98,41
	Disco	10,00	111,90	95,25	97,32	98,09
5	Manta	8,33	109,08	106,17	95,90	98,26
	Disco	5,00	114,44	93,13	97,80	97,83
6	Manta	68,33	101,43	114,18	95,82	98,12
	Disco	8,33	111,74	95,38	97,89	97,68
7	Manta	25,00	105,73	109,54	95,73	97,99
	Disco	15,00	121,50	87,72	92,94	96,25
8	Manta	91,67	95,86	120,82	96,41	98,26
	Disco	75,00	98,16	108,59	95,43	96,25
9	Manta	91,67	96,75	119,70	96,45	98,46
	Disco	41,67	107,33	99,31	97,14	96,85
10	Manta	30,00	105,66	109,61	97,05	97,81
	Disco	6,67	117,67	90,58	96,11	95,14
11	Manta	3,33	112,79	97,84	94,33	98,39
	Disco	18,33	108,93	102,69	97,74	94,71
12	Manta	3,33	112,79	102,69	94,33	98,24
	Disco	18,33	108,79	97,84	97,74	98,05
Média	Manta	36,11	105,44	109,77	94,42	98,23
	Disco	19,03	112,49	95,50	96,69	96,84

Quadro 24: Resultados dos índices de uniformidade de distribuição de água calculados da terceira etapa.

ENSAIO	FILTROS	ÍNDICES DE UNIFORMIDADE				
		Ns	Dra	Eu	Us	UNIF 36
1	Manta	16,67	107,48	98,07	95,12	97,02
	Disco	18,33	119,19	86,63	95,95	96,95
2	Manta	5,00	130,17	80,97	96,25	97,02
	Disco	1,67	120,19	85,91	96,49	96,69
3	Manta	10,00	110,29	95,57	95,62	97,71
	Disco	1,67	127,42	81,03	96,93	97,90
4	Manta	21,67	112,56	93,64	94,72	97,66
	Disco	31,67	111,86	92,31	95,41	94,72
5	Manta	5,00	118,38	89,03	95,34	97,21
	Disco	5,00	121,71	84,84	95,94	95,83
6	Manta	18,33	112,24	93,90	94,44	97,33
	Disco	10,00	110,71	93,27	97,15	97,31
7	Manta	15,00	116,01	90,86	91,04	96,65
	Disco	11,67	109,54	94,26	92,55	91,43
8	Manta	63,33	106,26	99,19	93,94	97,54
	Disco	6,67	118,39	87,22	97,06	97,42
9	Manta	43,33	105,09	100,29	94,52	97,59
	Disco	0,00	119,03	86,75	97,09	97,09
Média	Manta	22,04	113,16	93,50	94,55	97,30
	Disco	9,63	117,56	88,02	96,06	96,15

Quadro 25: Resultados dos índices de uniformidade de distribuição de água calculados da quarta etapa.

ENSAIO	FILTROS	ÍNDICES DE UNIFORMIDADE				
		ns	Dra	Eu	Us	UNIF 36
1	Manta	13,33	105,74	99,68	93,20	97,33
	Disco	56,67	101,81	101,42	96,34	97,20
2	Manta	81,67	99,82	105,59	86,77	98,17
	Disco	21,67	99,36	103,93	86,06	97,41
3	Manta	88,33	99,72	105,70	90,07	97,17
	Disco	81,67	99,92	103,34	96,99	96,96
4	Manta	68,33	97,95	107,60	87,76	97,40
	Disco	38,33	101,77	101,46	91,64	95,69
5	Manta	31,67	99,23	106,22	82,49	97,05
	Disco	21,67	99,26	104,03	96,62	96,87
6	Manta	95,00	93,05	113,28	90,61	93,64
	Disco	98,33	90,18	114,51	94,48	93,00
7	Manta	13,33	107,30	98,23	89,58	95,23
	Disco	65,00	97,29	106,13	95,42	93,95
8	Manta	60,00	98,60	106,90	88,04	98,42
	Disco	75,00	97,15	106,29	96,78	98,42
9	Manta	21,67	102,37	102,96	88,13	97,74
	Disco	58,33	96,50	107,00	86,46	95,74
10	Manta	13,33	106,61	98,86	86,02	97,21
	Disco	71,67	98,09	105,27	96,43	95,77
Média	Manta	48,67	101,04	104,50	88,27	96,94
	Disco	58,83	98,13	105,34	93,72	96,10

A partir dos resultados contidos nos Quadros anteriores, foram construídos gráficos com cada índice de uniformidade. Os gráficos das Figuras a seguir mostram a evolução dos coeficientes de uniformidade ao longo do período de ensaios, em cada fase. Procurou-se elaborar gráficos com a maior quantidade de dados possíveis para simplificar a comparação e análise dos resultados. Assim, num mesmo gráfico, e para determinado índice de uniformidade, é possível visualizar os resultados de todos os ensaios realizados nas 4 etapas.

O primeiro índice a ser calculado foi o coeficiente de Uniformidade Estatística de Emissão (Us). O gráfico da Figura 64 mostra a variação temporal dos índices calculados nas 4 etapas.

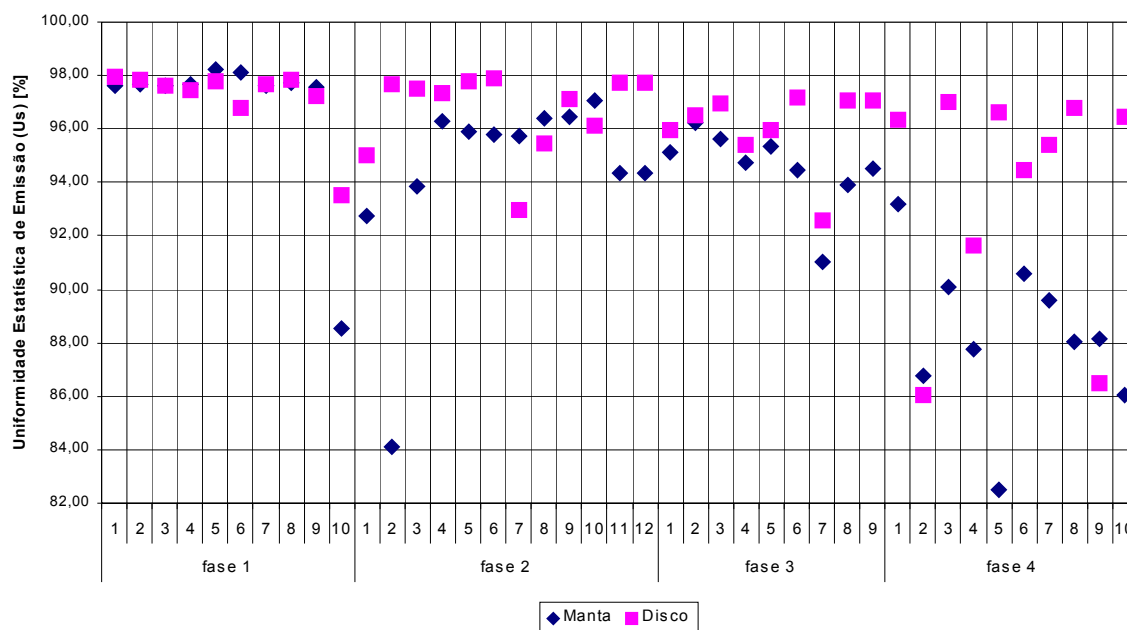


Figura 64 – Variação do coeficiente de Uniformidade Estatística de Emissão (Us) ao longo do tempo.

O gráfico da Figura 64 mostra que o coeficiente de Uniformidade Estatística de Emissão calculado sofreu uma diminuição contínua ao longo do tempo na parcela contendo filtro de disco, exceto por um ou outro ensaio quando observaram-se quedas bruscas nos valores calculados. Desconsiderando os dados do último ensaio da primeira fase e os 3 iniciais da segunda fase para a parcela contendo filtro de manta, nota-se claramente um declínio progressivo da uniformidade de distribuição da água, que torna-se mais pronunciado na última fase da pesquisa. Na primeira fase, o coeficiente esteve sempre próximo de 98,0% em ambas as parcelas, exceto no ensaio de número 10, quando se observou uma queda pronunciada especialmente na parcela com filtro de manta. Na segunda fase, houve maior variabilidade nos índices, especialmente na parcela com o elemento filtrante de manta. Os valores resultantes dos ensaios de vazão dos gotejadores neste período estiveram mais próximos de 96,0%. Na terceira fase, os valores caíram ainda mais, indicando que realmente houve uma tendência de entupimento dos emissores nas duas parcelas de irrigação. Os índices calculados neste período atingiram valores de aproximadamente 94,0%. Na quarta etapa da pesquisa, a diferença entre os índices calculados para ambas parcelas tornou-se mais visível. Exceto por dois ensaios (de número

2 e 9) a uniformidade obtida na parcela com filtro de disco sempre foi superior à obtida na outra.

Observou-se portanto, que a parcela com filtro de disco apresentou melhores resultados de uniformidade de distribuição de água, especialmente nas duas fases finais. O valor médio do coeficiente de Uniformidade Estatística de Emissão (Us) calculado a partir de todos os ensaios realizados na 4 fases da pesquisa foi de 93,52% para o filtro de manta e 95,91% para o filtro de disco.

Segundo a classificação adotada pela ASAE (1989), ambas as parcelas de irrigação apresentaram valores médios excelentes de uniformidade pois estiveram sempre acima de 90% (Quadro 3). No entanto, verificando-se as médias obtidas da uniformidade Estatística de Emissão para cada período de ensaios, nota-se que na última etapa da pesquisa, a parcela com filtro de manta sintética apresentou valor médio de 88,27%. Este valor é considerado bom e não excelente segundo a classificação citada.

O gráfico da Figura 65 mostra a variação dos valores médios da uniformidade estatística de emissão calculada para as parcelas contendo os dois elementos filtrantes nas quatro etapas da pesquisa.

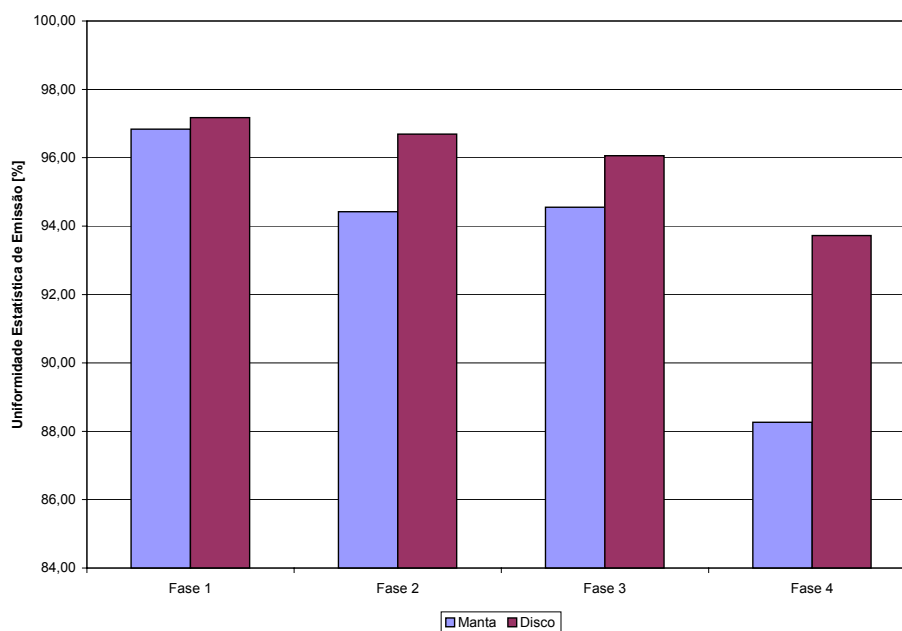


Figura 65 – Variação dos valores médios do coeficiente de Uniformidade Estatística de Emissão (Us) nas quatro etapas realizadas.

O gráfico da Figura 65 mostra que na primeira fase do experimento, não houve diferença significativa entre os valores médios obtidos nas duas parcelas de irrigação. Com o passar do tempo, a uniformidade de distribuição de água manteve-se mais elevada na parcela com filtro de disco. O processo de entupimento dos gotejadores foi mais pronunciado na parcela com filtro de manta, muito embora, também tenha ocorrido de maneira progressiva na parcela com filtro de disco.

O Índice da Performance do gotejador no campo é calculado através de um programa computacional que se utiliza de 18 amostras, tomadas no início, meio e fim das linhas laterais de gotejamento. Os resultados obtidos são bastante coerentes, pois, assim como verificado a partir dos valores calculados do coeficiente de Uniformidade de Emissão Estatística (Us), houve uma queda contínua nos valores calculados para ambas parcelas de irrigação ao longo do tempo. O gráfico da Figura 66 mostra a evolução do Índice de performance dos gotejadores.

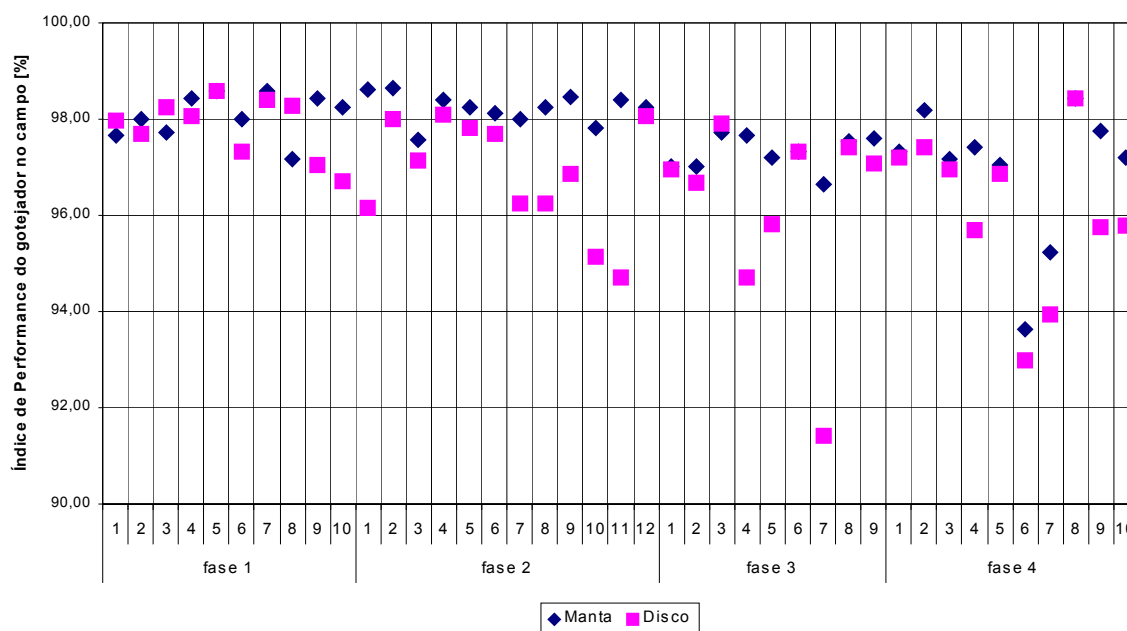


Figura 66 - Variação do Índice de Performance do gotejador no campo ao longo do tempo.

