Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Perda de carga em filtros de tela e de discos utilizados na irrigação localizada

Cleomar Ferreira de Oliveira

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Piracicaba
2005

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

Cleomar Ferreira de Oliveira
Engenheiro Agrícola

Perda de carga em filtros de tela e de discos utilizados na irrigação localizada

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ ANTÔNIO FRIZZONE**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Piracicaba
2005

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Oliveira, Cleomar Ferreira de
Perda de carga em filtros de tela e de discos utilizados na irrigação localizada / Cleomar Ferreira de Oliveira. - - Piracicaba, 2005.
57 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005.

1. Água de irrigação – Qualidade 2. Consumo de energia elétrica 3. Custo econômico 4. Filtração 5. Irrigação localizada 6. Perda de carga 7. Vazão I. Título

CDD 631.7

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

AGRADEÇO:
A **Deus** pelas oportunidades que tem me oferecido, e a **Nossa Senhora Aparecida** pela fé que nos ajuda a superar obstáculos.

DEDICO:
A minha esposa **Lucimara Ferreira Rezende** pela dedicação, carinho, alegria,compreensão e auxílio; e a meus filhos **Iamê** e **Iale Lauro** pelo amor e carinho.

OFEREÇO:
A minha esposa **Lucimara Ferreira Rezende**, pelo amor, incentivo e companheirismo.

“Para ser o que sou hoje, já fui vários homens. E, volto a encontrar-me com os homens que fui, não me envergonho deles. Foram etapas do que sou. Tudo o que sei custou as dores da experiência. Tenho respeito pelos que não sabem, pelos que procuram, pelos que tateiam, pelos que erram. E o que é mais importante, estou persuadido de que minha luz se extinguiria se eu fosse o único a possuí-la”.

GOETHE

“Se me oferecessem a sabedoria com a condição de guardá-la só para mim, sem a comunicar a alguém, não a quereria”.

Sêneca

Agradecimentos

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, pela oportunidade oferecida para realização do curso.

Ao professor Dr. José Antônio Frizzone, pela orientação e contribuição nos trabalhos desenvolvidos durante o curso.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem: Décio Eugênio Cruciani, Iran José Oliveira da Silva, Marcos Vinícius Folegatti, Rubens Duarte Coelho, Sérgio Nascimento Duarte e Tarlei Arriel Botrel.

Ao colega Wagner de Oliveira, pela amizade, apoio e confiança.

À Yanê Gruber e Ralini Ferreira de Melo, pela amizade e carinho.

Aos funcionários: Antônio, Davilmar, Gilmar, Hélio, Osvaldo, Sandra e Vanda do Departamento de Engenharia Rural (ESALQ/USP) e Sílvia da Biblioteca (ESALQ/USP), pela colaboração no decorrer do curso.

Aos colegas do curso em Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem: Alcides Galvani Filho, Antônio Clarette S. Tavares, Célia Regina Ferrari, Euro Roberto Detomini, Francisco Edinaldo Pinto Mousinho, Jose Alves Junior, Kelte Resende Arantes, Marconi Batista Teixeira, Marcos Emanuel da Costa Veloso, Michele Moro, Priscylla Ferraz, Roberta Alessandra Bruschi Gloaguen, Rodrigo Otávio Câmara Monteiro, Rogério Pereira da Silva Airoldi, Ronaldo Antônio dos Santos, Tadeu Queiroz e Tales Miler Soares.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

Enfim, para todos aqueles que de alguma maneira colaboraram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS..... 7
LISTA DE TABELAS..... 8
LISTA DE SÍMBOLOS..... 10
RESUMO..... 12
ABSTRACT..... 13
1 INTRODUÇÃO..... 14
2 DESENVOLVIMENTO..... 17
2.1 Histórico da filtração..... 17
2.2 Qualidade da água para a irrigação localizada..... 19
2.3 Filtração..... 23
2.4 Filtro de tela..... 25
2.5 Filtro de discos..... 27
2.6 Parâmetros do projeto..... 29
2.7 Perda de carga..... 32
2.8 Material e métodos..... 33
2.8.1 Modelos de filtros analisados..... 33
2.8.2 Modelo matemático..... 34
2.8.3 Análise de variância da regressão..... 36
2.8.4 Seleção econômica dos filtros..... 37
2.9 Resultados e discussão..... 41
2.9.1 Filtros de tela..... 41
2.9.2 Filtros de discos..... 45
2.9.3 Seleção econômica de filtros..... 50
3 CONCLUSÕES..... 52
REFERÊNCIAS..... 53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Filtro de tela..... 25

Figura 2 - Filtro de disco..... 27

Figura 3 - Esquema da bancada experimental..... 34

Figura 4 - Perda de carga em função da vazão para filtro de tela 3/4”..... 42

Figura 5 - Perda de carga em função da vazão para filtro de tela 1”..... 42

Figura 6 - Perda de carga em função da vazão para filtro de tela 1 ½”..... 43

Figura 7 - Perda de carga em função da vazão para filtro de tela 2”..... 43

Figura 8 - Perda de carga em função da vazão para filtro de disco 1”..... 47

Figura 9 - Perda de carga em função da vazão para filtro de disco 1 ½”..... 47

Figura 10 - Perda de carga em função da vazão para filtro de disco 2”..... 48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Risco potencial de entupimento pelo uso da água da irrigação..... 21

Tabela 2 - Causas de entupimento dos sistemas de irrigação localizada..... 22

Tabela 3 - Classificação do solo por tamanho de partículas com correspondente número de mesh de tela..... 27

Tabela 4 - Cores dos discos em função do número de ranhuras..... 29

Tabela 5 - Características de fabricação dos filtros utilizados no experimento..... 33

Tabela 6 - Análise de variância para testar a significância da regressão..... 36

Tabela 7 - Análise de variância para testar a significância da regressão, para filtro de tela de 3/4”..... 44

Tabela 8 - Análise de variância para testar a significância da regressão, para filtro de tela de1”..... 44

Tabela 9 - Análise de variância para testar a significância da regressão, para filtro de tela de 1 ½”..... 44

Tabela 10 - Análise de variância para testar a significância da regressão, para filtro de tela de 2”..... 44

Tabela 11 - Intervalos de confiança para parâmetros da regressão, para filtro de tela de 3/4”..... 45

Tabela 12 - Intervalos de confiança para parâmetros da regressão, para filtro de tela de1”.. 45

Tabela 13 - Intervalos de confiança para parâmetros da regressão, para filtro de tela 1 ½”.. 45

Tabela 14 - Intervalos de confiança para parâmetros da regressão, para filtro de tela de 2”.. 45

Tabela 15 - Análise de variância para testar a significância da regressão, para filtro de discos de 1”..... 48

Tabela 16 - Análise de variância para testar a significância da regressão, para filtro de discos de 1 ½”..... 48

Tabela 17 - Análise de variância para testar a significância da regressão, para filtro de discos de 2”..... 49

Tabela 18 - Intervalos de confiança para parâmetros da regressão, para filtro de discos de 1”..... 49

Tabela 19 - Intervalos de confiança para parâmetros da regressão, para filtro de discos de 1 ½”..... 49

Tabela 20 - Intervalos de confiança para parâmetros da regressão, para filtro de discos de 2”..... 49

Tabela 21 - Unidades econômicas dimensionadas para o sistema com filtro de tela..... 51

Tabela 22 - Unidades econômicas dimensionadas para o sistema com filtro de discos..... 51

LISTA DE SÍMBOLOS

β_0 - Constante que expressa a perda de carga para a vazão unitária, em m.c.a

β_1 - Constante característica do regime de fluxo, admensional

CAHf - Custo anual de energia, custo variável (R$)

CFA - Custo fixo da bateria de filtros (R$)

CAT - Custo anual total (R$)

e - Base de logaritmos naturais

ε - Erro aleatório.

η - Eficiência da motobomba, em decimais

FRC - Fator de recuperação do capital, em decimais

GL - Graus de liberdade

H - Perda de carga depois de filtrado um volume "v"

Hf_c - Perda de carga corrigida, em m.c.a

Hf - Perda de carga no filtro, em m.c.a

Hf_p – Valores máximos de perda de carga corrigida, em m.c.a

Ho - Perda de carga no filtro limpo

H_0 e H_1 - Teste da hipótese

I - Índice de filtrabilidade (função característica do filtro)

j - Juros anuais, em decimais

n - Número de pares de pontos vazão-perda de carga observados

N - Número de filtros

NH - Número de horas de funcionamento por ano (T)

$P_{cv\ h}$ - Preço do cv hora (R$)

PF - Preço unitário do filtro (R$)

Q - Vazão que escoa através do filtro (L^3T^{-1})

Q_c - Vazão corrigida (L^3T^{-1})

Q_{max} - Vazão máxima (L^3T^{-1})

QM_E - Quadrado médio devido à variação residual

QM_R - Quadrado médio devido à regressão

Qp - Vazão do projeto (L^3T^{-1})

R^2 - Coeficiente de determinação

R^2_{ajust} - Coeficiente de determinação ajustado

$S_{Hf\,Q}$ - Erro padrão de estimativa

σ^2 - Variância

SQ_E - Soma dos quadrados devido à variação residual

SQ_R - Soma dos quadrados devido a regressão

SQ_T - Soma total dos quadrados

S_{xy} - Numerador da equação (4)

Teste F - Testes ou provas de significância para análise de variância

V - Volume filtrado

Vu - Vida útil do equipamento

RESUMO

Perdas de carga em filtros de tela e de discos utilizados na irrigação localizada