Nota-se no gráfico da Figura 66 que tanto a variabilidade dos dados quanto a queda dos mesmos são mais pronunciadas nas fases 2 e 3. Nestas, observa-se também maior

diferenciação entre os valores obtidos para a parcela contendo o elemento filtrante de manta daqueles obtidos para a outra parcela. Durante toda a segunda fase de ensaios os valores de uniformidade na parcela com filtro de manta foram maiores que os coeficientes calculados com os dados dos ensaios de vazão realizados na parcela contendo filtro de disco. Esta tendência também foi observada nas duas fases finais, embora em alguns ensaios realizados a uniformidade calculada na parcela com filtro de disco tenha sido superior à uniformidade obtida na outra parcela.

Após a realização de todos os ensaios das 4 etapas do experimento, a média dos índices de performance dos gotejadores no campo nas linhas de gotejamento com filtro de manta foi de 97,63% e na parcela com filtro de disco a média foi de 96,73%. Ambos valores são tidos como excelentes segundo a classificação da ASAE (1989). Os valores médios dos coeficientes calculados em cada etapa estão representados no gráfico da Figura 67.

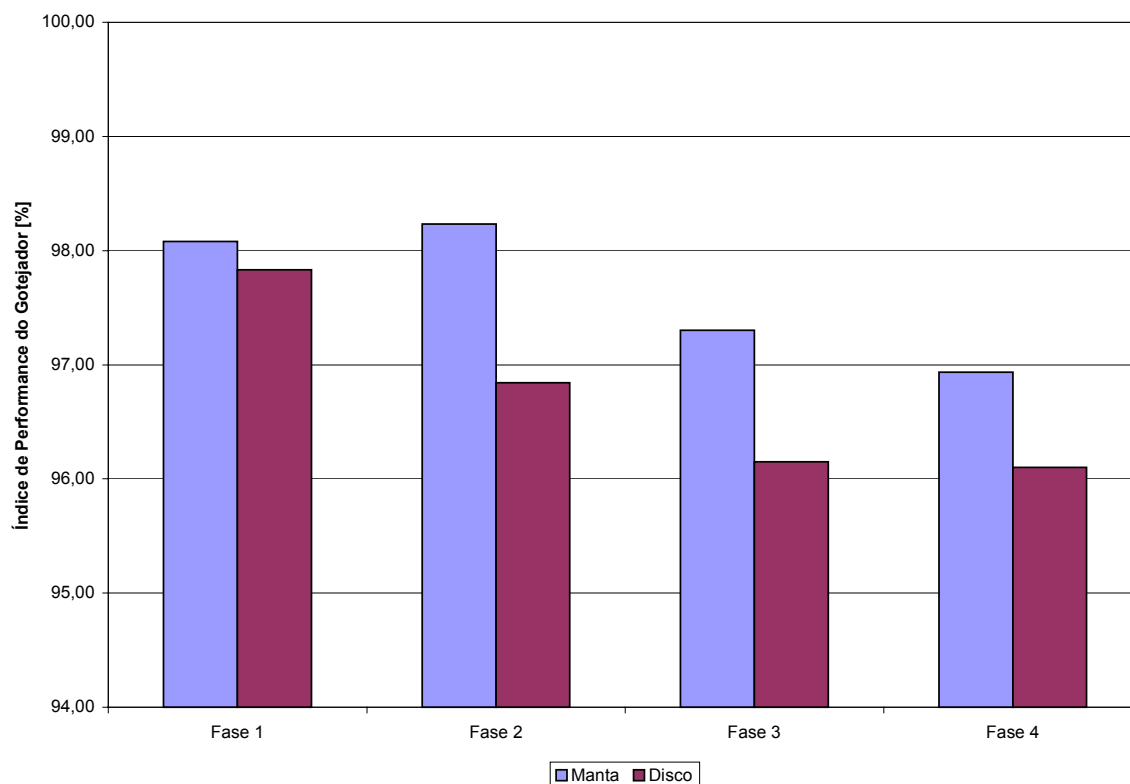


Figura 67 - Variação dos valores médios do Índice de Performance dos gotejadores no campo, nas quatro etapas realizadas.

O Índice de Performance do gotejador no campo também foi equivalente para as duas parcelas de irrigação na primeira etapa da pesquisa. Já nas 3 etapas finais, com o crescente entupimento dos gotejadores, houve uma queda nos valores médios deste índice calculado nas duas parcelas, mais pronunciada naquela contendo filtro de disco. Desta forma, a parcela de gotejamento com filtro de manta manteve valores deste coeficiente de uniformidade de distribuição de água mais satisfatórios.

O gráfico da Figura 68 contém os dados obtidos a partir do cálculo da relação das vazões médias nas 4 etapas experimentais.

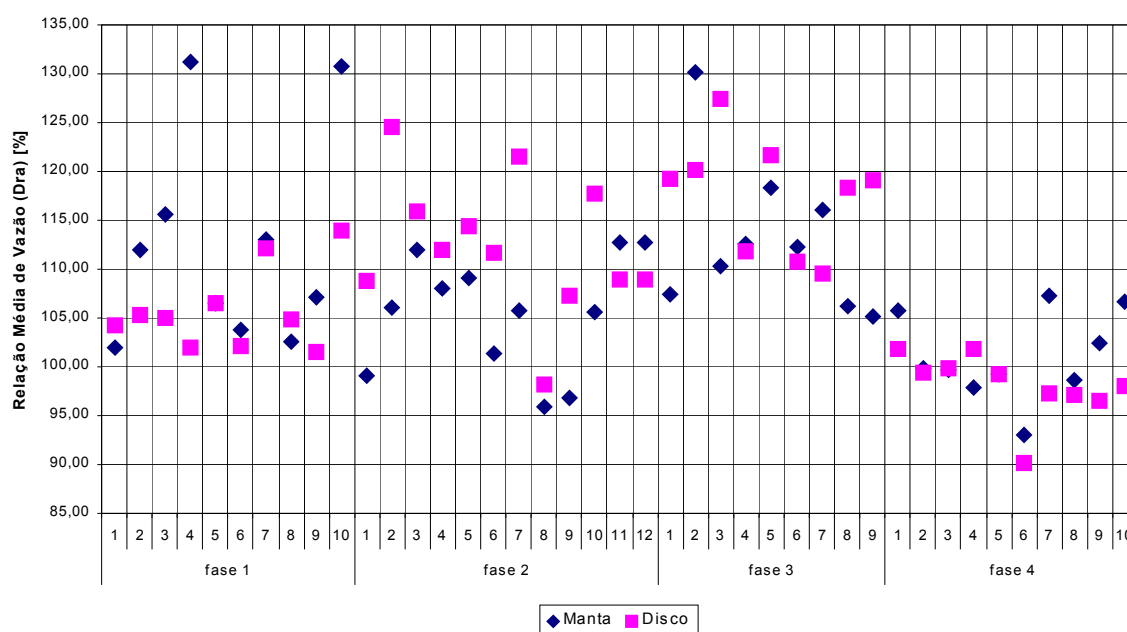


Figura 68 - Variação da Relação das Vazões Médias (Dra) ao longo do tempo.

A relação das vazões médias dos gotejadores (Dra) obtida através da medida de vazão dos emissores instalados tanto na parcela contendo filtro de manta, quanto na parcela contendo filtro de disco, foi sempre superior a 100%, exceto em alguns ensaios realizados na segunda e quarta etapas da pesquisa. Isto significa que a vazão medida no campo foi, na grande maioria das vezes, superior à vazão teórica esperada para os gotejadores, para a pressão de serviço medida durante os ensaios de vazão. Em cada ensaio, foram obtidas medidas da pressão de serviço e corrigidas segundo as curvas de calibração dos

manômetros, para a obtenção da vazão teórica. Esta por sua vez, é relacionada com cada um dos 60 valores de vazão medidos no campo para cálculo deste índice.

O fato dos valores terem ultrapassado 100% de uniformidade pode estar relacionado à precisão de medida dos manômetros e à frequência com que a pressão de serviço era medida. Seria interessante ainda, que, a exemplo da obtenção das medidas de perda de carga através do sistema de aquisição de dados, a obtenção das medidas de pressão de serviço fosse automatizada e realizada com grande precisão por meio de sensores de pressão para que o cálculo da Relação das Vazões médias fosse confiável. Se por um lado pode-se pensar que as parcelas não apresentam problemas de uniformidade, segundo este parâmetro considerado, há certamente um desperdício na quantidade de água aplicada, já que a vazão medida supera a dimensionada segundo a equação dos emissores. Uma outra hipótese é a de que, como o sistema estava exposto à radiação solar permanentemente, pode ter havido dilatações nas tubulações e mangueiras gotejadoras, provocando um aumento indesejável da descarga dos gotejadores.

Observa-se no gráfico da Figura 68 uma grande variabilidade dos dados e uma alternância constante entre a magnitude dos valores obtidos nas duas parcelas de irrigação por gotejamento. A média obtida para a parcela com filtro de manta foi de 108,02% e a obtida para o filtro de disco foi de 108,53%, após realizados todos os ensaios de experimentação.

O gráfico da Figura 69 mostra que em todas as etapas, exceto pela última na parcela com filtro de disco, as médias deste coeficiente de uniformidade sempre superaram o valor de 100%. Isto significa que a vazão medida no campo foi maior que a esperada teoricamente segundo a equação de vazão x pressão dos emissores e a pressão de serviço obtida durante o ensaio. Não foi observada qualquer tendência de queda na uniformidade calculada a partir da relação das vazões médias para as duas parcelas de irrigação.

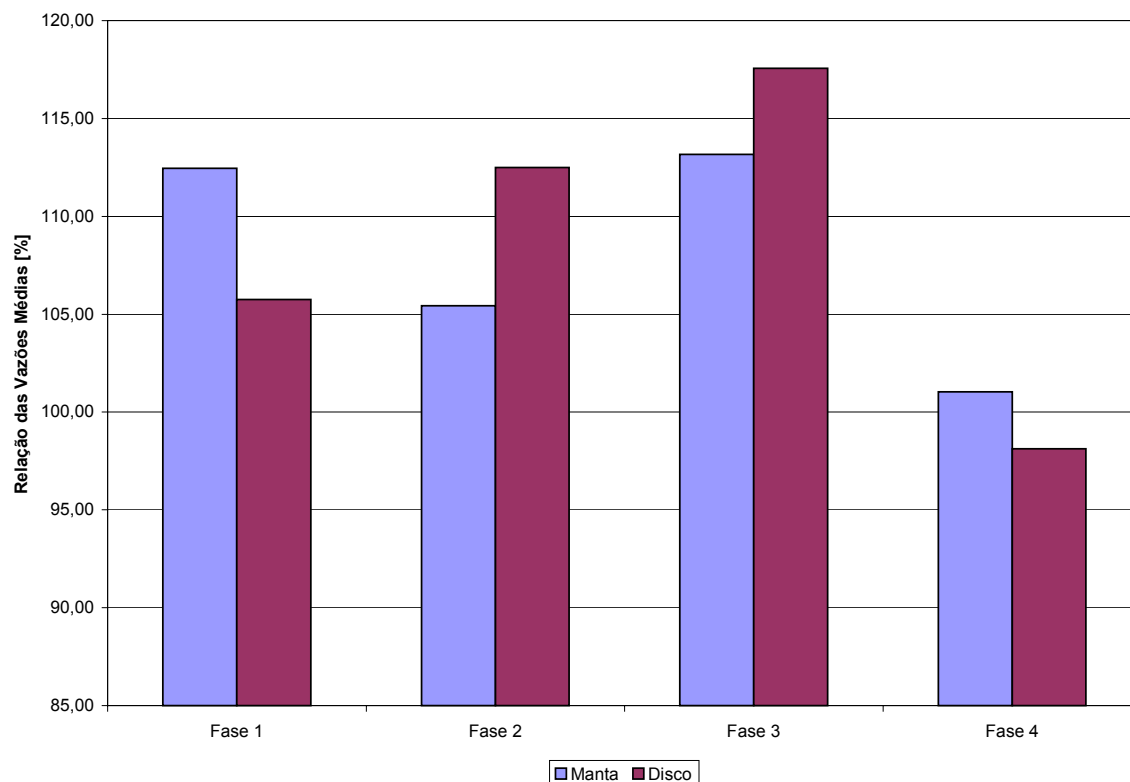


Figura 69 – Variação dos valores médios das relações das Vazões Médias (Dra) nas quatro etapas realizadas.

O Gráfico da Figura 70 mostra que a Uniformidade de Emissão (Eu), assim como a relação das vazões médias calculadas, também apresentou diversos valores acima de 100%, especialmente na segunda e quarta etapas do experimento. Nota-se que na primeira fase da pesquisa, a parcela com filtro de disco apresentou melhor desempenho no que se refere à uniformidade de emissão de água, já que apresentou resultados mais estáveis e próximos de 100 %, quando comparado aos resultados da parcela contendo filtro de manta. Na segunda etapa, houve grande elevação dos valores de Uniformidade de Emissão obtidos na parcela contendo filtro de manta sintética. Na terceira etapa, houve queda dos valores, de forma que os coeficientes estiveram abaixo de 100% e por fim, na última etapa os valores voltaram a subir, ultrapassando 100% na grande maioria dos ensaios.

Este parâmetro é mais consistente que a relação das vazões médias, pois além de relacionar entre si as vazões medidas e esperadas dos gotejadores, relaciona também, os 25 % menores valores de vazão medidos com a relação anterior (vide Equação 6).

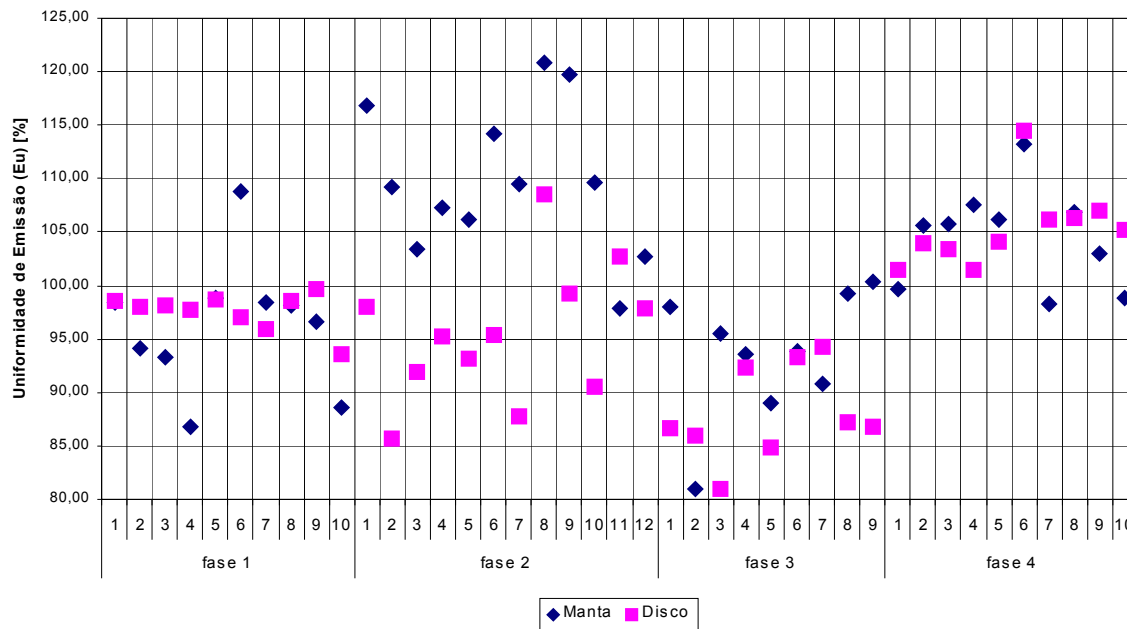


Figura 70 - Variação da Uniformidade de Emissão (Eu) ao longo do tempo.