Os sistemas de irrigação localizada requerem, obrigatoriamente sistemas de filtração para um tratamento mínimo da água. Os filtros são fundamentais à qualidade da água utilizada na agricultura irrigada, promovendo melhor desempenho dos sistemas de irrigação e seus componentes. Neste trabalho, estudou-se a perda de carga em função da vazão, em filtros de tela e de discos e determinou-se a bateria de filtros de mínimo custo anual total para diferentes vazões de projeto. Os ensaios foram realizados no laboratório de irrigação do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, utilizando-se filtros comerciais da marca AMIAD, com elemento filtrantes de tela (modelos 3/4", 1", 1 ½" e 2") de discos (modelos 1", 1 ½" e 2"). A vazão máxima utilizada no ensaio, para cada modelo de filtro, foi àquela recomendada pelo fabricante. Para todos os filtros analisados no laboratório observaram-se altos valores dos coeficientes de determinação (R^2) indicando uma forte relação potencial entre as variáveis vazão e perda de carga. Considerando as condições em que o estudo foi realizado e com base nos resultados obtidos, conclui-se que: o modelo matemático potencial descreve adequadamente a variação da perda de carga nos filtros de tela e discos em função da variação da vazão; os filtros de tela proporcionam menor perda de carga que os filtros de discos; a filtragem da água utilizando filtros de discos apresenta maior custo anual total; para os limites de vazão estudados e para as perdas de carga máximas permitidas, em geral as baterias compostas por filtros de 2" apresentaram o menor custo mínimo anual total; de forma geral, para os filtros estudados, as curvas de perda de carga em função da vazão apresentadas no catálogo do fabricante não representaram fielmente as curvas obtidas nesse trabalho, em ensaio de laboratório.

Palavras-chave: Filtração; Relação vazão-perda de carga; Consumo de energia; Custo anual total.

ABSTRACT

Loading losses in net and disc filters used in dropping irrigation

Drip irrigation systems always require filtration systems for a basic water treatment. The filters are fundamental for the water quality used in irrigated farming, providing better performance of irrigation systems and their components. It was studied in this work the loading loss according to the flow in net and disc filters and it was determined the filter sets with the minimum cost for different flows. The trials were carried out in the irrigation laboratory of the Rural Engineering Department of the Superior School of Agriculture “Luiz de Queiroz”, São Paulo University, using AMIAD brand commercial filters, with net filtration elements (models 3/4”, 1”, 1 ½” ”, and 2”), and discs (models 1”, 1 ½” and 2”).The maximum flow used in the trial, for each filter model, was that recommended by the manufacturer. It was observed for all the analyzed filters in the laboratory high values of determination coefficient (R^2) indicating a strong potential relation between the flow and loading loss variables. Considering the conditions in which the study was carried out and based on the results obtained, it was concluded that: The potential mathematical model describes adequately the loading loss variation in the net and disc filters according to the flow variation; the net filters provide less loading loss than the disc filters; the water filtration using disc filters show higher total annual cost; for the studied flow limits and for the maximum allowed loading loss, in general the sets composed of 2” filters present the lowest total annual cost, overall, for the filters studied, the loading loss curves according to the flow showed in the manufacturer’s catalogue did not present accurately the curves obtained on this work in laboratory trial.

Key words: Filtration; Loading loss and flow relation; Energy consumption; Total annual cost.

1 INTRODUÇÃO

Na agricultura irrigada, a qualidade física, química e biológica da água utilizada é de fundamental importância para os sistemas de irrigação e de seus componentes. A utilização de água contendo sedimentos em suspensão tem sido a causa de sérios problemas em sistemas de irrigação localizada, reduzindo a vida útil de seus componentes, promovendo o entupimento de tubulações e emissores e ocasionando, como conseqüência, irrigações não uniformes e queda na eficiência da irrigação. A escolha do tipo e capacidade do sistema de filtragem é de fundamental importância, evitando, assim, aumento nos custos de operação e manutenção do sistema de irrigação, devido a necessidade de limpeza e trocas freqüentes de seus componentes.

A quantidade de sedimentos presentes na água de irrigação influencia o dimensionamento do sistema de irrigação para o seu adequado desempenho. A escolha do tipo e capacidade do sistema de filtragem é de fundamental importância, evitando-se assim, o aumento dos custos de operação e manutenção do sistema de irrigação devido à necessidade de limpeza e trocas freqüentes de seus componentes.

O entupimento físico de componentes do sistema de irrigação pode ser causado por fatores como partículas inorgânicas em suspensão (areia, silte argila etc.), decomposição da matéria orgânica (principalmente resíduos vegetal e animal), dissolução do solo, ferro e manganês. A manutenção preventiva e constante constitui-se na melhor solução para reduzir ou eliminar as causas de entupimento.

Nakayama e Bucks (1981) comentam que o aumento do processo de entupimento da ordem de 1 a 5% pode resultar em uma variação significativa de vazão na rede hidráulica. Na tentativa de minimizar esses problemas, medidas preventivas relacionadas à melhoria da qualidade da água, ou mesmo corretivas, com o intuito de desobstrução de emissores, tem sido alvo de pesquisas com resultados altamente satisfatórios (NAKAYAMA; BUCKS; CLEMMENS, 1979; SCHAWANKL e PRICHARD, 1990), destacando-se principalmente os processos de filtragem da água, visto que as partículas minerais suspensas nesse meio podem ser consideradas como o principal fator de entupimento dos emissores (ABBOTT, 1987; ADIN e ALON, 1986). Com base nesse cenário os métodos de filtragem de água foram sendo incorporados e adaptados à irrigação localizada, cuja característica principal é a realização de um procedimento de filtragem essencialmente mecânico.

Na maioria dos casos a minimização de ocorrência de entupimento é possível através da filtragem efetiva das partículas em suspensão na água. A filtragem pode ser realizada através de vários tipos de filtros usados individualmente, ou agrupados de forma a se obter uma melhor eficiência. Dentre os vários tipos de filtros utilizados destacam-se os filtros de areia, disco e tela, que retêm a passagem de partículas sólidas inorgânicas, suspensas na água de irrigação.

A instalação de filtros, em sistemas de irrigação localizada, com o objetivo de evitar o entupimento dos emissores na linha de irrigação, produz uma variação no comportamento hidráulico do sistema ao longo do tempo. À medida que a vazão, fornecida ao sistema, atravessa os filtros, provoca a diminuição da filtragem, visto que o material sólido em suspensão se agrega ao corpo do elemento filtrante, formando uma superfície de partículas sólidas na parte superior da areia e na parede do disco e tela, acarretando a elevação da perda de carga e a redução da vazão disponível no filtro, influenciando na altura manométrica e na vazão do sistema.

A altura manométrica, vazão, tipo de filtro e qualidade da água utilizados no sistema são parâmetros do projeto intimamente relacionados que justificam a necessidade de conhecimento hidráulico de filtros para irrigação localizada, visto que influenciam diretamente na eficiência do sistema, devendo-se, portanto, limitar esta perda de carga a um valor que não cause a variação excessiva da vazão do projeto.

Os filtros de tela ou de disco são responsáveis para reter impurezas minerais que podem atravessar os filtros de areia ou provenientes dos adubos utilizados na fertirrigação. Existem diferentes tipos de filtros de tela ou de disco sendo que a maioria possui mecanismos que facilitam sua limpeza. Em alguns casos, essa limpeza é realizada automaticamente, quando as obstruções ocasionam uma determinada perda de carga. A obstrução desses filtros é mais rápida que nos filtros de areia, por essa razão a limpeza é mais freqüente. Quando o filtro está limpo, a perda de carga é da ordem de 1m.c.a a 3 m.c.a (CABELLO, 1996); quando obstruído pode atingir valores da ordem de 4 m.c.a a 6 m.c.a. Quando a perda de carga alcança valores desta ordem deve-se proceder a limpeza. Para valores superiores a estes a eficiência de filtragem diminui e poderá, até mesmo, ocorrer rompimento do elemento filtrante, no caso de filtros de tela. Valores de perda de carga da ordem de 4 m.c.a a 6 m.c.a devem ser considerados para o dimensionamento do conjunto motobomba.

A filtragem tradicional da água na irrigação localizada, em que se utilizam os filtros de disco e de tela mostra um campo ideal de discussão, visto que se relaciona a uma capacidade de retenção de matéria. Como forma de gerar subsídios para uma discussão sobre a capacidade de

filtragem para esses sistemas foram realizados ensaios, em laboratório, para determinar a relação funcional entre a perda de carga e a vazão para filtros individuais, de tela e de disco. Estas relações foram utilizadas para determinar a bateria de filtros de custo anual total mínimo para diferentes vazões de projeto.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Histórico da filtração

A filtração como processo de tratamento de água, foi provavelmente criada pelo homem, como resultado de observação da limpeza das águas subterrâneas, atribuída à passagem da mesma pelos solos naturais, tendo-se notícia que desde o século XVI, à filtração, como método de clarificação[1] da água, já se encontrava difundida.

Os primeiros filtros possuíam leitos de pedras porosas e eram especialmente domésticos. O primeiro a construir filtros de areia foi John Gibbs em 1804 em Paisley (Escócia). Mas somente em 1828 os filtros de areia foram usados pela primeira vez, para abastecimento público, construído por James Simpson para abastecer Londres (HESPANHOL, 1969; COSTA; FRANÇA; ALVES, 1986), com o objetivo de redução da turbidez pelos mecanismos de retenção de partículas.

Os primeiros exames físicos e análises químicas regulares de água foram instituídos a partir de 1858, quando John Snow, segundo Hespanhol (1969), mostraram que a cólera era transmitida através de água e que a única solução para o problema era a filtração da água ou o abandono do manancial poluidor.

Por volta de 1870, quando os métodos de análise química da água, desenvolvidos nos anos anteriores, passaram a ser utilizados para verificação da eficiência da filtração, uma onda de decepção reduziu o entusiasmo dos construtores de filtros ao constatarem que a purificação efetuada pelos leitos filtrantes era muito restrita.

As propriedades biológicas dos filtros começaram a ser compreendidas e a ganhar seu devido valor, somente após as descobertas de Koch Escherich e principalmente Pasteur, em 1881, provando com a existência das bactérias, que a maioria das doenças eram transmitidas por germes específicos, provocando assim o rápido crescimento de microrganismos (COSTA; FRANÇA; ALVES, 1986).

---

(1) Clarificação deve ser entendido neste estudo como o ato ou efeito de tornar claro, limpando ou purificando (um líquido).

A eficiência[2] da filtração lenta na remoção de bactérias foi comprovada em 1892 nas cidades de Hamburgo e Altona na Alemanha, que captavam águas do Rio Elba. Em Hamburgo o tratamento consistia apenas de sedimentação, enquanto que em Altona possuía filtros lentos de areia. Com a contaminação do rio Elba, houve uma epidemia de cólera causando a morte de 7.582 pessoas em Hamburgo e, em Altona somente 328 pessoas morreram, sendo que a maioria dos casos se deu por contato, (HUISMAN, 1982).

Segundo Bollmann (1987), de 1914 a 1918 o interesse pela filtração lenta sofreu uma bruta redução, atribuída ao crescimento da utilização da filtração rápida, que permitiu a aplicação de taxas de filtração mais elevadas e conseqüentemente à produção de um volume maior de água tratada por unidade de área. Com a disseminação dos filtros rápidos as pequenas comunidades optaram por tal processo como exemplo de pujança e desenvolvimento urbano.

Vareche (1989) afirma que em 1940, os Estados Unidos possuíam aproximadamente 100 instalações de filtração lenta em operação e 2.275 de filtrações rápidas. Entretanto, Valenzuela (1991) cita que a partir da década de 50, com a intensificação dos estudos em tratamento de água nos Estados Unidos e em alguns países da Europa, nova atenção foi dada à filtração lenta, procurando a aplicação de uma tecnologia simples e suficiente, visando o bem estar público.

Hespanhol (1969) relata o interesse demonstrado por diversos pesquisadores de vários países em se dedicar não só a desvendar os fenômenos sobre atividades de película biológica[3] que se desenvolve no topo da camada de areia, mas também propor critérios para projetos a fim de empregar a filtração lenta para tratar também águas com altos valores de turbidez.

Mbwette e Graham (1987) descrevem que em 1980, no Reino Unido, cerca de 27,6% do total da água tratada utilizou a filtração lenta, processo único de filtração ou em combinação com filtros rápidos, no entanto em algumas regiões da Inglaterra mais de 70% da água tratada estava envolvida com a filtração lenta como processo secundário de tratamento.

---

(2) Eficiência - ação ou força capaz de produzir efeito. Em termos físicos, eficiência se refere à razão entre energia útil proveniente de um sistema mecânico e a energia que lhe foi fornecida, durante o mesmo processo ou um dado período de operação.

(3) Película Biológica - constituída por material de origem orgânica, através da qual tem que passar a água antes de chegar ao meio filtrante, constituída por algas, plânctons, protozoários, bactérias, onde a função destes microorganismos e digerir e degradar a matéria orgânica que contem na água.

Vareche (1989) menciona que 80% do total da água que abastecia a cidade de Londres era tratada através da filtração lenta combinada com processo físico-químico. Pesquisas desenvolvidas na Escola de Engenharia de São Carlos-USP, por Di Bernardo; Grahan e Paterniani (1990b), apontam a filtração lenta, como um sistema de tratamento econômico e eficiente e, portanto, bastante adequado às pequenas comunidades brasileiras.

2.2 Qualidade da água para a irrigação localizada

López et al. (1992) afirmam que o problema mais grave e freqüente nas instalações de irrigação localizada, em particular no gotejamento, é o entupimento, e que, dependendo do tipo de sólidos em suspensão ou impurezas da água, os sistemas devem ser providos de algum tipo de equipamento de filtragem, sendo que as obstruções podem ser causadas por partículas orgânicas e inorgânicas ou, por precipitações e/ou proliferação de bactérias.

Quanto ao fator tempo, as obstruções podem se classificar em atuais ou imediatas e em potenciais lentas. De modo geral, as obstruções atuais ou imediatas se identificam com as causadas por partículas orgânicas e inorgânicas, e as potenciais ou lentas estão associadas às produzidas por precipitações ou bactérias.

A expressão qualidade da água para irrigação necessita ser definida dentro de um contexto que envolve solo, planta e manejo de água. Nem sempre a qualidade da água está relacionada só com sua salinidade que pode ser expressa pela condutividade elétrica ou em concentração (g/L, mg/L – ppm). Na realidade os parâmetros referentes à qualidade da água devem ser analisados por seus efeitos no solo, na planta e no manejo de irrigação (BERNARDO, 1995).

Segundo Ayers e Westcot, (1976) o conceito de qualidade da água está relacionado com características que podem afetar sua adequação para usos específicos, isto é, usos que podem ter diferentes requisitos de qualidade. Uma água será considerada de melhor qualidade se produzir melhores resultados. Determinada água pode ser boa para a irrigação, mas inaceitável para uso urbano. Mesmo para irrigação uma água poderá ser boa para determinada situação e cultura e não para outra. Os autores propõem diretrizes técnicas para avaliação das águas, mas com limitações impostas pela variabilidade das condições de campo. Apenas a experiência acumulada

pode melhorar a eficácia dessas diretrizes. A qualidade da água para irrigação define-se principalmente por suas características físicas, químicas e biológicas.

Para avaliar uma água quanto à sua conveniência para irrigação, não se devem estudar os parâmetros que determinam a sua adequação isoladamente, mas considerar o conjunto de fatores relacionados com seus efeitos no solo, na cultura e com o manejo da água e do solo (CHRISTIANSEN; OLSEN; WILLARDSON, 1977; AYERS e WESTCOT, 1976).

Thompson e Krider (1983) afirmam que as características da água disponível nas propriedades têm significado efeito na seleção do sistema da irrigação. Muitos fatores como a quantidade disponível (vazão e volume), a localização da fonte d'água e a quantidade distribuída no tempo têm efeito sobre as considerações para definir e avaliar a aplicabilidade do sistema de irrigação na propriedade. A quantidade de sedimentos carreados pela água pode influenciar o dimensionamento para um adequado desempenho do sistema de irrigação. Quando alta carga de sedimentos é encontrada, a irrigação localizada requer um sistema de filtragem que assegure um desempenho confiável.

Para Lopez (1998) a água de irrigação utilizada na agricultura pode conter contaminantes indesejáveis, tais como, sais dissolvidos, sedimentos suspensos elementos tóxicos de ocorrência naturais, nematóides e outros agentes infecciosos. Contaminantes físicos e partículas orgânicas podem causar efeitos adversos aos sistemas de irrigação. Quando presentes faz-se necessária à prevenção com filtros adequados para sua eficaz remoção. Sedimentos carreados pela água reduzem a vida útil dos componentes dos sistemas de irrigação e diferentes tipos de filtros são necessários para evitar este tipo de problema.

Ayers e Westcot (1976) afirmam que à presença de sedimentos em suspensão na água de irrigação é motivo de preocupação em muitas regiões, pois, além dos problemas que causam nos componentes do sistema de irrigação, os sedimentos podem causar outro efeito negativo, que é a redução da permeabilidade dos terrenos, com a formação de crostas sobre a superfície do solo. Os sedimentos têm dificultado muito o funcionamento de equipamentos de irrigação localizada. O entupimento de tubulações e bocais tem contribuído para a baixa uniformidade e eficiência da irrigação, elevando os custos de operação e manutenção, devido à necessidade de limpeza e trocas freqüentes de bocais e emissores.

No sentido de dar uma orientação de caráter quantitativo Gilbert e Ford (1986) apresentam uma classificação da água, indicando critérios para a avaliação do risco de

entupimento (Tabela 1). Essa classificação baseia-se em várias fontes, trabalhos de laboratório e experimentos de campo, realizados em vários locais e com diferentes qualidades de água.

Tabela 1 - Risco potencial de entupimento pelo uso da água da irrigação

Tipos de problema	**Risco reduzido**	**Risco médio**	**Risco alto**
Físicos			
Sólidos suspensos (ppm)	< 50	50 - 100	> 100
Químicos			
pH	< 7,0	7,0 – 8,0	> 8,0
Sólidos dissolvidos (ppm)	< 500	500 – 2.000	> 2.000
Mn (ppm)	< 0,1	0,1 – 1,5	> 1,5
Fe (ppm)	< 0,1	0,1 – 1,5	> 1,5
Sh_2 (ppm)	< 0,5	0,5 – 2,0	>2,0
Biológicos			
População bacteriana (nº cm^{-3}**)**	< 10.000	10.000- 50.000	> 50,000

Fonte: Gilbert e Ford (1986)

Para Gilbert e Ford (1986) o tipo e quantidade de impurezas presentes na água de irrigação irão determinar o tipo de tratamento necessário para prevenção do entupimento. O entupimento físico pode ser causado por suspensão de partículas inorgânicas (areia, silte, argila), materiais orgânicos (fragmentos de plantas, resíduos de animais, peixes, caracóis, etc.). A areia e o silte podem ser levados com água de irrigação através dos canais ou pelo bombeamento direto de poços e de fontes superficiais de água. Entupimentos por fatores físicos podem ser controlados com adequada filtração e drenagem periódica linhas laterais. Para os autores a manutenção preventiva e constante tem sido a melhor solução para reduzir o risco de entupimento dos emissores, sendo que a manutenção preventiva inclui a filtragem, inspeção de campo, drenagem das laterais e tratamento químico. A filtragem da água e a inspeção do campo são essenciais.