O valor médio da Uniformidade de emissão obtido após a realização dos ensaios das 4 etapas foi de 100,99% para a parcela com filtro de manta e de 96,61% para a parcela contendo o filtro de disco.

A uniformidade de emissão pode ser classificada como excelente para ambas parcelas segundo a classificação apresentada no Quadro 4. Os mesmos comentários com respeito à obtenção dos dados de pressão para cálculo da relação das vazões médias cabem para a determinação mais precisa da uniformidade de emissão (Eu).

Verifica-se a partir do gráfico da Figura 71 que na primeira e quarta etapas do experimento, a parcela contendo filtro de disco apresentou maior uniformidade segundo cálculo da Uniformidade de Emissão (Eu). Nas outras duas etapas ocorreu o inverso, sendo que na segunda fase, o valor médio da Uniformidade de Emissão calculada para a parcela com filtro de manta, superou 100%. O mesmo ocorreu para ambas parcelas na quarta etapa. Da primeira para a terceira fase de experimentação, verificou-se uma queda contínua na Uniformidade de Emissão obtida na parcela com filtro de disco, mas na etapa final houve um crescimento acentuado. Na parcela contendo filtro de manta não pode ser definida qualquer tendência.

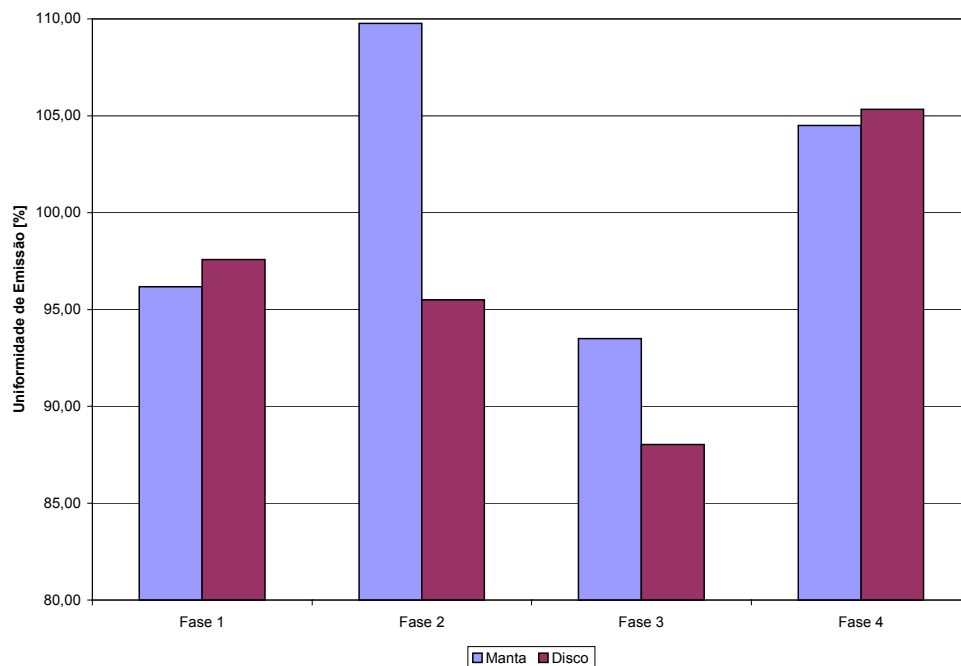


Figura 71 – Variação dos valores médios de Uniformidade de Emissão (Eu) nas quatro etapas realizadas.

O gráfico da Figura 72 ilustra o resultado dos valores obtidos para ambas parcelas de irrigação do índice que quantifica a porcentagem de gotejadores entupidos ou parcialmente entupidos. Para o cálculo deste parâmetro, há novamente comparação entre as vazões medidas em ensaio de campo e vazões teóricas calculadas a partir de determinação da pressão de serviço no momento de coleta dos dados. A parcela contendo filtro de disco foi ligeiramente superior a de manta após a realização dos ensaios das 4 etapas da pesquisa, apresentando um valor médio de entupimento parcial de gotejadores de 25,99 %, contra 32,17%, respectivamente. Os maiores valores de porcentagem de gotejadores parciais ou totalmente entupidos foram observados predominantemente na quarta fase da experimentação.

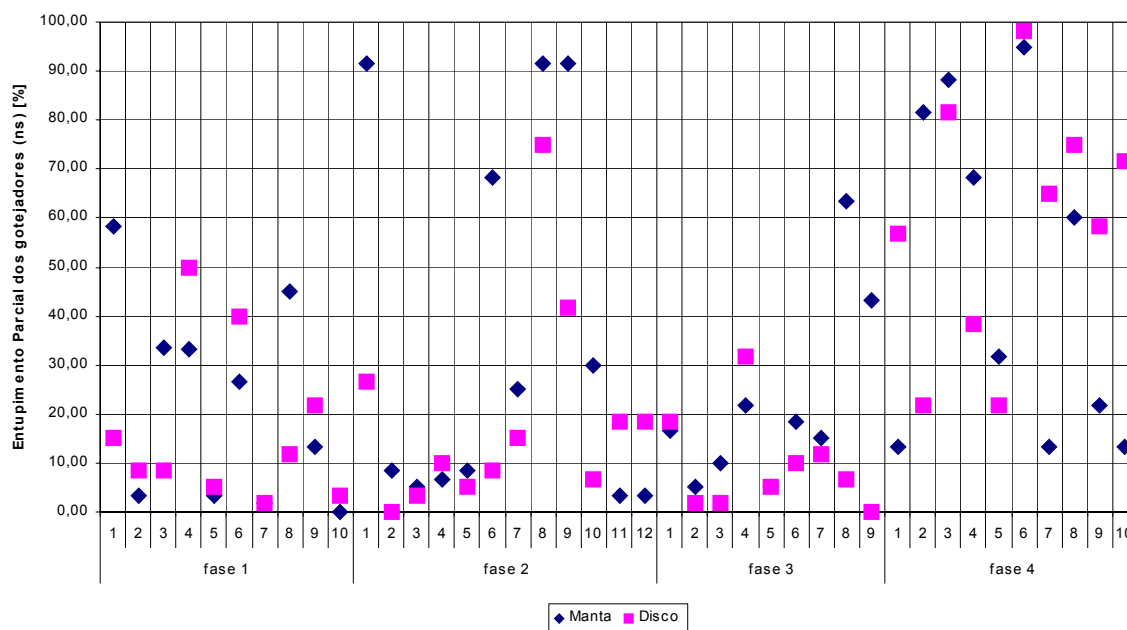


Figura 72 - Variação do entupimento parcial dos gotejadores (ns) ao longo do tempo.

O gráfico da Figura 73 mostra que os gotejadores da parcela contendo filtro de manta estiveram, nas 3 fases iniciais da pesquisa, mais parcial ou totalmente entupidos que aqueles da outra parcela de irrigação. Na etapa final, esta relação foi invertida. Na quarta fase do experimento, atingiram-se os maiores valores médios para cada parcela, de Entupimento Parcial ou total dos gotejadores, com aproximadamente 49% dos gotejadores da parcela com elemento filtrante de manta e 59% dos gotejadores da outra parcela parcial ou totalmente entupidos.

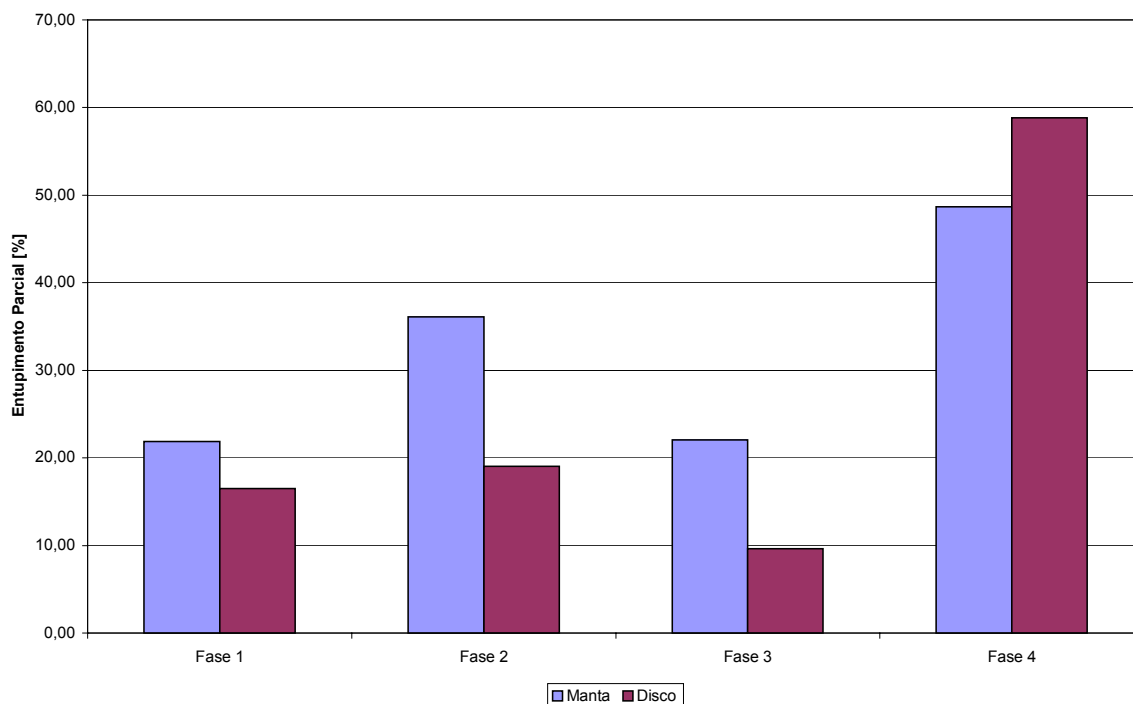


Figura 73 – Variação dos valores médios de Entupimento Parcial dos gotejadores (ns) nas quatro etapas realizadas.

Os resultados obtidos segundo cálculos da uniformidade estatística de emissão (Us) e índice de performance dos gotejadores no campo, indicam excelente distribuição de água no sistema de irrigação, tanto no setor com filtro de disco, quanto no setor com filtro de manta sintética, exceto pelos resultados apresentados por esta última na fase final.

Através dos valores médios de uniformidade calculados pelos índices de Uniformidade Estatística de Emissão (Us) e Índice de performance dos gotejadores no campo, pode-se comprovar, decorridas 4 etapas da pesquisa, um processo crescente de obstrução dos emissores. Verificou-se, no entanto, que os resultados obtidos para um ou outro índice não foram coincidentes. Deve-se atentar ao fato de que o universo amostral para determinação da Uniformidade Estatística de Emissão foi de 60 gotejadores, ao passo que para o cálculo do Índice de Performance dos gotejadores foram utilizadas apenas 18 amostras.

Para uma comparação mais criteriosa das médias obtidas nos ensaios de vazão dos 5 índices de uniformidade calculados, foi realizada uma análise de variância dos dados. Desta forma, procurou-se determinar se houve diferenças significativas entre os resultados

obtidos, e qual dos filtros apresentaram melhor performance na prevenção da obstrução dos emissores.

5.7. Perda de carga nos filtros

Decorrido os 30 dias de ensaio de cada fase, todos os dados de perda de carga localizada armazenados pelo sistema de aquisição de dados, foram reunidos em uma mesma planilha e trabalhados. Como a quantidade de dados era muito grande, obtiveram-se valores médios de perda de carga localizada para cada 10 minutos de irrigação, diminuindo-se desta forma, o número total de pontos em dez vezes. Cada parcela de irrigação conta com uma vazão de 10L/minuto, que corresponde a 600L/h. Desta forma, por hora são filtrados 600L de água, ou ainda $0,6 \text{ m}^3$. Em todo o período, de 30 dias, com dois turnos de rega diários, os quais têm duração de 2 horas, totalizam-se $72,0 \text{ m}^3$ de água filtrada por cada elemento filtrante.

Os resultados finais das 4 etapas, com referência à evolução da perda de carga medidas em ambos filtros contendo os dois elementos filtrantes podem ser visualizados nas Figuras 74, 75, 76 e 77. Como fora relatado anteriormente, a manta utilizada na primeira etapa da pesquisa fora substituída por outra após a realização de ensaios com 4 mantas sintéticas diferentes.

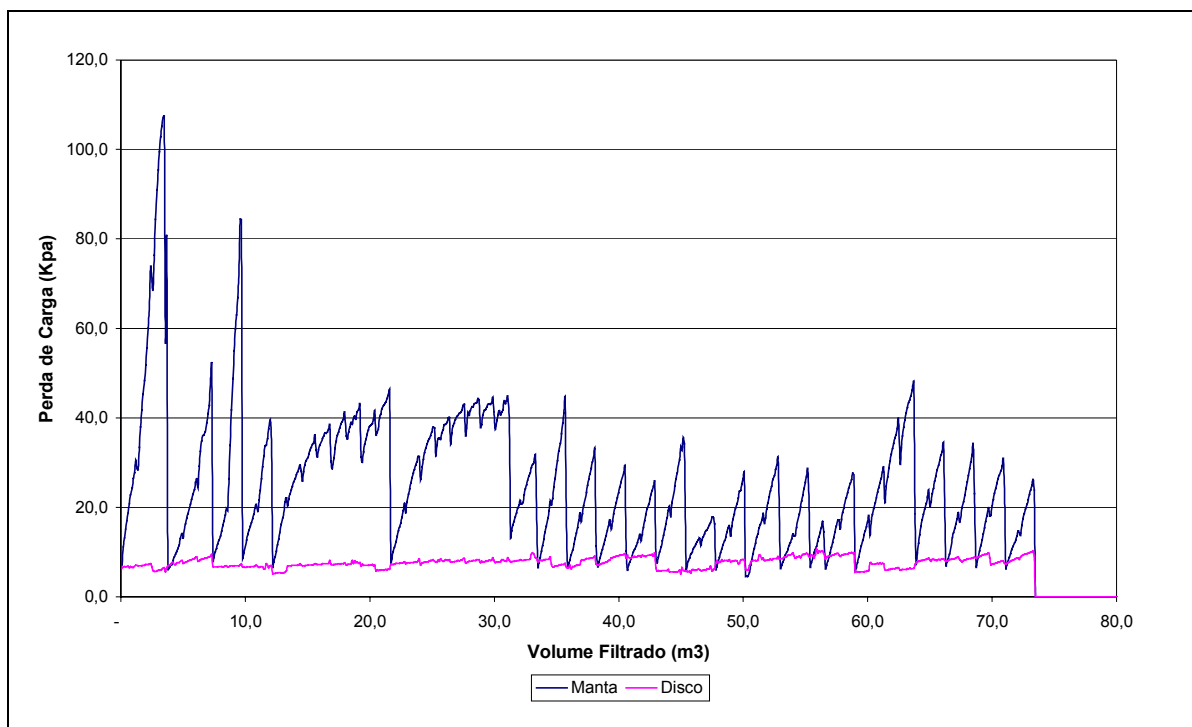


Figura 74 –Variação da perda de carga nos elementos filtrantes disco e manta sintética (M1) na primeira fase do experimento.