Segundo Gilbert e Ford (1986) as medidas para evitar o entupimento se dividem em dois tipos: uma preventiva, que consiste na filtragem e, em alguns casos, no tratamento da água; a outra, quando o sistema já apresenta entupimento parcial ou total, consiste freqüentemente no tratamento da água ou mesmo o desentupimento com aplicação de água ou ar com alta pressão.

Howell et al. (1983); Keller e Bliesner (1990) afirmam que o projeto dos emissores tem sido concebido para ter pequenas aberturas, proporcionando vazões mais próximas das taxas de infiltração da água no solo, mas resultando em maior probabilidade de entupimento quando comparados com os bocais dos aspersores. Alguns dos materiais que causam entupimento dos emissores são facilmente identificados nas fontes de água, tais como, as suspensões de areia, silte e argila, necessitando-se de um sistema de filtragem para sua remoção. Cabello (1996) apresenta as causas do entupimento em sistemas de irrigação localizada (Tabela 2).

Tabela 2 - Causas do entupimento em sistemas de irrigação localizada

Partículas Minerais	Areia Limo Argila Outros
Partículas Orgânicas	Algas Bactérias Restos vegetais ou animais
Precipitados Químicos	Sais da água Deposição de Fe, S e Mn Fertilizantes

Fonte: Cabello (1996)

Na atualidade, não se dispõe de um método seguro para avaliar o risco de entupimento pelo uso de uma determinada água de irrigação. A dificuldade reside no fato de que alguns fatores intervenientes são variáveis, como a temperatura, que afeta a formação de precipitados e o desenvolvimento de microrganismos, e outros que não dependem somente da água, mas também dos produtos que se adicionam como fertilizantes (CABELLO, 1996)

Para Airoldi (2003) na irrigação a água de boa qualidade deve produzir melhores resultados e causar menos danos à cultura, ao solo e ao equipamento do sistema. O processo de irrigação por gotejamento está intimamente relacionado com a qualidade da água utilizada. Águas com impurezas em suspensão ocasionam 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.

2.3 Filtração

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 filtração ocorrem os seguintes fenômenos: adsorção[4], sedimentação[5], coagem[6] e floculação[7]. A ação mecânica de eliminação dos sólidos nos filtros está baseada no principio de que um meio poroso pode reter impurezas de dimensões menores que os poros da camada filtrante. Quando o sistema de filtração entrar em operação, as partículas vão sendo retidas nos poros do meio filtrante, proporcionando seu acúmulo e, com isso, perda de carga (POVINELLI; MARTINS, 1973).

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. Para Gilbert e Ford (1986) a seleção do tipo de filtro, do tamanho e da capacidade depende da qualidade da água e das características do emissor. Na prática recomenda-se que os orifícios do filtro tenham 1/10 do diâmetro dos emissores, evitando assim, que partículas agrupadas possam obstruir passagem da água. Se as condições físicas da água indicarem situação severa, dois ou mais tipos de filtros podem ser necessários.

Qualquer sistema de filtragem requer inspeção rotineiramente para assegurar a operação satisfatória do sistema (GILBERT; FORD, 1986). Segundo esses autores, os filtros de areia permitem inspeções menos constantes, mas retêm apenas partículas de 25 a 100 μm e podem fornecer condições favoráveis ao crescimento de bactérias.

---

(4) Adsorção - refere-se a retenção de substâncias removidas pela superfície das partículas materiais constituintes do meio filtrante.

(5) Sedimentação - refere-se 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.

(6) Coagem - refere-se a retenção de partículas de dimensão superior à abertura dos poros.

(7) Floculação - ocorre no interior dos poros, durante o escoamento da água, devido à turbulência que provoca mistura em seu interior.

Conforme Gheyi et al. (1999) os sistemas de filtragem são fundamentais em projetos de irrigação localizada, pois os emissores têm orifícios de dimensões reduzidas e ficariam obstruídos com o uso de água sem um grau de filtração adequado. São necessários filtros com nível de filtração entre 80 a 120 mesh[8] para microaspersão e entre 120 a 200 mesh para gotejamento. Cararo et al. (2004) destaca que os fabricantes recomendam os filtros de tela fina (100 a 200 mesh), para a remoção de partículas com tamanho acima de 150 a 75 μm, respectivamente.

Adin e Elimelech (1989) constataram eficiências de 40% a 85% para filtros de areia com uso de água residuária, retirada de somente 1% a 2% do total de sólidos suspensos e entupimento muito rápido de filtros de tela. Segundo Bralts (1986) os filtros de areia possuem uma maior área para a retenção de partículas e podem entupir rapidamente, dependendo da quantidade de sólidos na água e da eficiência do filtro. Keller e Bliesner (1990) comentam que os filtros de areia são utilizados principalmente para reter cargas pesadas de areia muito fina e material orgânico.

Para López et al. (1997) o bom funcionamento dos filtros de areia depende de vários fatores: qualidade da água; vazão a ser filtrada (normalmente entre 50 e 70 m^3h^{-1} por m^2 de superfície filtrante, mas não superior a 70 m^3h^{-1}); perda de carga máxima admitida (normalmente inferior a 60kPa); característica granulométria da areia; diâmetro efetivo dos poros de acordo com o tamanho da partícula a ser retirada; forma dos grãos (preferencialmente arredondados, que proporciona maior microporosidade para retenção de partículas); boa friabilidade que proporciona boa resistência à ação mecânica; resistência ao ataque por ácidos (a perda de areia deve inferior a 2%); altura mínima de areia (40 a 50 cm) e de um bom programa de manutenção e limpeza. Gilbert e Ford (1986) afirmam que os filtros de areia não são facilmente entupidos por algas, mas podem remover uma quantidade relativamente de sólidos suspensos, antes que a limpeza seja necessária.

Segundo Phillips (1995), muitos equipamentos de filtragem instalados nos sistemas de irrigação localizados têm operado abaixo do nível ótimo. Observações evidenciaram erros de seleção dos produtos e inadequação no monitoramento e na manutenção a campo, o que resulta no comprometimento do desempenho do sistema de filtragem.

---

[8] Mesh palavra cujo significado em português é tradicionalmente referido como “malha”, refere-se ao número de aberturas por polegada quadrada implicando em que um filtro de n° 200 contém malhas com diâmetro de 0,074 mm.

Para Phillips (1995) os filtros de areia podem oferecer condições favoráveis à proliferação de bactérias, são normalmente usados para reter partículas com tamanho de 25 a 100 μm. O autor comenta que esses filtros são indicados em situações em que haja alta concentração de material inorgânico ou qualquer tipo de contaminante orgânico. São freqüentemente construídos para a retrolavagem automática quando necessária, recomendando-se na prática, também o uso de filtros de tela, na seqüência, de modo a coletar o material que possa passar por ocasião desta operação. Eles são muito efetivos para filtrar material orgânico, porque podem coletar os contaminantes através da camada de areia, acumulando grandes quantidades de algas.

2.4 Filtros de Tela

O filtro de tela apresenta forma cilíndrica e constitui-se de uma carcaça de plástico ou metal não corrosivo e de um cesto móvel também de plástico ou de metal não-corrosivo, o qual é recoberto por uma tela. A Fig. 1 mostra o esquema de um filtro de tela.

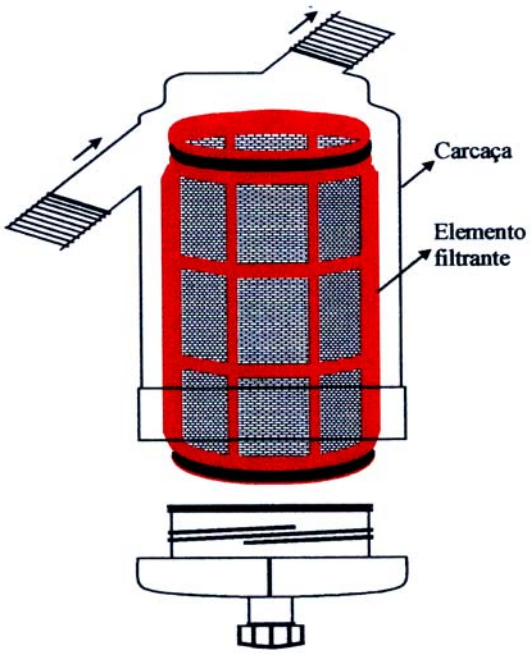

Figura 1 – Filtro de tela

A tela do filtro pode ser de nylon ou de aço inoxidável e pode ser classificada quanto ao tamanho em números de aberturas por polegada linear (mesh), que geralmente variam, na irrigação localizada entre 50 a 200 mesh, (abertura dos poros variando de 0,3 a 0,074 mm) sendo que o principal objetivo do filtro de tela é reter a passagem de partículas inorgânicas suspensas, contidas na água da irrigação. O diâmetro dos orifícios e a área total da tela determinam a eficiência dos filtros de tela. É comum usar tela de malha de 120 mesh (abertura dos poros de 0,14 mm) (BERNARDO, 1995).

Segundo Vermeirem e Jobling (1984), geralmente nos sistemas de irrigação localizada, os filtros de tela são instalados depois dos filtros de areia e dos sistemas injetores de fertilizantes, quando for empregada a fertirrigação, com a função de reter as partículas não dissolvidas. Os filtros de tela são mais eficientes para reter partículas sólidas de diâmetros muito pequenos, como areia fina, mas entopem rapidamente quando são usados para filtrar água com matéria orgânica, algas e partículas coloidais, pois, neste último caso, a separação das impurezas consiste em um processo de retenção superficial de partículas na tela, que se contamina muito rápido.