O gráfico da Figura 74 mostra uma evolução muito mais intensa da perda de carga no elemento filtrante manta sintética se comparada à mesma ocorrida no filtro com disco. O gráfico final é semelhante à figura do dente de serra, onde há crescimento da perda de carga contínuo até um momento em que há uma queda abrupta. Em seguida, há novo crescimento seguido de nova queda, e assim sucessivamente. As quedas mais bruscas, em que a perda de carga retorna a um valor abaixo de 20 kPa (para o filtro de manta) representam os momentos de limpeza do elemento filtrante, ao passo que quedas de menor intensidade representam apenas a transição entre um turno e o seguinte de irrigação. É importante destacar que as limpezas dos elementos filtrantes eram realizadas entre os turnos de rega, manualmente e com água de abastecimento urbano.

A variação da perda de carga localizada nos filtros foi plotada em função do volume de água filtrada pelos elementos filtrantes e não pelo tempo, por ser uma grandeza mais fácil de ser comparada, já que diferentes sistemas de irrigação, por suas particularidades, possuem diferentes vazões.

Embora nos primeiros ensaios a perda de carga no filtro com manta sintética tenha atingido valores superiores a 100 kPa e 80 kPa, procurou-se efetuar a limpeza do referido elemento filtrante toda vez que o diferencial de pressão medido no mesmo atingisse 40 kPa. Nesta primeira fase, segundo a adoção deste critério, não houve a necessidade de se efetuar qualquer limpeza no filtro de disco, mesmo porque a qualidade da água foi muito boa no período em questão. Já no filtro contendo manta sintética foram realizadas 22 operações de limpeza. Com relação à perda de carga desenvolvida por ambos elementos filtrantes, verificou-se um melhor desempenho do filtro de disco em relação ao de manta sintética.

Ao final da primeira fase, foi efetuada uma série de ensaios com quatro novas mantas sintéticas, no intuito de selecionar um elemento filtrante mais eficiente com relação à perda de carga desenvolvida. Após serem analisados os resultados optou-se por substituir a manta adotada inicialmente por outra, de cor preta .

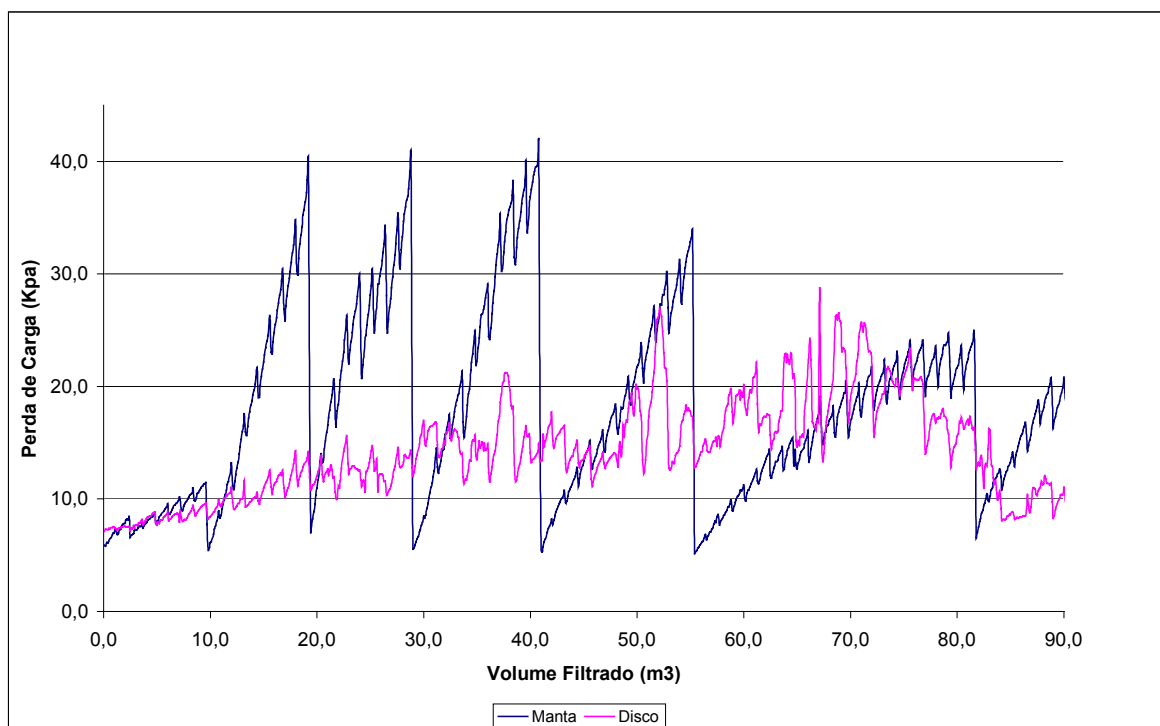


Figura 75 – Variação da perda de carga nos elementos filtrantes disco e manta sintética (M5) na segunda fase do experimento.

É possível notar, no gráfico da Figura 75, que a perda de carga desenvolvida no filtro de manta continuou sendo maior que aquela desenvolvida no filtro de disco. No

entanto, houve menor diferenciação entre os valores obtidos, ainda mais porque a qualidade da água de irrigação piorou substancialmente da primeira para a segunda etapa. A retenção das partículas sólidas em suspensão na água pelos filtros promove aumento da perda localizada nestes elementos.

Nesta segunda etapa da pesquisa, houve necessidade de efetuar a limpeza do filtro de manta cinco vezes. A diferença na quantidade de operações de limpeza realizadas na primeira e segunda etapas, comprova que a nova manta sintética apresentou melhores resultados com relação ao aumento da perda de carga ao longo do tempo, já que a qualidade da água de irrigação piorou consideravelmente nesta etapa. O filtro de disco não precisou ser lavado.

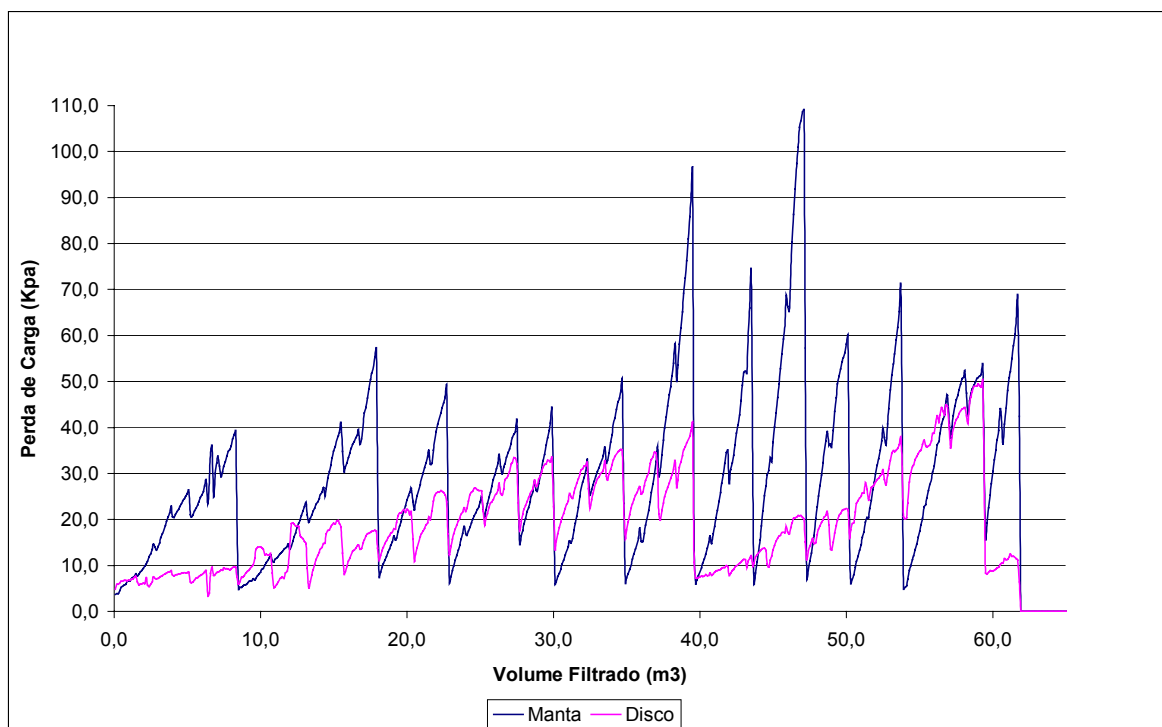


Figura 76 - Variação da perda de carga nos elementos filtrantes disco e manta sintética (M5) na terceira fase do experimento.

Nesta terceira etapa, a concentração de sólidos aumentou ainda mais na água do reservatório. Esta elevação foi ainda mais pronunciada em função da instalação do compressor de ar junto ao sistema de bombeamento do sistema. Verifica-se no gráfico da Figura 76 que houve maior necessidade de limpeza dos filtros em função desta piora da

qualidade da água. No filtro de manta foram realizadas 13 operações de limpeza, sendo que em alguns casos a perda de carga chegou a valores de 100 kPa pela rapidez da elevação das perdas localizadas. No filtro de disco foram necessárias 7 limpezas no período.

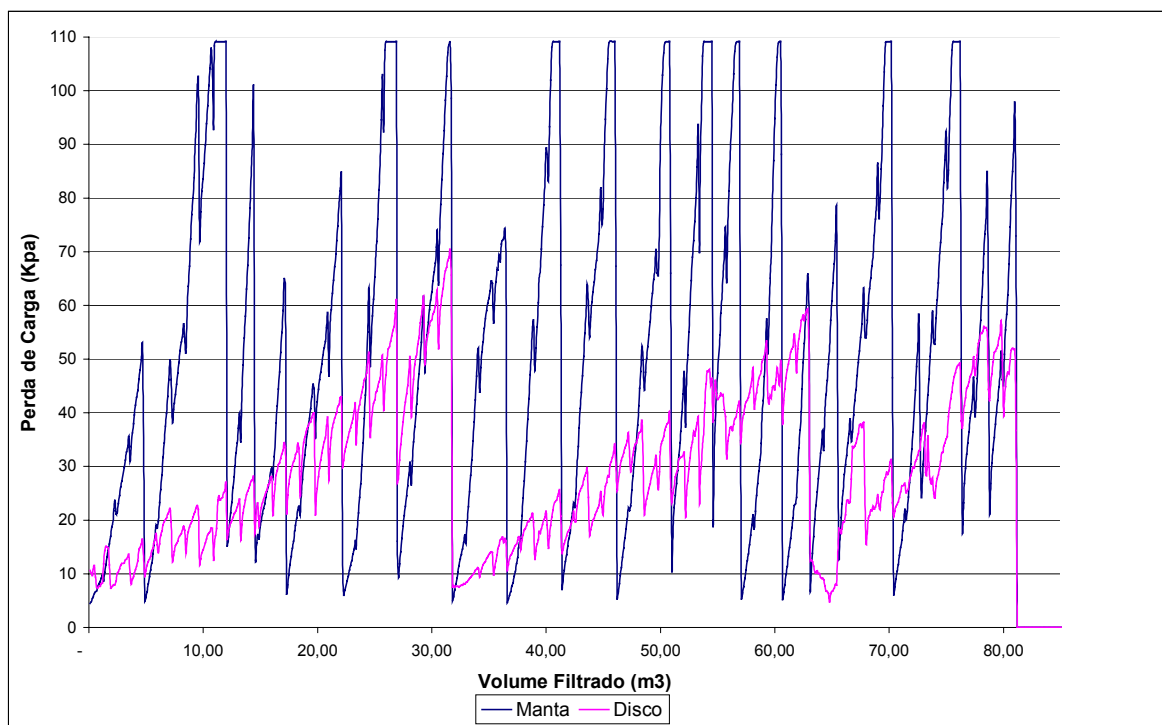


Figura 77 - Variação da perda de carga nos elementos filtrantes disco e manta sintética (M5) na quarta fase do experimento.

Verifica-se através do gráfico da Figura 77 que na etapa final da pesquisa a concentração média de sólidos em suspensão atingiu seus maiores valores, de forma que os filtros operaram sob condições mais severas. Assim como nas fases anteriores, a perda de carga desenvolvida no filtro com manta sintética não tecida foi superior àquela desenvolvida no filtro de disco. Em alguns momentos a perda de carga neste filtro ultrapassou rapidamente a perda máxima programada de 40 kPa. Foram necessárias, no período, 19 operações de limpeza do filtro de manta e 5 do filtro de disco.

Após finalizadas as 4 etapas da pesquisa, pode-se afirmar que as perdas de carga desenvolvidas no filtro contendo mantas sintéticas não tecidas superaram sempre aquelas desenvolvidas no filtro de disco. Houve portanto, uma necessidade de se efetuar a retrolavagem no filtro de manta sintética com mais frequência que no filtro com elemento

filtrante de disco. Esta desvantagem aparente dos filtros de manta só é confirmada se este filtro não apresentar maior retenção das partículas em suspensão da água. Caso contrário, o maior aumento da perda de carga seria justificado por uma maior eficiência e retenção de materiais em suspensão na água.

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

5.8. Análise microbiológica de mangueiras gotejadoras

Decorrido um ano de ensaios, foram realizadas duas análises microbiológicas para determinação dos principais gêneros de algas encontrados nas amostras de água coletadas a partir das mangueiras e gotejadores localizados em cada uma das parcelas contendo os dois filtros de irrigação.

Nas análises foram encontrados os seguintes gêneros de algas; *Ankistrodesmus sp*, *Chlorella sp*, *Cylindrospermum sp*, *Dinobryon sp*, *Micrasteria sp*, *Microcystis sp*, *Nitzschia sp*, *Phytocomis sp*, *Scenedesmus sp*, *Selenastrum sp*, *Synedra sp* e *Staurastrum sp*. As algas do gênero *Chlorella*, *Selenastrum* e *Scenedesmus* também foram encontradas por Scatolini (2001) em estudos realizados sobre a eficiência de manta sintética não tecida na remoção de algas presentes na água de irrigação.

O Quadro 26 mostra os gêneros de algas encontrados depois dos sistemas de filtragem nas mangueiras e gotejadores. Verifica-se que uma maior diversidade de gêneros de algas foram detectadas após a realização das duas etapas iniciais, justamente no período em que a qualidade da água de irrigação esteve pior em relação às etapas anteriores.

Quadro 26: Resultados das análises microbiológicas das mangueiras e gotejadores.

FILTRO	GÊNEROS	
	Primeiro Semestre (inverno e primavera)	Segundo Semestre (verão e outono)
Manta	<i>Selenastrum sp</i>	<i>Chlorella sp</i> , <i>Cylindrospermum sp</i> , <i>Nitzschia sp</i> , <i>Selenastrum sp</i> , <i>Synedra sp</i> , <i>Staurastrum sp</i> .
Disco	<i>Ankistrodemus sp</i> , <i>Selenastrum sp</i> , <i>Scenedesmus sp</i> , e <i>Microcystis sp</i>	<i>Cylindrospermum sp</i> , <i>Dinobryon sp</i> , <i>Micrasteria sp</i> , <i>Phytoconis sp</i> , <i>Scenedesmus sp</i> , <i>Selenastrum sp</i> , <i>Synedra sp</i> , <i>Staurastrum sp</i> .