O fator determinante para o entupimento dos filtros de tela é o diâmetro das partículas de areia fina porque bloqueiam diretamente a área dos poros, enquanto que as partículas de areia grossa necessitam preencher todo o volume do elemento filtrante para que ocorra o mesmo efeito (PHILLIPS, 1993). Segundo Zeier e Hills (1987) para se obter um funcionamento adequado do sistema de filtração necessita-se selecionar um filtro que tenha uma boa eficiência para uma dada vazão e para a sua correspondente perda de carga. Par selecionar um bom filtro de tela deve-se observar a sua capacidade de armazenamento de partículas, com objetivo de minimizar as operações de limpeza. Portanto, o melhor filtro de tela será aquele que tiver maior capacidade de retenção com baixos valores de perda de carga e possuir boa operacionalidade de manutenção.

Segundo Keller e Bliesner (1990) o desempenho dos filtros de tela depende da vazão, da área efetiva de filtragem (malha entre 50 e 200 mesh) e de uma perda de carga máxima admitida (40 kPa). Os autores relacionam o tamanho das partículas do solo com um correspondente número de mesh, como pode ser observado na Tabela 3.

Os filtros de tela removem de forma eficiente partículas muito finas de areia ou pequenas quantidades de algas, mas não são apropriados para a retenção de todo material orgânico (algas, fitoplânctons e zooplânctons) presentes na água de irrigação (VERMEIREM; JOBLING,1984). Um filtro de tela com grande vazão, em relação à área de abertura requer limpeza freqüente e tem uma vida útil reduzida. Os fatores a serem considerados para a escolha do filtro são:

qualidade da água, vazão do sistema, área de filtragem, porcentagem de área livre por filtro, tempo para o ciclo de limpeza e a perda de carga permissível (KELLER; BLIESNER, 1990).

Segundo Phillips (1995) filtros de tela não são indicados para condições onde haja altas cargas de sujeira; nessas condições, sua seleção cria intensa manutenção e dificuldades operacionais. Portanto, recomenda-se o filtro de tela, apenas onde haja baixas cargas de areia, silte, pedriscos ou contaminantes inorgânicos. Para Gilbert e Ford (1986), algas presentes na água tendem a causar o entupimento da tela, podendo reduzir a capacidade de filtragem. Fabricantes recomendam telas com malhas finas de 100 a 200 mesh (150 ou 75 μm), a grossas de 30 mesh (600 μm). Este tipo de filtro requer limpeza e inspeção de rotina, de modo a assegurar a operação satisfatória do sistema de irrigação localizada.

Tabela 3 - Classificação do solo por tamanho de partículas com o correspondente número de mesh de tela

Classificação do solo	**Tamanho da partícula μm**	**Número mesh da tela**
Areia muito grossa	1000 – 2000	18 – 10
Areia grossa	500 – 1000	35 – 18
Areia média	250 – 500	60 35
Areia fina	100 – 250	160 – 60
Areia muito fina	50 – 100	270 – 160
Silte	2 – 50	400 – 270*
Argila	< 2	...

Fonte: Keller & Bliesner (1990); *400 mesh é a tela que tem a malha de menor tamanho (0,03 mm).

2.5 Filtros de Discos

O filtro de discos apresenta forma cilíndrica, constituindo-se de um recipiente metálico ou de plástico. O elemento filtrante é constituído por um conjunto de anéis estriados, empilhados sobre um suporte central ao redor de um cilindro. As ranhuras são comprimidas umas contra as outras ao se enroscar a carcaça. A água é filtrada ao passar pelos pequenos condutos formados entre os anéis consecutivos. A Fig. 2 mostra o esquema de um filtro de discos. Segundo

Vermeirem e Jobling (1984), geralmente nos sistemas de irrigação localizada, os filtros de discos são instalados depois dos filtros de areia e dos sistemas injetores de fertilizantes.

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 filtrante do disco permite uma filtração profunda com alta capacidade de reter matéria orgânica (LOPÉZ, 1997). A limpeza manual do elemento filtrante é bastante fácil, pois quando aberto os discos se soltam e podem ser facilmente lavados em água corrente, com jatos de água e podendo também utilizar a retrolavagem.

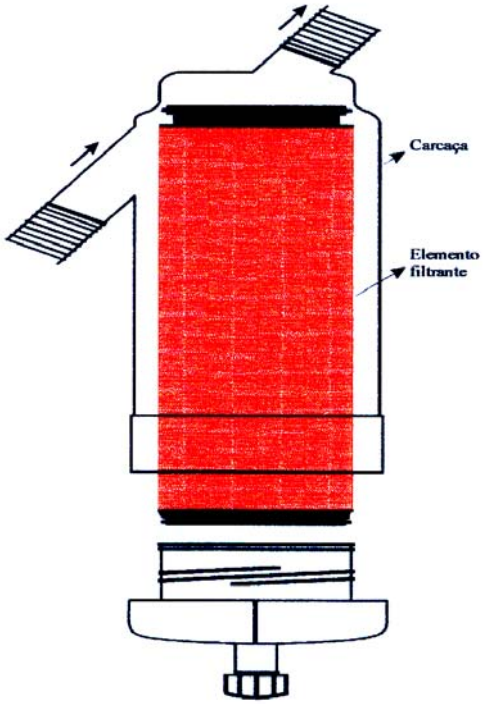

Figura 2 – Filtro de discos

À semelhança do filtro de areia, o filtro de discos possui volume de filtragem, com uma alta eficiência na separação de sólidos, graças ao grande número de capas filtrantes, em comparação com a capa única do filtro de tela (CABELLO, 1996). A água é filtrada ao passar pelos pequenos dutos formados pelas ranhuras entre dois discos consecutivos e a filtragem acontece em dois estágios: a superfície 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. A área total do elemento filtrante e o tamanho dos orifícios determinam a eficiência e a capacidade operacional do sistema (LÓPEZ et al., 1997).

Nos filtros de disco, a vazão, a espessura das ranhuras dos discos e a perda de carga, são as variáveis mais influentes no funcionamento. No caso de águas residuárias, os filtros de disco com malha superior a 120 mesh são mais sensíveis ao entupimento (CÍCERO; PUMO; HAMDY, 1997), exigindo limpezas mais freqüentes e nem sempre operacionalmente possíveis. Keller e Bliesner (1990) relatam valores de perda de carga máxima permitida de 40 kPa para que se proceda a limpeza. Para Testezlaf e Ramos (1995) os filtros de tela devem ser limpos imediatamente após o uso, pois as impurezas agregam-se fortemente à malha do elemento filtrante, dificultando a remoção após uso contínuo. Esse procedimento é menos importante para os filtros de discos.

Como no filtro de tela, o de disco permite escolher o tamanho do orifício de passagem da água e determinar as dimensões dos sólidos cuja passagem pretende impedir (Tabela 4). O grau de filtragem depende do número de ranhuras nos discos (entre 0,42 mm e 0,11 mm) e existem várias cores para diferenciar os discos em função do número de ranhuras (LÓPEZ et al., 1997).

A qualidade da filtragem dependerá da espessura das ranhuras. Pode-se conseguir, segundo o número de ranhuras, até o equivalente a uma tela de 200 mesh. São muito compactos e resistentes admitindo pressões de trabalho até de 1000 kPa e pode reter grande quantidade de sólidos antes de ficar obstruído (CABELLO, 1996).

Tabela 4 - Cores dos discos em função do número de ranhuras

Cor	**Número de ranhuras**	**Mesh**	**Diâmetro (mm)**
Azul	170	40	0,420
Amarelo	340	80	0,177
Vermelho	490	120	0,125
Preto	660	140	0,105

Fonte: López et al. (1997)

2.6 Parâmetros de Projeto

Segundo Zeier e Hills (1987) as seguintes considerações são necessárias para se obter um funcionamento adequado do sistema: a) selecionar um filtro que permita uma boa eficiência

energética para uma dada vazão e para as características de perda de carga; b) localizar corretamente os filtros de areia, de discos ou de tela no sistema para que eles retenham somente partículas inorgânicas. c) selecionar o filtro com capacidade de armazenamento de partículas suficientemente elevado para minimizar as operações de limpeza. Na irrigação localizada os filtros de tela ou os de discos estão geralmente instalados após os filtros de areia e dos injetores de fertilizantes, retendo assim partículas não dissolvidas. Entretanto, esses filtros são ineficazes na retenção de matéria orgânica, microorganismos e partículas finas ou coloidais.

Adin e Alon (1986) construíram um sistema experimental simulando cuidadosamente condições de campo e manipulando parâmetros de campo como concentração de sólidos suspensos, velocidade de filtragem, vazão, diâmetro do mesh. Os mesmos autores explicaram o mecanismo de filtragem em filtros de tela, utilizando a lei de Boucher para definir uma expressão matemática de crescimento exponencial da perda de carga em função do volume filtrado em uma tela de aço. Esta lei assume a forma da seguinte equação:

$$H = H_f \; e^{I\,V} \qquad (1)$$

sendo:

H – perda de carga depois de filtrado um volume V,

H_f – perda de carga no filtro limpo;

I – índice de filtrabilidade (função característica do filtro);

V – volume filtrado.

Embora a maioria das partículas terem sido menores, dentro de uma ordem de magnitude, que o menor diâmetro do mesh da tela, Adin e Alon (1986) verificaram que, mesmo assim, ocorreu entupimento do filtro, indicando que o fenômeno de entupimento é um resultado de mecanismo de ponte[9] e de cimentação das partículas. Verificaram também que o tempo decorrido até o completo entupimento é função da concentração de sólidos suspensos na água, velocidade de filtragem e do diâmetro do mesh da tela.

---

(9) Mecanismo de ponte (bridging) referem-se a ligação de partículas coloidais discretas dentro de um agregado de multi-particulas.