5.8.1. Caracterização das algas

Ao todo, foram encontrados 12 tipos de algas distintas. É importante ter conhecimento das particularidades de cada espécie de alga encontrada nas linhas laterais, para que se possa definir, com maior propriedade, tratamentos eficazes de combate a estes organismos que podem promover, não só entupimento dos gotejadores, mas também o entupimento dos filtros. Algumas espécies de algas podem se desenvolver no interior do sistema, dando origem, juntamente com impurezas presentes na água, a uma camada biológica que se deposita nos filtros e nos gotejadores, prejudicando o desempenho dos equipamentos em questão. Nesta pesquisa utilizou-se fertilizante organo-mineral que foi injetado diretamente na água de irrigação, que pode promover um maior desenvolvimento de algas, agravando problemas relacionados ao entupimento dos emissores.

De acordo com Branco (1986) existem gêneros responsáveis por essas obstruções, em virtude do fato de suas células poderem agrupar-se em colônias. As algas azuis, também responsáveis pela obstrução de filtros, podem, até mesmo, crescer sem a presença de luz no meio.

As características das algas identificadas na pesquisa encontram-se no Apêndice 1.

5.9. Análise química dos elementos contidos no lodo depositado nas linhas laterais de gotejamento

Após o término das quatro etapas experimentais, realizadas ao longo de um ano, foram retirados da instalação experimental, pedaços das linhas laterais de gotejadores. Estes foram cortados no final do comprimento das mangueiras em cada parcela de irrigação, já que aí há maior depósito de material que fica retido no interior das mangueiras gotejadoras. Este material retido no interior da mangueira é responsável pelo entupimento parcial ou total dos emissores.

As amostras das mangueiras retiradas em cada parcela de irrigação foi levada a um laboratório do Instituto de Química da UNICAMP, que continha um aparelho de Fluorescência de Raio X, o EDX-700, para análise dos elementos contidos no lodo acumulado. Além de identificar os principais elementos contidos neste material, o EDX-700 fornece também, valores percentuais aproximados dos elementos identificados, relacionados à quantidade relativa dos elementos no lodo analisado.

O Quadro 27 contém os resultados obtidos para cada parcela de irrigação.

Quadro 27: Porcentagem de cada elemento identificado no lodo coletado no interior das mangueiras de cada parcela.

PRINCIPAIS ELEMENTOS QUÍMICOS IDENTIFICADOS	MANTA	DISCO
	Fe – 14,979 %	Fe – 13,706 %
	Si – 14,471 %	Si – 11,691 %
	Al – 8,317 %	Al – 8,152 %
	Ti – 2,189 %	Ti – 1,607 %
	Ca – 0,372 %	Ca – 0,325 %
	Mn – 0,298 %	Mn – 0,321 %
	S - 0,265 %	S - 0,280 %

Os resultados apresentados no Quadro 27 mostram que, via de regra, o lodo em cada parcela contém os elementos em concentrações relativas muito próximas entre si. Os

principais elementos em cada parcela se repetem. Além disso, os três principais elementos identificados no lodo nas duas parcelas foram: ferro, silício e alumínio.

O silício, provavelmente, é proveniente dos minerais (sílica) do solo. O ferro é proveniente do óxido de ferro que existe em grandes concentrações no latossolo roxo (solo ocorrente na região de Campinas). O alumínio é encontrado nos solos ácidos tropicais.

Nota-se a predominância do ferro no lodo. Para que este elemento fique retido nas linhas de gotejadores, deve estar na forma insolúvel. Além disso, não foi devidamente removido pelos filtros tanto de manta, quanto de disco.

Supõe-se que processos oxidativos promovidos pela presença de ferrobactérias possam precipitar compostos de ferro, que acabam se acumulando nas mangueiras.

A maior porcentagem de silício acumulado nas linhas da parcela contendo filtro de manta, pode indicar que este tenha sido menos eficiente na retenção de partículas minerais suspensas na água.

É importante destacar que entre os filtros de disco e manta não foram observadas diferenças significativas nos resultados das análises.

5.10. Análise Estatística das análises físicas e biológicas da água filtrada

Os resultados da análise de variância, e de comparação de médias dos dados experimentais, foram obtidos a partir do programa estatístico Sanest, seguindo-se o modelo de delineamento experimental inteiramente casualizado.

Foram considerados dois fatores, Filtro e Estação, tendo o primeiro 2 níveis (manta e disco) e o segundo 4 (inverno, primavera, verão e outono).

As variáveis analisadas foram: sólidos suspensos totais, turbidez, concentração de algas e bactérias. O nível de significância adotado para o teste de variância foi de 5%, o que significa que, quando há diferenças significativas no teste F, há uma probabilidade de apenas 5% (ou menor) de que os valores médios obtidos tenham ocorrido por acaso.

No Quadro 28 estão apresentados os resultados referentes à análise de variância das 4 variáveis analisadas.

Quadro 28: Análise de variância de sólidos suspensos, turbidez, algas e bactérias medidos após os filtros de irrigação.

VARIÁVEL	CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	Q.M.	VALOR F	PROB. > F.
Sólidos Suspensos	FILTRO	1	7,3472034	0,7975	0,62126
	ESTAÇÃO	3	1002,9181468	108,8596	0,00001
	FIL*EST	3	2,6898211	0,2920	0,83268
	RESIDUO	64	9,2129515		
	Total	71			
	Média (mg/L)	13,15			
	Coef. Variação (%)	23,082			
Turbidez	FILTRO	1	0,6215722	0,1695	0,68490
	ESTAÇÃO	3	246,5889912	67,2594	0,00001
	FIL*EST	3	0,9288737	0,2534	0,85957
	RESIDUO	64	3,6662388		
	Total	71			
	Média (NTU)	7,963472			
	Coef. Variação (%)	24,044			
Algas	FILTRO	1	0,0035011	0,0231	0,87416
	ESTAÇÃO	3	6,1218911	40,4736	0,00001
	FIL*EST	3	0,0681711	0,4507	0,72158
	RESIDUO	64	0,1512564		
	Total	71			
	Média transformada (nº/cm³)	6,258687			
	Coef. Variação (%)	6,214			
Bactérias	FILTRO	1	0,9609200	0,2477	0,62624
	ESTAÇÃO	3	22,8889075	5,8993	0,00161
	FIL*EST	3	0,1679838	0,0433	0,98731
	RESIDUO	64	3,8799308		
	Total	71			
	Média transformada (nº/cm³)	6,134080			
	Coef. Variação (%)	32,112			

Obs: O valor de F foi estimado para um nível de significância de 5%.

Conforme verificado no Quadro 28, o valor médio obtido da variável sólidos suspensos em todo o período de experimentação foi de 13,15 mg/L e o coeficiente de variação cerca de 23%. O valor deste coeficiente indica que ocorreu uma alta variação nos valores dos dados, que apresentou uma média de 2,67 mg/L no inverno e 17,61 mg/L no verão, na água de irrigação. Segundo Pimentel (1966), o cálculo do coeficiente de variação permite ter-se uma idéia da precisão obtida no experimento. Em condições de experimentação agrícola de campo, valores deste coeficiente abaixo de 10% são considerados baixos, entre 10 e 20% médios, altos quando estão entre 20 e 30% e muito altos quando superam os 30%. Ainda com relação à variável sólidos suspensos pode-se

afirmar que não houve diferenças significativas entre a retenção nos dois filtros utilizados na irrigação, porque a probabilidade de F apresentada no Quadro 28 para esta variável foi de 62,12%, indicando um valor muito superior a 5%. Scatolini (2001) em seu trabalho constatou que a manta apresentou uma eficiência de remoção superior ao filtro de disco, entre 27 a 29%, para três mantas testadas, e 20% para o disco.

Em relação à variação dos valores obtidos entre uma e outra estação do ano houve uma grande diferença significativa, pois o valor de probabilidade de F, ou seja, o nível de significância real, foi de 0,001%, muito inferior a 5%.

Os Quadros 29 e 30 contêm os resultados dos testes de Tukey realizados para médias dos filtros e das estações. Realmente as médias dos valores medidos após os filtros de manta e disco são muito próximas. Com um nível de significância de 5% não foram constatadas diferenças significativas entre os filtros. Já com relação às estações do ano, o teste de Tukey indica que houve diferenças significativas entre as estações do inverno (período no qual foi obtido o menor valor médio de sólidos suspensos), primavera (na qual foram obtidos valores intermediários) e verão e outono (quando foram obtidas as maiores concentrações de sólidos suspensos). Entre estas duas últimas estações não houve diferenças significativas, muito provavelmente devido à ação do compressor de ar, ligado às mangueiras instaladas no fundo do reservatório de irrigação e próximo à sucção da bomba. A função desta instalação era justamente promover a suspensão do material depositado no fundo do reservatório. No inverno, quando foram obtidos os menores valores de sólidos suspensos, observam-se baixas precipitações de forma que há pouca movimentação da água, favorecendo a decantação de material suspenso. Na primavera, com o início das chuvas, houve maior movimentação da água e piora de sua qualidade, justificando a elevação da concentração de sólidos suspensos totais.

Nos teste de Tukey realizados para as médias dos filtros e estações do ano, os resultados dos valores médios seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5%.

O comportamento da variável turbidez foi muito similar à variação da concentração de sólidos suspensos, mesmo porque houve uma alta correlação entre estes parâmetros no decorrer desta pesquisa ($r > 0,90$). A média do valor de turbidez medida no período de experimentação para ambos os filtros foi de 7,96 NTU, com coeficiente de variação de

aproximadamente 24 %, indicando uma alta variação dos dados, que foi em média de 2,83 NTU no inverno e 11,30 NTU no verão na água de irrigação. Este fenômeno se comprova porque foi constatada grande diferença nas medidas de turbidez entre as estações do ano. No Quadro 29, as médias da turbidez medidas em ambos filtros foram muito próximas, de forma que, não houve diferença significativa entre elas. Assim como ocorrido com a concentração de sólidos suspensos, a turbidez apresentou também uma diferenciação entre o inverno e as demais estações, e a primavera e as demais estações. Nas estações de verão e o outono não houve diferenças significativas entre as médias de turbidez medidas em ambas parcelas, mas existiu no inverno e primavera para as duas com relação ao verão e outono. O comportamento similar entre os valores medidos de turbidez e sólidos suspensos pode ser também explicado pelo aumento de precipitação pluviométrica e queda na qualidade da água após a estação do inverno.

A variação da concentração de algas medidas após um e outro filtro apresentou coeficiente de variação de cerca de 6 %. Este valor indica uma baixa variação dos dados. Conforme os resultados apresentados no Quadro 29, verificam-se concentrações médias de algas obtidas em ambos elementos filtrantes muito próximas entre si. Não foi verificada diferença significativa entre os dois filtros testados, porém entre as estações, novamente, observaram-se mudanças significativas. O teste de Tukey realizado para médias das estações comprovou que houve diferença somente em relação à estação do inverno quando comparada às demais. Entre a primavera, verão e outono não foram verificadas diferenças significativas entre os valores médios da concentração de algas. O desenvolvimento de algas é altamente dependente da radiação solar diária, sendo que no inverno há redução deste parâmetro.

Para Scatolini (2001), em estudos sobre a eficiência de mantas sintéticas na remoção de algas presentes na água de irrigação, 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.

O coeficiente de variação para a variável bactéria, foi de 32,11%. Este valor indica que ocorreu uma grande variação nos valores dos dados, que apresentou uma média de 222,89 n^o/cm³ no inverno e 2438,00 n^o/cm³ no verão, na água de irrigação das parcelas. O

desempenho dos filtros na remoção de bactérias também foi similar ao de algas, de forma que não foram verificadas diferenças significativas entre as medidas realizadas após a passagem da água pelos elementos filtrantes, embora a média obtida no filtro de manta tenha sido inferior àquela obtida no filtro de disco. Novamente foram verificadas diferenças significativas entre as estações do ano no que se refere à concentração de bactérias medidas após os filtros. Os resultados do teste de Tukey demonstram que há diferença significativa entre a estação do outono e da primavera, mas não há diferença entre inverno e verão. Há ainda uma relação próxima entre os resultados obtidos entre inverno e verão, com o outono e a primavera isoladamente.

Pode-se afirmar, que não houve diferença entre o desempenho dos filtros na remoção dos parâmetros físicos e biológicos analisados. Observaram-se, no entanto, variações sazonais resultantes das variações do meio, seja por mudanças climáticas ou, somado a isto, pela instalação do compressor de ar no sistema. Na análise de variância, realizou-se também, a interação entre os fatores filtro e estação. Esta análise serviu para comprovar se havia ou não diferença entre os tratamentos físicos em cada estação experimentada. Se houvesse nível de significância menor que 5 % na interação referida, haveria obrigatoriamente diferença entre a performance nos filtros, em uma ou mais estações.

Quadro 29: Resultados do Teste de Tukey para médias de Filtro.

VARIÁVEL	FILTRO	NUM. REPET.	MÉDIAS ORIGINAIS	5 %
Sólidos Suspensos	Manta	36	12,830556	a
	Disco	36	13,469444	a
Turbidez	Manta	36	7,870555	a
	Disco	36	8,056389	a
Algas	Manta	36	525,138393	a
	Disco	36	517,950875	a
Bactérias	Manta	36	409,987824	a
	Disco	36	516,804612	a

Obs: Letras minúsculas referem-se ao teste de Tuckey, ao nível de significância de 5%.

Quadro 30: Resultados do Teste de Tukey para médias de Estação.

VARIÁVEL	ESTAÇÃO	NUM. REPET.	MÉDIAS ORIGINAIS	5 %
Sólidos Suspensos	Inverno	18	3,377778	c
	Primavera	18	11,305556	b
	Verão	18	18,333333	a
	Outono	18	19,583333	a
Turbidez	Inverno	18	2,768333	c
	Primavera	18	8,011111	b
	Verão	18	11,192223	a
	Outono	18	9,882222	a
Algas	Inverno	18	219,652921	b
	Primavera	18	791,261383	a
	Verão	18	683,632165	a
	Outono	18	621,898116	a
Bactérias	Inverno	18	598,323007	ab
	Primavera	18	119,937167	b
	Verão	18	344,094775	ab
	Outono	18	1809,633760	a

Obs: Letras minúsculas referem-se ao teste de Tuckey, ao nível de significância de 5%.

5.11. Análise de correlação entre os parâmetros químicos e físicos

Foram realizadas análises para estabelecer a correlação entre os parâmetros físicos e biológicos estudados. Os parâmetros físicos considerados foram turbidez e sólidos suspensos, e os biológicos, as algas e bactérias. As equações apresentadas no Quadro 31 foram as que mostraram os maiores valores de “r” (coeficiente de regressão), para todas as combinações entre os parâmetros analisados.

No Quadro 31, apresentam-se todas as equações obtidas a partir da correlação dos dados. As equações que apresentaram os melhores coeficientes de regressão foram: o parâmetro turbidez em relação a sólidos suspensos (Figura 78), sólidos suspensos em relação à turbidez (Figura 79) e algas em relação a sólidos suspensos (Figura 80).

Quadro 31: Equações de correlação entre turbidez, sólidos suspensos, algas e bactérias, obtidas a partir do programa computacional Ajuste.