Nakayama; Bucks e Clemmens (1979) afirmam que a filtração em filtros de tela com diâmetro do mesh de um décimo da menor abertura do diâmetro dos gotejadores pode ser usada para prevenir a possibilidade de agrupamento ou ponte de partículas e diminuir a tendência das partículas inorgânicas depositarem nos emissores.

De acordo com Finkel, (1982), os filtros de tela podem ser caracterizados pela relação efetiva da área, que e definida como a relação entre a área total das aberturas e a área total do filtro. Este valor está geralmente compreendido entre 0,25 e 0,40 assumindo geralmente o valor igual a 0,35. Esse autor recomenda que a área de abertura das telas deve ser igual a ¼ da área de abertura dos emissores, e que a área requerida do filtro de tela pode ser calculada empiricamente, pela relação entre a área total das aberturas e a área transversal da tubulação de saída do filtro, devendo esta relação ser igual ou preferencialmente maior que 2 (dois).

Zeier e Hills (1987) afirmam que o diâmetro das partículas de areia presente na água é o fator determinante do entupimento dos filtros de tela, sendo que as partículas de areia fina são as que causam uma queda de pressão mais rápida no sistema, porque bloqueiam diretamente a área dos furos, enquanto as partículas de areia grossa necessitam preencher todo o volume do elemento filtrante para realizar o mesmo efeito.

A necessidade de limpeza dos filtros será sempre determinada pela queda de pressão entre extremos do filtro, ou então por um tempo pré-determinado. A instalação de medidores de pressão na entrada e saída dos filtros não só permite a determinação do momento da limpeza como também são indicadores de condições de funcionamento da tela.

Alguns autores divergem com relação ao momento exato da limpeza dos filtros de tela. Enquanto Keller e Karmeli (1974) afirmam que esta deve ocorrer quando a perda de carga no filtro de tela exceder a 20 kPa (2 m.c.a) em relação à perda de carga do filtro limpo, Zeier e Hills (1987) sugerem que as perdas de carga acima de 39 kPa (3,9 m.c.a) devem ser evitadas, partindo da informação dos fabricantes de que a perda de carga para filtros limpos deve ser de 13,7 kPa (1,37 m.c.a) para manter a integridade física do elemento filtrante. Por outro lado Nakayama e Bucks (1986) recomendam que a limpeza é necessária quando a perda de carga excede a 35 kPa (3,5 m.c.a) nos filtros de tela

De acordo com Airoldi et al. (2003) a automatização do processo de limpeza é mais importante em filtros de tela e disco, pois necessitam de retrolavagens mais rápidas e com mais freqüência em relação aos filtros de areia.

2.7 Perda de Carga

De acordo com Caixeta (1991), o termo perda de carga é usado como sendo parte da energia potencial de pressão e de velocidade que é transformada em outros tipos de energia dissipada no processo, tal como calor.

A eficiência do sistema de irrigação está relacionada à qualidade dos seus componentes e ao correto dimensionamento hidráulico do sistema, principalmente no que se refere aos cálculos de perda de carga. O processo de perda de carga localizada em conexões e peças especiais é bastante complexo, envolvendo variáveis como a sua geometria e o processo de fabricação, o regime de escoamento e a presença de correntes secundárias, entre outras (CABELLO, 1996).

Diversas relações matemáticas têm sido produzidas e utilizadas nos cálculos de perda de carga em tubulações, com maiores ou menores restrições de seu coeficiente por parte dos profissionais da área. No caso das peças especiais, como filtro de tela e de disco, cujas perdas de cargas são denominadas de localizadas, o uso de equações gerais torna-se mais difícil, em virtude de suas próprias características e de fenômenos observados em seu interior quando da passagem do líquido. Segundo Testezlaf e Ramos (1995) o modelo alométrico linear é o que melhor explica o fenômeno físico e que demonstra um valor significativo de correlação entre perda de carga e vazão dos filtros de discos e tela.

A determinação da perda de carga, devido à instalação deste componente no cabeçal de controle, assume um papel importante no que se refere ao dimensionamento hidráulico do sistema. Nesse aspecto, duas informações são relativamente importantes: a perda de carga provocada pela instalação do filtro e pela passagem do fluxo de água através do elemento filtrante no processo de filtragem. Enquanto a primeira informação permitiria um melhor dimensionamento do cabeçal de controle, a segunda possibilita um cálculo mais rigoroso da pressão no início da linha de derivação.

2.8 Material e métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório de Irrigação do Departamento de Engenharia Rural, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – ESALQ/USP, Campus de Piracicaba – SP. Foram analisadas as perdas de carga, em função da vazão circulante, em filtros de tela e de disco empregados em irrigação localizada, utilizando-se água limpa.

2.8.1 Modelos de filtros analisados

Neste estudo foram utilizados filtros de tela e de disco, fabricados pela AMIAD, conforme as características apresentadas na Tabela 5. Para cada modelo de filtro foram analisadas duas unidades.

Para a determinação da perda em laboratório foram utilizados: medidor de vazão magnético indutivo, com precisão de 1%, manômetro diferencial com coluna de mercúrio e registros, conforme o esquema experimental mostrado na Figura 3. A perda de carga nos filtros, registrada pelo manômetro diferencial, foi obtida para um conjunto de, no mínimo, 28 valores de vazão, para o filtro de malha de3/4" e, no máximo, 61 valores de vazão para o filtro de disco de 1". A vazão máxima utilizada no ensaio, para cada modelo de filtro, foi a recomendada pelo fabricante, conforme se apresenta na Tabela 5.

Tabela 5 – Características de fabricação dos filtros utilizados no experimento

Modelo	Nº de mesh	Vazão máxima recomendada ($m^3 h^{-1}$)	Diâmetro de entrada/saída (mm)	Perda de carga especificada (mca)
Tela ¾"	120	3	20	2,638
Tela 1"	120	7	25	5,487
Tela 1 ½"	120	15	40	3,719
Tela 2"	120	25	50	2,479
Disco 1"	120	7	25	8,264
Disco 1 ½"	120	15	40	6,074
Disco 2"	120	25	50	3,439

Fonte: AMIAD (2005)

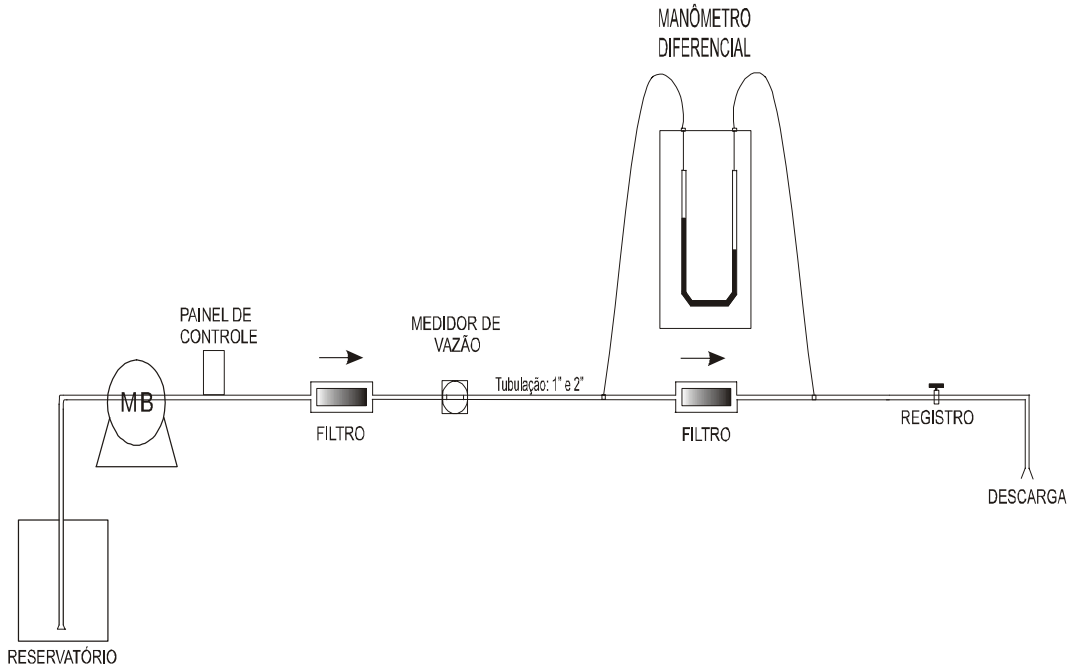

Figura 3 – Esquema da bancada experimental

2.8.2 Modelo matemático

Definiu-se um modelo matemático não linear para descrever a variação da perda de carga nos filtros em função da vazão circulante, conforme expresso pela eq. (2).

$$H_f = \beta_0 \, Q^{\beta_1} \, \varepsilon \qquad (2)$$

sendo:

H_f– perda de carga no filtro, em mca;

Q – vazão que escoa através do filtro, em $m^3 \, h^{-1}$;

β_0 - constante que expressa a perda de carga para a vazão unitária, em mca;

β_1 - constante característica do regime de fluxo, adimensional;

ε - erro aleatório.

O modelo potencial, expresso pela eq. (2), é chamado de intrinsecamente linear, uma vez que pode ser linearizado por uma transformação logarítmica, conforme eq. (3).

$$\ln H_f = \ln \beta_0 + \beta_1 \ln Q + \ln \varepsilon \tag{3}$$

sendo ln o operador do logaritmo natural. Essa transformação requer que os termos transformados do erro $\ln \varepsilon$ sejam normal e independentemente distribuídos com média 0 e variância σ^2. Dessa forma, o modelo linear se transforma em linear, conforme eq. (4), e a análise estatística pode ser realizada sob os princípios da regressão linear.

$$Y = \beta + \beta_1 X + \phi \tag{4}$$

sendo Y = ln H_f, $\beta = \ln \beta_0$, X = ln Q e $\phi = \ln \varepsilon$.