Equação	r	Tipo de regressão
$Turb = 1,5029448 * EXP(0,2287658 * SS - 8,98918E-03 * SS^2 + 1279773E-04 * SS^3)$	0.9136	Exponencial Cúbica
$Turb = 5,626083 + 9,519201E-03 * (algas) - 8,366085E-06 * (algas)^2 + 1,881529E-09 * (algas)^3$	0.1754	Cúbica
$Turb = 10,14466 - 5,257253E-03 * (bac) + 2,231529E-06 * (bac)^2 - 2,378188E-10 * (bac)^3$	0.4948	Cúbica
$SS = 0,48075628 * EXP(0,8527342 * Turb - 7,044862E-02 * Turb^2 + 2,013E-03 * Turb^3)$	0.8961	Exponencial Cúbica
$SS = (12,47876 * (algas)) / (426,9933 + (algas))$	0.2610	Hiperbólica
$SS = 14,39259 - 4,524709E-03 * (bac) + 2,402188E-06 * (bac)^2 - 2,838849E-10 * (bac)^3$	0.3413	Cúbica
$algas = 1073,719 * (bac)^{(-0,3750359+(9,317271E-02 * LOG(bac)))}$	0.4130	Alométrica Curvilínea
$algas = - 687,2217 + 643,3348 * Turb - 72,54131 * (Turb)^2 + 2,288628 * (Turb)^3$	0.4749	Cúbica
$algas = -416,6158 + 410,1762 * SS - 32,21755 * (SS)^2 + 0,6948543 * (SS)^3$	0.6783	Cúbica
$bac = 429,7567 * EXP(0,8551679 * Turb - 0,1712639 * (Turb)^2 + 0,0072788 * (Turb)^3)$	0.4380	Cúbica
$bac = 2367,568 * EXP(-0,3622417 * SS + 1,144663 E-02 * (SS)^2 + 5,399501E-05 * (SS)^3)$	0.2710	Exponencial Cúbica
$bac = 42,86393 * EXP(1,3999319E02 * (algas) - 2,244511E-05 * (algas) + 9,078164E-09 * (algas)^3)$	0.4545	Exponencial Cúbica

Obs: Turbidez (Turb), Sólidos Suspensos (SS), Bactérias (bac).

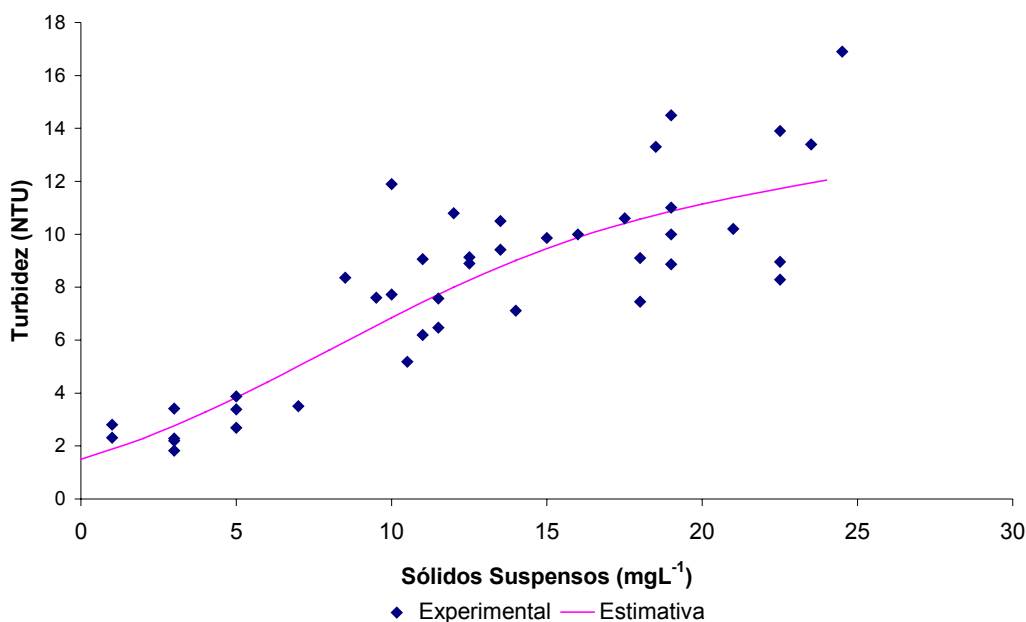


Figura 78 – Correlação entre a turbidez e os sólidos suspensos da água.

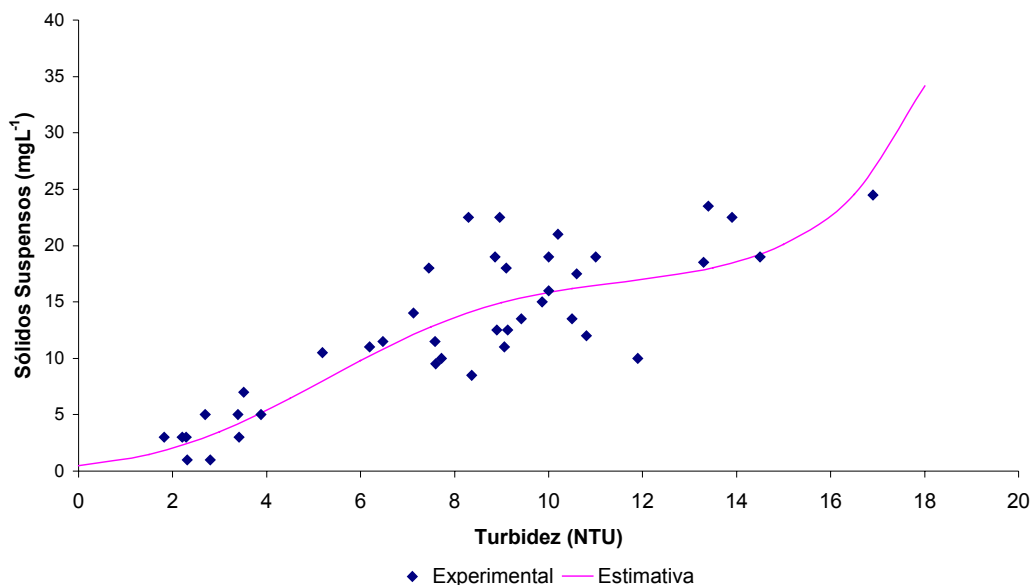


Figura 79 – Correlação entre os sólidos suspensos e a turbidez da água.

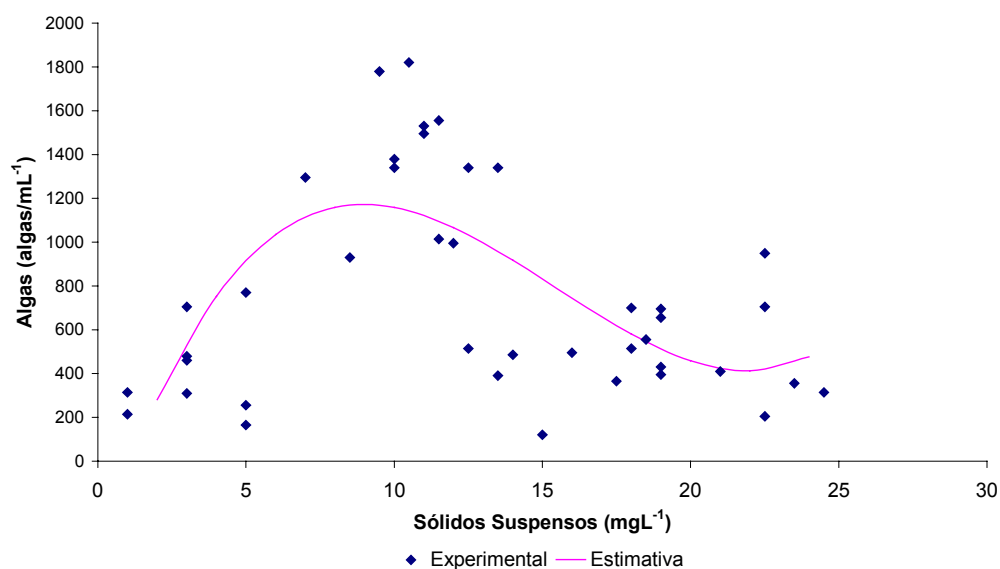


Figura 80 – Correlação entre algas e os sólidos suspensos da água.

A turbidez é um indicador de sólidos suspensos, mas somente esta variável não é um parâmetro preciso para se determinar o grau de risco de entupimento de emissores para fontes de água superficial, segundo Pitts et al.(1990). Este parâmetro físico deveria ser um parâmetro analisado conjuntamente em teste de filtração em laboratório para poder mensurar o potencial de risco de entupimento de emissores. (Gilbert & Ford, 1986)

Os resultados obtidos, da alta correlação entre os dados de sólidos suspensos e a turbidez da água, podem sinalizar que a simples determinação da turbidez pode ser aceita como uma determinação mais ágil da qualidade da água de irrigação, já que a medida deste parâmetro pode ser feita instantaneamente. A determinação da concentração de sólidos suspensos exige um período superior a 24 horas.

5.12. Análise Estatística dos resultados dos coeficientes de uniformidade calculados

Assim como a análise de variância realizada para os dados resultantes das análises dos parâmetros físicos e biológicos da água, a análise de variância dos coeficientes de uniformidade calculados para as parcelas de irrigação por gotejamento foi feita com a utilização do programa Sanest, adotando-se o mesmo modelo de delineamento experimental. Novamente, o coeficiente de significância adotado foi de 5%.

O Quadro 32 apresenta os resultados obtidos, referentes aos 5 coeficientes de uniformidade calculados.

Quadro 32: Análise de variância dos coeficientes de uniformidade calculados para as duas parcelas de gotejamento.

VARIÁVEL	CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	Q.M.	VALOR F	PROB. > F.
ns	FILTRO	1	2603,7731261	3,3974	0,06650
	ESTAÇÃO	3	4450,0183226	5,8064	0,00176
	FIL*EST	3	902,7039011	1,1778	0,32503
	RESIDUO	64	766,4034268		
	Total	71			
	Média (%)	32,458611			
	Coef. Variação (%)	85,29			
Dra	FILTRO	1	33,6452810	0,8620	0,64069
	ESTAÇÃO	3	779,8407622	19,9804	0,00001
	FIL*EST	3	191,8246220	4,9148	0,00422
	RESIDUO	64	39,0303011		
	Total	71			
	Média (%)	107,630280			
	Coef. Variação (%)	5,805			
Eu	FILTRO	1	535,3334916	17,3659	0,00025
	ESTAÇÃO	3	805,8502445	26,1413	0,00001
	FIL*EST	3	308,7576662	10,0159	0,00007
	RESIDUO	64	30,8267544		
	Total	71			
	Média (%)	99,164024			
	Coef. Variação (%)	5,599			
Us	FILTRO	1	79,4486492	12,131325	0,00116
	ESTAÇÃO	3	141,8581205	22,0201	0,00001
	FIL*EST	3	20,2750062	3,1472	0,03039
	RESIDUO	64	6,4421986		
	Total	71			
	Média (%)	94,844582			
	Coef. Variação (%)	2,676			
Unif	FILTRO	1	11,2022896	8,3475	0,00543
	ESTAÇÃO	3	9,5096204	7,0862	0,00057
	FIL*EST	3	1,0653862	0,7939	0,50454
	RESIDUO	64	1,3419923		
	Total	71			
	Média (%)	97,239449			
	Coef. Variação (%)	1,191			

Obs: O valor de F foi estimado para um nível de 5% de probabilidade.

Conforme verificado no Quadro 32, o valor, médio de “ns” (entupimento parcial ou total dos gotejadores), foi de 32,5% aproximadamente, com coeficiente de variação muito alto, de 85,29%. Este alto valor indica baixa precisão do experimento. O nível de significância real do fator filtro foi de 6,65%, muito próximo ao nível estipulado de 5%. Analisando os valores médios para o teste de Tukey no Quadro 34, para as médias de filtro,

verifica-se que o filtro de disco apresentou menor percentagem de gotejadores total ou parcialmente entupidos. No entanto, como o nível de significância estipulado foi de 5%, o teste de Tukey não indicou diferenças significativas entre as médias dos filtros.

Com relação às estações, o nível de significância real obtido foi de 0,18% aproximadamente. Verifica-se no Quadro 34, que contém os resultados do teste de Tukey para as médias de Estação, foram verificadas diferenças significativas entre as estações do inverno e verão, com relação ao Outono. No inverno e verão, as médias obtidas são bastante próximas. No Outono, verificou-se o maior valor médio de “ns”. Para a estação da primavera, obteve-se um valor intermediário, de forma que não há diferença significativa entre este, e os obtidos nas demais estações.

Para a relação das vazões médias (Dra), o valor médio obtido foi de 107,6% e o coeficiente de variação de 5,80%. Embora este último valor indique que houve boa precisão experimental, os resultados deste coeficiente, conforme discussão anterior, não foram satisfatórios. Os valores de significância real obtidos indicam que não houve diferenciação entre as médias obtidas para os filtros de manta e disco, mas houve diferenciação entre as médias das estações e também para a interação filtro/estação. Entre as estações, no verão observaram-se os maiores valores médios, diferindo significativamente das estações de inverno e primavera (médias intermediárias) e da estação do outono, quando foi registrada a menor média. A diferença significativa indicada pelo teste F na interação filtro/estação, indica que, embora não tenham sido observadas diferenças significativas entre os tratamentos (filtro de manta e disco) em alguma estação do ano, houve diferença entre eles. Esta diferença foi observada na estação da primavera, quando a diferença entre as médias obtidas na parcela foi maior. Neste caso, a média no filtro de disco foi de 112,7% aproximadamente, e 103,8% no filtro de manta.

O valor médio da uniformidade de emissão (Eu) foi de 99,16% e o coeficiente de variação de 5,60% aproximadamente. Novamente, mesmo sendo preciso o experimento, os resultados deste coeficiente não foram satisfatórios para diferenciar o desempenho dos filtros. As médias dos filtros foram significativamente diferentes ao nível de significância de 5%. A média, resultante da parcela com filtro de manta, foi de 101,9% e na outra parcela, com filtro de disco, foi de 96,4%. As médias das estações do outono e inverno foram significativamente diferentes das obtidas tanto no inverno, quanto no verão. Nesta

última fase, a média observada foi a menor. Nas estações da primavera e do verão, as médias obtidas no filtro de manta foram significativamente maiores do que aquelas obtidas na outra parcela.

O valor médio da uniformidade estatística de emissão (Us) calculado, foi de 94,84%, com coeficiente de variação de 2,67%. O baixo valor do coeficiente indica alta precisão experimental. Na parcela com filtro de disco, a média foi 95,89%, significativamente superior à obtida na parcela com filtro de manta, de 93,79%. Cada uma das estações apresentou valor médio de “Us” significativamente diferente das demais, exceto pela primavera que apresentou valor intermediário e que também se relaciona às estações do inverno e do verão. O maior valor médio foi obtido no inverno (início do experimento) e o menor no outono (final).

Por fim, a análise de variância para o índice de performance do gotejador no campo apontou diferenças significativas entre os filtros, e também, entre as estações. A média desta variável foi de 97,23% com um coeficiente de variação muito baixo, de 1,19%.

A média obtida na parcela com filtro de manta, foi de 97,30%, superior à obtida na outra parcela, de 96,14%.

Entre as estações, a média do inverno foi a maior (98,72%) e significativamente diferente das demais, relacionando-se, porém, com a primavera. Esta apresentou valor médio intermediário e que pode ser relacionado às médias apresentadas no inverno e verão. No outono, observaram-se as menores médias, de forma que seu valor distingue-se dos demais num nível de significância de 5%.