O método dos mínimos quadrados foi utilizado para estimar os parâmetros β, β_0 e β_1, de forma que estimadores desses parâmetro é dado pelas eq. (5) (6) e (7).

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i Y_i - \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i \sum_{i=1}^{n} Y_i}{n}}{\sum_{i=1}^{n} X_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} X_i\right)^2}{n}} \tag{5}$$

sendo n o número de pares de pontos vazão-perda de carga, e

$$\hat{\beta} = \overline{Y} - \beta_1 \overline{X} \tag{6}$$

$$\hat{\beta}_0 = \text{ant}(\ln \hat{\beta}) = e^{\hat{\beta}} \tag{7}$$

sendo <u>e</u> a base dos logaritmos naturais.

2.8.3 Análise de variância da regressão

Para determinar a existência de relação significativa entre a variável dependente (H_f) e a variável explicativa, ou independente (Q), foram formuladas as seguintes hipóteses:

H_0: $\beta_1 = 0$ (não existe relação potencial entre H_f e Q)

H_1: $\beta_1 \neq 0$ (existe relação potencial entre H_f e Q)

A hipótese nula (H_0) foi testada com a estatística F, ao nível de significância de 1%, conforme se indica na Tabela 6. O teste F é utilizado para testar razão entre duas variâncias. Quando se testa a significância da regressão, a medida do erro aleatório é chamada variância do erro, de modo que o teste F é a fração da variância decorrente da regressão dividida pela variância do erro: Assim define-se: a estatística F é igual ao quadrado médio devido à regressão (QM_{reg}) dividido pelo quadrado médio devido à variação residual (QM_{res}):

Tabela 6 – Análise de variância para testar a significância da regressão

Fontes de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade (GL)	Quadrado médio	F
Regressão	$SQ_R=\hat{\beta}_1 S_{xy}$	1	$QM_R=SQ_R/GL$	QM_R/QM_E
Erro	$SQ_E=SQ_T-\hat{\beta}_1 S_{xy}$	n-2	$QM_E=SQ_E/GL$	
Total	$SQ_T=SQ_R+SQ_E$	n-1		

Sendo: S_{xy} é o numerador da eq. (4).

A regra de decisão é a seguinte: rejeita-se H_0 no nível de significância especificado α (1%), se $F > F_{critico}$, caso contrário não se rejeita H_0.

O coeficiente de determinação (R^2) é igual à soma dos quadrados devidos à regressão, dividida pela soma total dos quadrados. O coeficiente de determinação mede a proporção da variação que é explicada pela variável independente no modelo de regressão. Alguns estatísticos sugerem que seja calculado um R^2 ajustado para refletir tanto o número de variáveis explicativas no modelo quanto o tamanho da amostra. O R^2 ajustado é definido pela eq. (8):

$$R^2_{ajust} = 1 - \left[\left(1 - R^2\right) \frac{n-1}{n-2} \right] \tag{8}$$

Embora o método dos mínimos quadrados resulte em uma linha que se ajusta aos dados com a quantidade mínima de variação, a equação de regressão não é um método perfeito de previsão, a menos que todos os pontos de dados estejam exatamente na linha de regressão. Esta linha serve somente para uma previsão aproximada de um valor H_f para um dado valor de Q. Para tanto se usou o erro padrão da estimativa, que representa uma medida de variabilidade em torno da linha de regressão, como uma estatística para mensurar a variabilidade dos reais valores de H_f, através dos valores previstos de H_f. Para o caso da análise da perda de carga em função da vazão no filtro, o erro padrão da estimativa dada pelo símbolo $S_{Hf\,Q}$ foi definido pela eq.(9):

$$S_{Hf\,Q} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(H_{f\,i} - \hat{H}_{f_i}\right)^2}{n-2}} \tag{9}$$

O erro padrão da estimativa é medido em unidades da variável dependente (m.c.a). A interpretação do erro padrão do ajuste, então, é análogo àquela do desvio padrão.

Para a estimativa do intervalo de confiança para os coeficientes da regressão utilizou-se a estatística t ao nível de 5% de probabilidade. Essa estatística é obtida dividindo-se o valor do coeficiente da regressão pelo erro padrão. Daí calcularam-se os intervalos de confiança para os parâmetros do modelo. Assim, diz-se que os verdadeiros valores de $\hat{\beta}_0$, $\hat{\beta}_1$ estarão no intervalo especificado com 95% de confiança.

2.8.4 Seleção econômica dos filtros

Assumiu-se que a energia consumida é o único componente do custo variável alterado em função do número de unidades filtrantes. Já o custo fixo anual inclui o valor da depreciação das unidades filtrantes e da remuneração do capital nele investido e é independente do tempo anual de operação do sistema de irrigação.

Determinou-se uma bateria de filtros com base na minimização do custo anual total. Os parâmetros para avaliação econômica do desempenho dos filtros de tela e de disco dependem da vazão do projeto, da perda de carga máxima permitida no filtro, da vazão máxima que atravessa o filtro, do número de unidades filtrantes.

Para o estudo foram fixadas perdas de carga máximas permitidas nos filtro limpos iguais a 1,5 e 2,0 m.c.a. e treze vazões de projeto: 30 m^3/h, 35 m^3/h, 40 m^3/h, 45 m^3/h, 50 m^3/h, 55 m^3/h, 60 m^3/h, 65 m^3/h, 70 m^3/h, 75 m^3/h, 80 m^3/h, 85 m^3/h e 90 m^3/h. Com a equação perda de carga do filtro calculou-se a vazão máxima a passar por um filtro [eq. (10)]:

$$Q_{máx} = \left(\frac{H_f}{\beta_0}\right)^{\frac{1}{\beta_1}} \tag{10}$$

sendo:

$Q_{máx}$ – vazão máxima (m^3/h);

H_f – perda de carga (m.c.a.);

β_0 e β_1 - coeficientes da equação vazão-perda de caga do filtro.

O número de filtros necessários na estação de controle para passar a vazão de projeto foi calculado dividindo-se a vazão de projeto pela vazão máxima permitida [eq. (11)]:

$$N = \frac{Q_p}{Q_{máx}} \tag{11}$$

sendo:

N – número de filtros (unid.);

Q_p – vazão de projeto(m^3/h).

A vazão corrigida para cada filtro (Q_c, em m^3/h) foi calculada dividindo-se a vazão de projeto pelo número de filtros [eq. (12)]:

$$Q_c = \frac{Q_p}{N} \tag{12}$$

Com a vazão corrigida determinou-se a perda de carga corrigida (Hf_c), utilizando-se a equação de perda de carga de cada filtro, conforme eq. (13):

$$Hf_c = \beta_0 \, Q_c^{\beta_1} \tag{13}$$

O custo da energia gasta em perda de carga foi calculado pela eq. (14).

$$CAHf = \frac{Q_p . Hf_c}{75 \, . \, \eta} P_{cv\,h} . NH \tag{14}$$

sendo:

$CAHf$ – custo anual da perda de carga (R$);

η – eficiência da motobomba, em decimais (η = 0,60);

$P_{cv\,h}$ – preço do cv hora (R$ =0,25);

NH – número de horas de funcionamento por ano (1.500 h).

O custo fixo anual da bateria de filtros foi calculado pela eq. (15):

$$CFA = N . PF . FRC \tag{15}$$

sendo:

CFA – custo fixo anual da bateria de filtros (R$);

PF – preço unitário do filtro (R$);

FRC – fator de recuperação do capital, em decimais (FRC = 0,1770).

Calculou-se o fator de recuperação de capital, a juros de 12% ao ano, pela eq. (16):

$$FRC = \frac{j(j+1)^{Vu}}{(j+1)^n \quad 1} \tag{16}$$

sendo:

j – taxa anual de juros (12%)

Vu – vida útil dos filtros (10 anos)

O custo anual total foi calculado como sendo a soma do custo anual da energia (custo variável anual) com o custo fixo anual da bateria de filtros [eq. (17)]:

$$CAT = CAHf + CFA \tag{17}$$

sendo:

CAT. – custo anual total (R$);

CAH_f – custo anual da energia, custo variável (R$);

CFA – custo fixo anual da bateria de filtros (R$).

Para selecionar a bateria de filtros de custo mínimo, arbitrou-se um máximo de oito unidades em cada bateria, como critério técnico para facilitar as operações de limpeza.

2.9 Resultados e discussão

2.9.1 Filtros de tela

Nas Figuras 4, 5, 6 e 7 estão apresentadas as curvas de perda de carga em função da vazão, obtidas nos ensaios em laboratório e informada no catálogo do fabricante (AMIAD, 2004), para os filtros de tela de 3/4”, 1”, 1 ½” e 2”. Também são apresentadas curvas que definem o intervalo de predição ao nível de 5% de probabilidade (linhas tracejadas). Para todos os filtros analisados em laboratório observam-se altos valores dos coeficientes de determinação, indicando uma forte relação potencial entre as variáveis vazão e perda de carga, conforme foi obtido por Testezlaf e Ramos (1995). Por exemplo, para o filtro de tela de 3/4" obteve-se R^2 = 0,9992, indicando que 99,92% das variações na perda de carga podem ser explicadas pela variabilidade na vazão. Isto também significa que a utilização do modelo de regressão potencial reduziu a variabilidade na previsão da perda de carga em 99,92%. Somente 0,08% da variabilidade da perda de carga pode ser explicada por fatores ao acaso.

Como se observa na Figura 4, as informações do fabricante para perda de carga no filtro de tela de 3/4” são muito diferentes das obtidas nos ensaios em laboratório. Já para os demais filtros os valores estão relativamente próximos, afastando-se à medida que aumenta a vazão além da metade da vazão máxima recomendada pelo fabricante, exceto para o filtro de 1”, cujos valores informados em catálogo são muito próximos dos valores medidos.