É interessante notar que os resultados estatísticos das análises de variância comprovaram a diferença anteriormente discutida, quanto ao desempenho dos filtros em relação à prevenção de entupimento dos gotejadores. Os resultados obtidos, tanto pela variável uniformidade estatística de emissão, quanto pelo índice de performance do gotejador no campo são distintos, porém coerentes. Os resultados apontaram que houve realmente um crescente processo de entupimento ao longo dos períodos de experimentação.

Quadro 33: Resultados do Teste de Tukey para médias de Filtro.

VARIÁVEL	FILTRO	NUM. REPET.	MÉDIAS ORIGINAIS	5 %
Ns	Manta	36	38,472223	a
	Disco	36	26,444999	a
Dra	Manta	36	108,314167	a
	Disco	36	106,946386	a
Eu	Manta	36	101,890830	a
	Disco	36	96,437222	b
Us	Manta	36	93,793888	a
	Disco	36	95,895274	b
Unif	Manta	36	97,303329	a
	Disco	36	96,148888	b

Obs: Letras minúsculas referem-se ao teste de Tuckey, no nível de 5% de probabilidade.

Quadro 34: Resultados do Teste de Tukey para médias de Estação.

VARIÁVEL	ESTAÇÃO	NUM. REPET.	MÉDIAS ORIGINAIS	5 %
Ns	Inverno	18	21,130000	b
	Primavera	18	32,370555	ab
	Verão	18	21,611667	b
	Outono	18	54,722222	a
Dra	Inverno	18	107,635556	b
	Primavera	18	108,238329	b
	Verão	18	115,367778	a
	Outono	18	99,279443	c
Eu	Inverno	18	97,531111	b
	Primavera	18	103,446665	a
	Verão	18	90,429996	c
	Outono	18	105,248332	a
Us	Inverno	18	97,666107	a
	Primavera	18	95,445557	ab
	Verão	18	95,308885	b
	Outono	18	90,957774	c
Unif	Inverno	18	98,728333	a
	Primavera	18	98,417223	ab
	Verão	18	97,443885	bc
	Outono	18	97,239441	c

Obs: Letras minúsculas referem-se ao teste de Tuckey, no nível de 5% de probabilidade.

VI - CONCLUSÕES

- a) A fonte de água utilizada apresentou baixo risco de obstrução aos gotejadores com relação aos parâmetros físicos e biológicos analisados. Um alto risco de entupimento só foi proporcionado pela alta concentração de sulfetos na água do reservatório. O pH e a concentração de Ferro Total apresentaram risco médio. O pH é um importante parâmetro que deve ser controlado para evitar a formação de precipitados químicos e o desenvolvimento de microorganismos.
- b) Não foram detectadas diferenças significativas entre os elementos filtrantes de disco e manta sintética não tecida com relação à remoção de sólidos suspensos totais da água, turbidez, algas e bactérias, num nível de significância de 5%.
- c) Apenas foram identificadas diferenças significativas ao nível de 5% para a Uniformidade Estatística de Emissão (Us) e para o Índice de Performance do Gotejador no Campo (unif). O primeiro coeficiente apontou média de uniformidade de distribuição de água para a parcela com filtro de disco de 95,89% e de 93,79% para a parcela com filtro de manta. O índice de performance médio do gotejador no campo para as linhas ligadas ao filtro de manta foi de 97,30%, superior a média obtida nas linhas da parcela com filtro de disco, de 96,14%.
- d) Em ambos casos, a média final para as quatro etapas de experimentação representam excelente distribuição de água às plantas. No entanto, na última etapa da pesquisa, a média obtida na parcela com filtro de manta foi de 88,27%, de forma que o resultado pode ser classificado como bom. Estes resultados comprovaram que houve um processo contínuo de entupimento dos emissores ao longo do período experimental.
- e) Tanto os resultados dos coeficientes de uniformidade, quanto os resultados das análises físicas e biológicas da água efluente aos filtros de irrigação, apresentaram médias significativamente diferentes nas quatro etapas realizadas, comprovando a importância de uma análise cuidadosa da água em diferentes épocas do ano para determinação de sua qualidade e risco potencial de entupimento de emissores em sistemas de irrigação por gotejamento.

- f) Com relação à perda de carga medida nos filtros, os resultados comprovam um melhor desempenho do filtro de disco em todas as etapas.
- g) Devido principalmente aos resultados de perda de carga, pode-se afirmar que o elemento filtrante de disco apresentou melhor desempenho geral que a manta sintética não tecida para as condições experimentais desta pesquisa. No entanto, podem-se desenvolver filtros com estruturas mais adequadas ao elemento filtrante de manta sintética não tecida, de forma a reduzir a sua perda de carga e elevar a sua eficiência. Este desenvolvimento pode ser acompanhado de mecanismos de lavagem automática para que a elevação da perda de carga não se torne um fator limitante ao uso deste elemento filtrante.

VII - SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

As sugestões aqui presentes são frutos das dificuldades encontradas no desenvolvimento da presente pesquisa, bem como outras observações do funcionamento e reposta do sistemas às variações do meio.

Para maior confiabilidade do cálculo da Relação das Vazões Médias (Dra), da Uniformidade de Emissão (Eu) e do número de gotejadores total e parcialmente entupidos (ns), deve-se utilizar um sistema de aquisição de dados com alta frequência e precisão de medida.

Em virtude da obtenção de resultados conflitantes com aqueles obtidos em referências bibliográficas sobre a eficiência das mantas sintéticas não tecidas, sugere-se a continuidade de pesquisas de campo com outros elementos filtrantes de manta com diferentes características das utilizadas nesta pesquisa.

O desenvolvimento de filtros de manta poderá também permitir a automatização do mecanismo de limpeza, de forma a manter a perda de carga sempre controlada ao nível desejado.

É interessante também o aprofundamento das pesquisas sobre a influência da fertirrigação sobre a qualidade da água captada pelo sistema de irrigação e formas de prevenção do desenvolvimento de algas nos tanques reservatórios de solução fertilizante.

VIII – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, J. M. H.; LOPEZ, J. R.; REGALADO, A. P. & HERNANDEZ, J. F. *El Riego localizado*. Madri, Espanha. Instituto Nacional de Investigações Agrárias,. 1987 317p

ADIN, A.; SACKS, M. *Dripper Clogging Factors in Wastewater Irrigation*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. Vol. 117. n.6, November/December,1991 813-826p.

ANDRADE, M. I.; BRITO, M. F.; MORBEY, M. A.. *Cianobactérias em Portugal*, Setembro 1997, Revista do Ambiente, nº 4, pág.30

ALEXANIAN, G. *Taking Control of Filtration* .Irrigation Journal, Julho 2000 v50 i4 p23.

APHA; AWWA e WPCF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19ª Edição, Washington D.C./USA, American Public Health Association. (1995)

AVELINO, S. N.; TESTELAF, R., MATSURA, E.E. *Avaliação Hidráulica de Tubo de Emissão*. XXVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola (CONBEA)Anais. 1999.

BAR, I. *Iron Control System for Drip Irrigation*. Microirrigation for a Change World: Conserving Resources/Preserving the Enviroment – Proceedings of the Fifth International Microirrigation Congress, Orlando, Florida, 1995, p 239-243.

BERNARDO, S. *Manual de Irrigação*. 4 ed., Viçosa, UFV, Impr. Univ., 1987.

BICUDO, C. E. M.. *Algas de águas continentais brasileiras*. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciências. Editora USP., 1970, 228p.

BRANCO, S. M.. *Hidrologia Aplicada à Engenharia Sanitária*. São Paulo CETESB/ASCETESB, 3 ed., 1986, 640p.

BRALTS, V.F.; WU, I.; GITLIN, H. M. *Manufacturing Variation and Drip Irrigation Uniformity*. Transactions of ASAE. 1981 (24):n.1, p. 113-9, jan-fev.

BRALTS, V.F., KESNER, C. D.. *Drip irrigation Field Uniformity Estimation*. Transactions of ASAE, v. 26, n.5,p1369-1374,1983.

BRESLER, E. *Two Dimensional Transport of Solutes Nonsteady Infiltration from a Trickle Source*. Soil Sci Soc Am Proc, 1975 (39): 604 – 613.

BUCKS, D. A.; NAKAYAMA, F. S. *Trickle Irrigation for Crop Production: Design, Operation and Management*. Elsevier, Amsterdam, 1986.

CAPRA A.; TAMBURINO, V. *Evaluation and Control of Distribution Uniformity in Farm Irrigation Systems*, Proceedings of 46 th Internacional Executive Council Meeting, ICID, CIID, Special Technical Session, Roma, Italy, 1995.

CAPRA, A. , SCICOLONE, B. *Water Quality and Distribution Uniformity in Drip/Trickle Irrigations Systems*. Journal of Agricultural Engineering Research, v.70,p. 355-365, 1998.

COSTA, E. F. et al. *Quimigação: Aplicação de Produtos Químicos e Biológicos via Irrigação*. EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo - Brasília, 1994.

CRUZ, L. B. S. *Avaliação de um filtro de manta sintética não tecida para a irrigação localizada*. Tese de Mestrado, FEAGRI, UNICAMP, Campinas, 1996.

ENGLISH, S. D. Filtration and Water treatment for Microirrigation. Drip/Trickle Irrigation in Action – Proceedings of the Third International Drip/Trickle Irrigation Congress. ASAE, vol.1, 1985, p 50.

GILBERT, R. G. , FORD, H. W. *Operational principles/ Emitter Clogging*. In: NAKAYAMA, F. , S. , BUCKS, D.A. *Trickle Irrigation for Crop Production*. Amsterdam: Elsevier, cap3 ,p 142-163.

GOLDBERG, D., SHMUELI, M. *Drip Irrigation – A Method Used Under Arid and desert Conditions of High Water and Soil Salinity*. Trans. Of the ASAE, Michigan, 1970, 13: 38 – 41.

HOWELL, T. A. , HILLER, E. A. *Designing Trickle Irrigation Laterals for Uniformity*. Irrig. Drain. Div., New York. 100 (iR4): 443 – 454 p. 1974.

HOWELL, T. *Drops of life in the History of Irrigation*. Irrigation journal, vol. 50 il, p. 8, 2000.

KELLER, J. , BLEISNER, R. D. *Sprinkle and trickle irrigation*. New York, Van Nostrand Reinhold.. 1990 652p.

KELLER, J. , KARMELI, D. *Trickle irrigation design parameters*. TRANS. ASAE. 1974 17 (4): 678 - 684.

KELLER, J. , KARMELI, D. *Trickle irrigation design*. Glendora, California, Rain Bird Sprinkle Manufacturing Corporation,. 1975 133p.

MATSURA, E. E. ; TESTEZLAF, R. ; ALMEIDA NETO, J. A. *Perda de carga nos filtros de areia e tela do sistema de irrigação por gotejamento*. ANAIS do XXVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. SBEA. pp. 584-607. Recife, PE, Julho, 1989.

- 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*. Logan, Utah state University, 1978, 271 p.
- MEYER, J.L. *Cleaning Drip Irrigation Systems*. . Drip/Trickle Irrigation in Action – Proceedings of the Third International Drip/Trickle Irrigation Congress. ASAE, vol.1, 1985.
- PATERNIANI, J.E.S. *Utilização de Mantas Sintéticas não Tecidas na Filtração em Areia de Águas de Abastecimento*. Tese de Doutorado – EESC. USP, São Carlos, 1991.
- PIMENTEL, F. G. *Curso de Estatística Experimental*. Esalq, Piracicaba, 1966.
- PITTS, D. J. , HAMAN, D. Z. , SMAJSTRLA, A. G.. *Causes and Prevention of Emitter Plugging in Microirrigation Systems*. University of Florida, Florida Cooperative Extension Service, April 1990, Bulletin 258, p.12.
- RAVINA; PAZ, E.; SOFER, Z.;MARCUS, A.;SHISHA, A.; SAGI, G. *Control of Emitter Clogging in Drip Irrigation with Reclaimed Wastewater*. Irrigation Science, v. 13, p. 129 – 139, 1992.
- REICHARDT, K. *A Água em Sistemas Agrícolas*.Ed. Manole, São Paulo, 1987.
- RESENDE, R. S. *Suscetibilidade de Gotejadores ao Entupimento de Causa Biológica e Avaliação do Desentupimento Via Cloração da Água de Irrigação*. Piracicaba, p77,1999.
- ROMAN, B. *Tackling Emitter Clogging Problems*. Irrigation Journal, vol. 49 i4, p.8, 1999.
- SANEST – Programa Estatístico de Computador.
- SCATOLINI, M. E. *Utilização de Mantas Sintéticas Não Tecidas como Elemento Filtrante em Sistemas de Irrigação Localizada*. Tese de Doutorado, Feagri/UNICAMP, Campinas, 2001.
- SCHMIDT, M. V. V. *Características hidráulicas do tubo-gotejador “QUEEN GIL”*. Viçosa,. 1995 43p. (Tese - MS - Universidade Federal de Viçosa).
- SOLOMON, K.. *Manufacturing variation of trickle emitters*. TRANS. ASAE. 1979 22 (5): 1034 - 1038.
- TESTEZLAF, R. , CAMPIONI, E. C.. *Comportamento hidráulico do tubo-gotejador “QUEEN GIL”*. Engenharia Agrícola, UNICAMP. Campinas. 1993 (13): 29 - 38 p.
- VERMEIREN, L. , JOBLING, G. A. *Localized irrigation*. Irrigation and Drainage paper. 36. FAO Rome. 1980. 203p.

VIEIRA, A. T. *Caracterização hidráulica de um tubo-gotejador*. Piracicaba,. 56p. (Tese - MS - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - USP), 1996.

WU, I. P. , GITLIN, H. M. *Design Charts for Drip Irrigation System*. In : International Drip Irrigation Congress, 2. , Riverside, Proceedings. Riverside, . 1974 p. 293 – 298.

ZAZUETA F. S.; SMARJSTRLA A. G.. *Water Management Utilities. Diagnosis and Treatment of Iron and Slime Clogging Problems*. Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Flórida. Gainesville, FL, 32611, 1991.

APÊNDICE 1

As algas identificadas na pesquisa apresentam as seguintes características:

1. *ANKITRODEMUS SP*

- Grupo sistemático – Algas verdes
- Descrição – Células muito finas, aproximadamente retilíneas e longas, solitárias ou formando colônias. De acordo com Bicudo (1970) são células 10 vezes mais longas que o próprio diâmetro. Este gênero inclui cerca de 20 espécies no mundo.
- Significado Sanitário – Algumas são características de águas limpas como *Ankitrodemus falcatus* var. *acicularis*, podendo atingir grande número. Outras vivem em águas poluídas, sendo freqüentes em lagoas de estabilização. Adin e Sacks (1991), em pesquisa sobre os fatores de entupimentos de gotejadores, utilizando água residuárias na irrigação, encontraram este gênero presente na água.
- Resistência aos algicidas – Muito resistente ao sulfato de cobre e à maioria dos outros algicidas. Tratamento para controle é considerado anti-econômico.

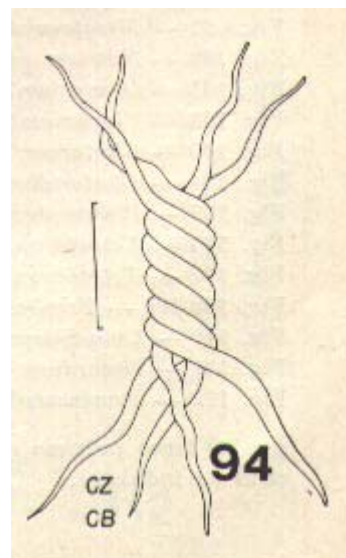
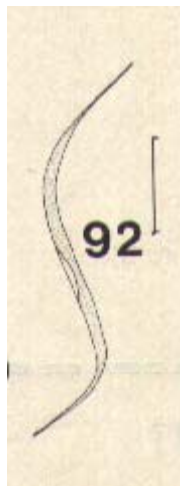


Figura A1 – Algas *Ankitrodemus sp.*

2. *CHLORELLA SP*

- Grupo sistemático – Algas verdes
- Descrição – Algas pequenas, verdes, esféricas, isoladas ou formando colônias. Este gênero inclui cerca de 30 espécies.
- Significado Sanitário – Vivem bem em ambiente poluído por matéria orgânica ou muito rico em sais minerais, sendo freqüente em lagoas de estabilização. Apresentam odor ou sabor de mofo ou de barro. Algumas espécies entopem filtros.
- Resistência aos algicidas – Sensíveis ao sulfato de cobre, DAC (Cloreto de dodecilacetamido dimetil benzil amônia) e a Rosamina acetato. Estas algas são muito resistentes ao tratamento com cloro.



Figura A2 – Algas *Chorella sp.*

3. *CYLINDROSPERMUM SP*

- Grupo sistemático – Algas azuis
- Descrição – Filamentos geralmente curtos, revestido de um envoltório mucilaginoso. São conhecidas atualmente ao redor de 20 espécies deste gênero.
- Significado Sanitário – Algumas espécies podem causar odor de capim ou grama.
- Resistência aos algicidas – Sensível ao sulfato de cobre e às Rosaminas acetato e sulfato. Podem ser controladas com dosagens inferiores a 0,032 mg/L de ditiocarbamato de zinco. Entretanto este algicida tem um elevado grau de toxidez para os peixes mesmo quando as concentrações são de 0,01 mg/L ou menos.

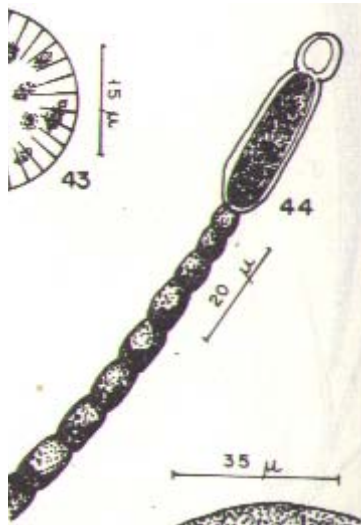


Figura A3 – Algas *Cylandrospermum* sp.

4. *DINOBYRON* SP

- Grupo sistemático – Cloroflagelados.
- Descrição – Colônias arborescentes que se locomovem livremente. Este gênero inclui ao redor de 25 espécies distribuídas por todo o mundo. É comum principalmente na primavera e outono.
- Significado Sanitário – É um dos gêneros mais nocivos à qualidade das águas. Produz forte odor de peixe ou capim, mesmo quando presentes em número relativamente baixo. Em águas cloradas, produz forte sabor de remédio. Algumas espécies entopem filtros.
- Resistência aos algicidas – Sensíveis ao cloro e sulfato de cobre, especialmente ao último.

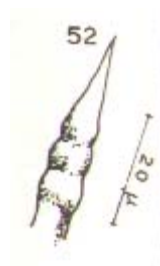


Figura A4 - Algas *Dinobryon* sp.

5. *MICROCYSTIS* SP

- Grupo sistemático – Algas azuis, atualmente designadas cianobactérias.

- Descrição – Colônias geralmente irregulares, de forma e tamanho muito variáveis, filamentosas, constituídas de número muito variável (desde poucas dezenas até muitos milhares) de células pequenas, cujo tamanho é de aproximadamente 72 µm (Bicudo, 1970). Imersa em abundante massa gelatinosa transparente, são capazes de crescer mesmo no escuro. As células mais velhas possuem, no seu interior, inúmeros pseudo-vacúolos² gasosos semelhantes a pequenas bolhas, muito refringentes e, por isso, facilmente visíveis ao microscópio. Esses vacúolos são provavelmente responsáveis pela flutuação das colônias, dando origem a extensos fenômenos de floração, em que a água chega a assemelhar-se a um espesso “caldo verde”. O fenômeno da floração é provocado pelas algas azuis que formam, quando envelhecem, pseudo-vacúolos gasosos no interior de suas células, diminuindo sua densidade, podendo dar origem à formação de verdadeiras massas ou “ilhas flutuantes”, ou mesmo tapetes de algas cobrindo grandes extensões de água. Essas massas podem, algumas vezes, ser deslocadas pelo vento, acumulando-se nas enseadas de lagos, junto às margens, onde se decompõem causando forte mau cheiro. A formação de “floração das águas” em locais próximos à tomada de água geralmente causa distúrbios relacionados com a elevação de pH. Estas algas se desenvolvem bem em águas ricas em nitrogênio e com baixas concentrações de cálcio. Este gênero inclui ao redor de 25 espécies conhecidas e distribuídas em todo o mundo. Segundo Andrade et al. (1997) o fenômeno de floração ocorre mais comumente nos meses de primavera, verão e princípio de outono. Essas algas tem um bom desenvolvimento em temperaturas entre 15 °C e 30 °C e pH entre 6 e 9. Aumentam o risco de formação de compostos organoclorados em águas ricas em matéria orgânica tratadas com cloro. A ocorrência deste gênero de alga deu-se justamente nas estações de verão e outono.
- Significado sanitário – Dão cor aparente às águas; formam limo; causam corrosão do concreto; persistem nos sistemas de distribuição (tubulações, mangueiras, etc.). São indicadoras de poluição orgânica, podendo reproduzir-se, intensamente, em lagoas de estabilização. Depósito de limo foi uma das causas de entupimento de gotejadores em estudo feito por Adin e Sacks (1991). O limo com a forma de tufos de longos

² Pseudo-vacúolos – Espaços ocos, redondos ou irregulares existentes no interior da massa protoplasmática de algumas algas azuis, especialmente daquelas que vivem na superfície da água. Admite-se que estejam cheios de gás.

filamentos como cabeleiras verdes, quando se desenvolvem abundantemente podem causar problemas de desempenho de filtros.

- Resistência aos algicidas – Muito sensível a todos os algicidas, especialmente sulfato de cobre, 2,3 DNQ (2,3 Dicloronaftoquinona) e ZDD (Di metil ditiocarbamato de zinco). É sensível ao cloro, mas afeta a fauna piscícola ou vegetação superior.

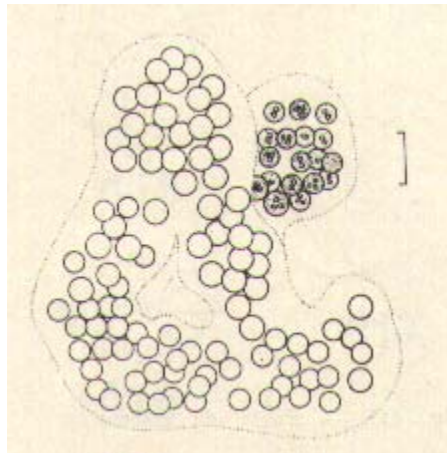


Figura A5 – Algas *Microcystis* sp.

6. *SCENEDESMUS* SP

- Grupo Sistemático – Algas verdes
- Descrição – Células de modo geral elípticas, arranjadas lado a lado em número múltiplo de 2 em um só plano, cujo tamanho é de aproximadamente 32 μ m (Bicudo, 1970). São capazes de crescer mesmo no escuro, e indicam poluição orgânica. Acredita-se que existam mais de 150 espécies.
- Significado sanitário – São algas de superfície. Vivem bem em águas de elevado teor mineral (*S. bijugatus*). Podem viver em águas poluídas ou lagoas de estabilização (*S. quadricauda*). A ocorrência da espécie *S. obliqua* indica a presença de cobre. Em geral, persistem nos sistemas de distribuição de água (canalizações de concreto, ferro, mangueiras, etc.)
- Resistência aos algicidas - São muito resistentes à maioria dos algicidas e especialmente sensíveis ao DAC (cloreto de dodecil acetamido dimetil benzil amônia).

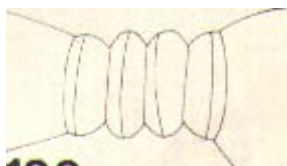
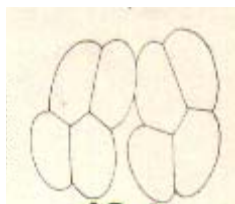


Figura A6 – Algas *Scenedesmus sp.*

7. *SELENASTRUM SP*

- Grupo Sistemático – Algas verdes
- Descrição – Células em forma de meia-lua ou foice, o tamanho varia entre 20 a 30 μm , reunidas em colônias nas quais se prendem umas às outras, formando agrupamentos de 4, 8, 16 ou mais células. Este gênero compreende 6 ou 8 espécies distribuídas pelo mundo.
- Significado sanitário – São algas de superfície, típicas de lagoas pequenas e águas paradas.
- Resistência aos algicidas – Dados inexistentes.

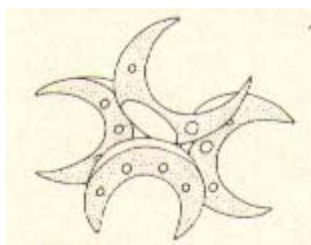


Figura A7 – Algas *Selenastrum sp.*

8. *NITZCHIA SP*

- Grupo Sistemático – Diatomáceas.
- Descrição – As diatomáceas apresentam-se grandemente diversificadas em águas isentas de poluição. Em águas poluídas, há tendência de queda no número de espécies, mas aumento na quantidade de indivíduos de uma mesma espécie, especialmente as mais resistentes.

- Significado Sanitário – Suas células possuem um envoltório silicoso que não se destrói após a morte das mesmas. Esta característica potencializa a obstrução de filtros.
- Resistência aos algicidas – São resistentes ao CMU (3(p-clorofenil)-1, 1 dimetil uréia), e o tratamento com ZDD (dimetil ditiocarbamato de zinco) é restrito já que este componente possui elevado grau de toxidez aos peixes. Podem ser tratadas com a utilização dos seguintes algicidas aos quais são sensíveis: sulfato de cobre, 2.3 DNQ (2,3 dicloronaftoquinona), DAC (cloreto de dodecil acetamido dimetil benzil amônia) em concentrações entre 0,25 e 0,50 mg/L, RADA (rosinamina D acetato) e RADS (rosinamina D sulfato) em concentração de apenas 0,25 mg/L .

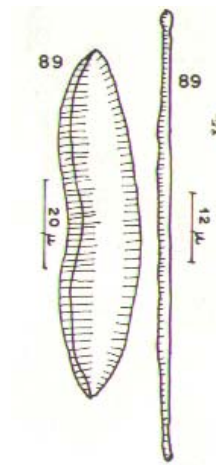


Figura A8 – Algas *Nitzschia sp.*

9. *SYNEDRA SP*

- Grupo Sistemático - Diatomáceas.
- Descrição - Apresentam células muito longas e estreitas em forma de agulha, raramente encurvadas nas extremidades, algumas vezes capitadas. Frequentemente fusiformes em vista valvar. Geralmente ocorrem isoladas, porém podem formar colônias em forma de estrelas (radiadas), ou em leques (unidas pela extremidade). A face valvar é ornamentada por estrias transversais interrompidas ao longo do eixo mediano, formando pseudo-rafe. Não possuem movimento próprio. Em vista pleural são retangulares. Este gênero apresenta odor característico de capim ou grama, e pode também apresentar odor ou sabor de mofo ou barro. Mas em geral, algas quando em

grande quantidade apresentam cheiro de peixe. Quando cloradas produzem odor de remédios.

- Significado sanitário - A alta concentração de *Synedra sp* na água, da ordem de milhares de células por mililitro de água, promove freqüentes entupimentos nos filtros da água.
- Resistência aos algicidas - São sensíveis aos algicidas CuSO₄ (Sulfato de Cobre) e Cl (Cloro). No entanto o tratamento com estas substâncias pode afetar a fauna piscícola ou vegetação superior.



Figura A9 – Algas *Synedra sp*.

10. *STAURASTRUM SP*

- Grupo Sistemático - Algas Verdes.
- Descrição - Desmidiáceas cuja constrição é geralmente profunda mas sempre em ângulo aberto (maior que 45°). Vistas de lado as hemi-células são geralmente triangulares. Em vista frontal são geralmente triangulares, mas podem ser também poligonais. A superfície da célula raramente é lisa, apresentando rugosidades ou espinhos com disposição simétricas. Estas algas podem apresentar externamente espinhos, protuberâncias, etc, que, geralmente, têm por função aumentar o atrito entre a água e o organismo o qual é mantido junto à superfície pela viscosidade daquela. Este gênero apresenta odor característico de capim ou grama.
- Significado sanitário - É uma das algas mais comuns que habitam a superfície de lagos e represas.
- Resistência aos algicidas - Este gênero é resistente ao CuSO₄ (Sulfato de Cobre). Seu tratamento com este algicida pode ser anti-econômico ou produzir odor ático à água.



Figura A10 – Algas *Staurastrum* sp.

11. MICRASTERIA SP

- Grupo Sistemático - Algas Verdes.
- Descrição - São desmidiáceas unicelulares, isoladas, em geral. As células são bastante achatadas (foliáceas), divididas em 2 hemi-células por meio de uma constrição bastante profunda (ístmo estreito). Possuem ainda recortes profundos, espinhos ou denticulações marginais, que dão às células aspecto de estrela, irregular, embora geralmente simétrica bilateralmente e não radialmente.
- Significado sanitário - São mais freqüentes em pequenas lagoas ou poças de águas paradas e limpas.
- Resistência aos algicidas - Não existem estudos sobre a resistência deste gênero de algas aos algicidas.

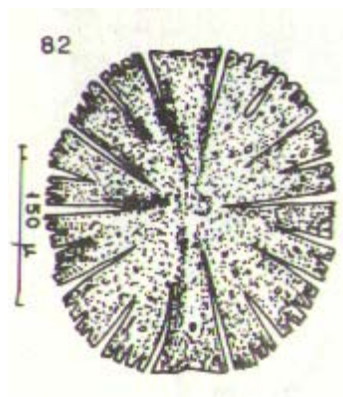


Figura A11 – Algas *Micrasteria* sp.

12. PHYTOCONIS SP

- Grupo Sistemático - Algas Verdes.

- Descrição - Suas células são arredondadas ou elipsoidais, isoladas ou constituindo grupos de poucas células as quais encontram-se comprimidas entre si, formando uma face plana ou duas de ângulo reto. Encontram-se sempre presas às superfícies sólidas, sejam submersas, sejam apenas úmidas, como troncos de árvores, rochas, paredes de tijolo, etc, sendo, talvez, a mais comum de todas as algas verdes nesse ambiente.
- Significado sanitário - Crescem presas às paredes de reservatórios e provocam a corrosão do concreto.
- Resistência aos algicidas - São sensíveis ao Cloro.

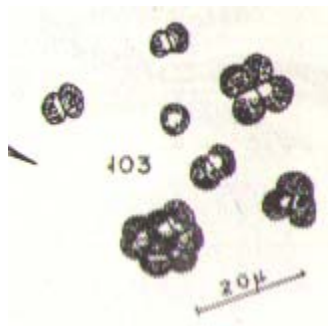


Figura A12 – Algas *Phytoconis* sp.