Nas Tabelas 7, 8, 9 e 10 apresentam-se as análises de variância da regressão para os filtros de tela de 3/4", 1”, 1 ½” e 2”. Para todos os casos pode-se rejeitar a hipótese de que não existe relação potencial entre Hf e Q, ao nível de 5% de significância, e concluir que a variável explicativa Q está relacionada à perda de carga pelo modelo potencial utilizado.

Nas Tabelas 11, 12, 13 e 14 apresentam-se os valores dos parâmetros do modelo de regressão (β_0 e β_1) e seus limites de confiança, a 95% de probabilidades. Assim, por exemplo, para o filtro de tela de 3/4", diz-se que o verdadeiro valor de β_0 é estimado com 95% de confiança como estando entre 0,64436 e 0,67382, e os valores de β_1 entre 1,96371 e 2,01148.

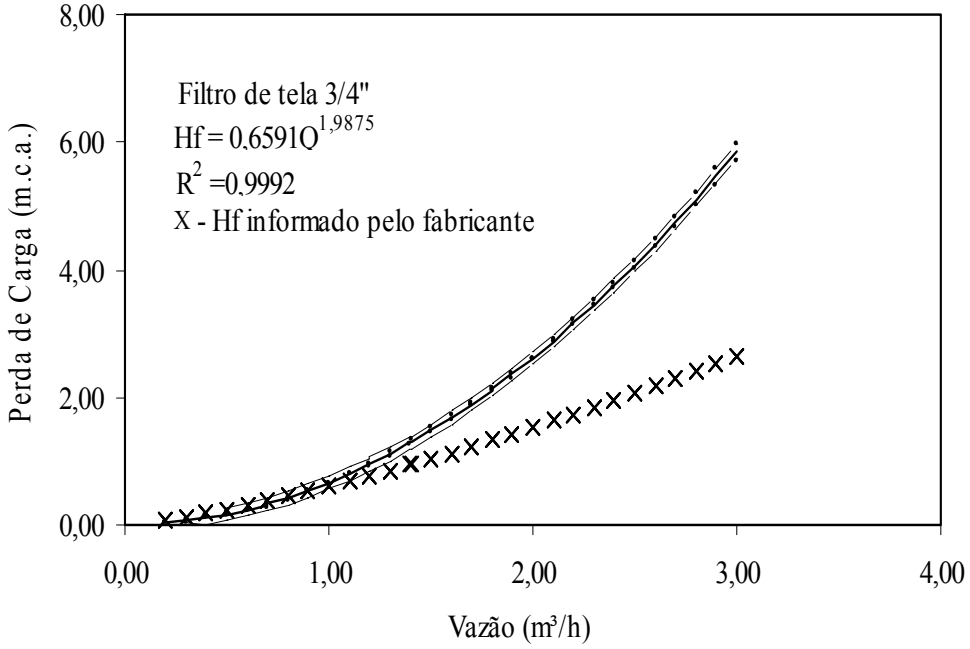

Figura 4 - Perda de carga em função da vazão para o filtro de tela de 3/4"

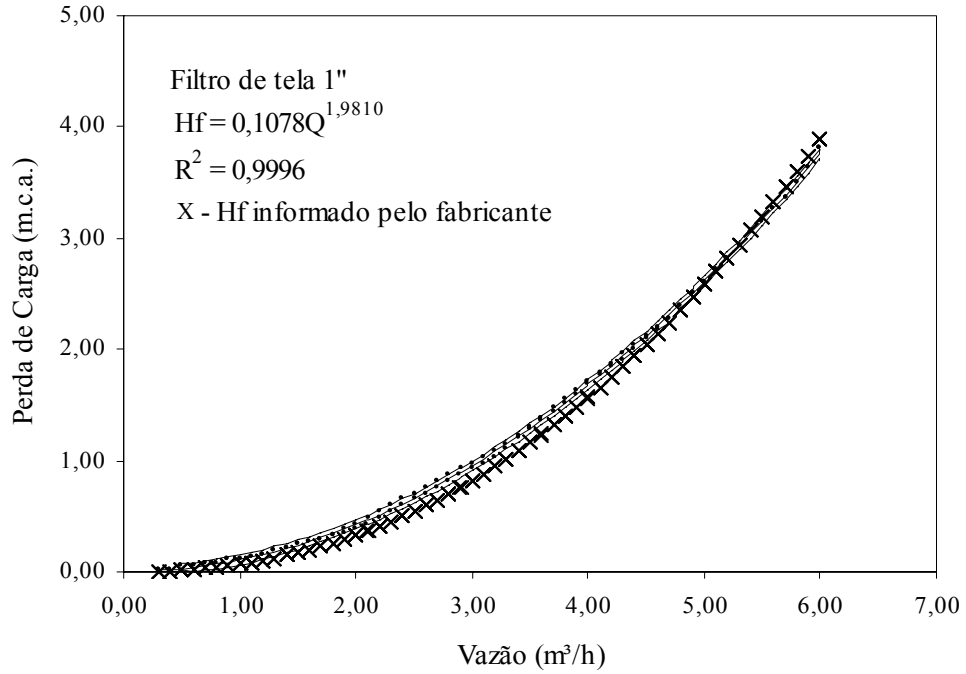

Figura 5 - Perda de carga em função da vazão para o filtro de tela de 1”

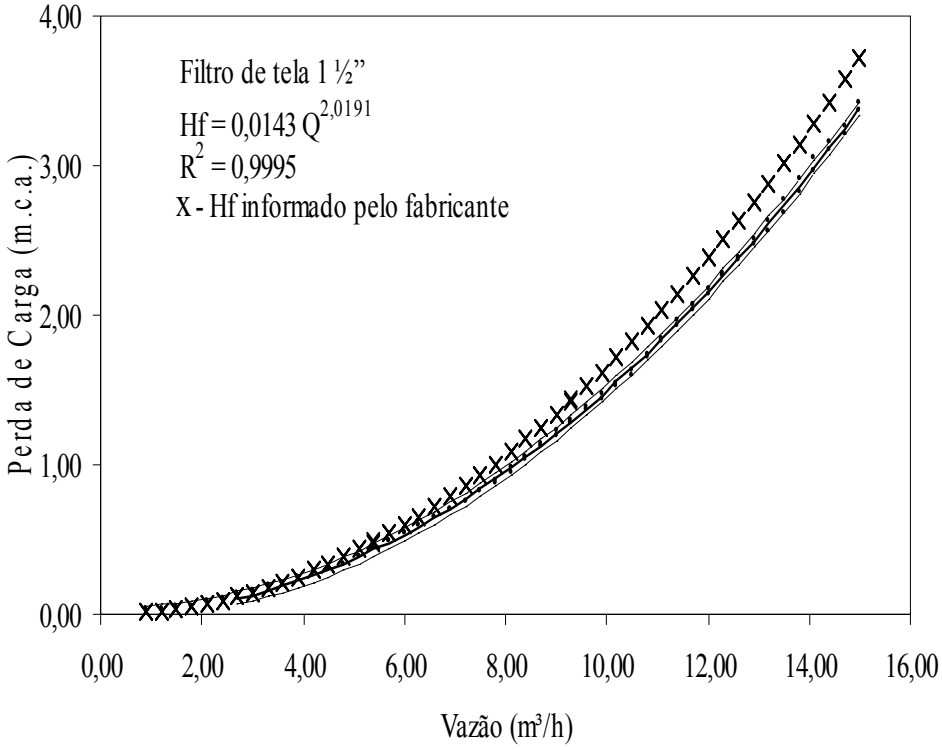

Figura 6 - Perda de carga em função da vazão para o filtro de tela de 1 ½”

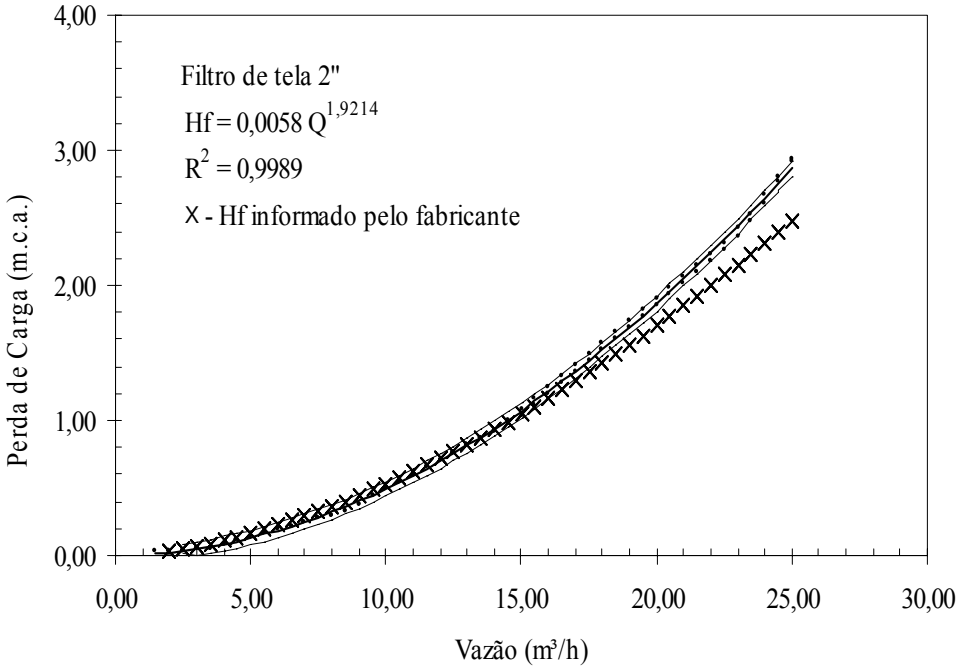

Figura 7 - Perda de carga em função da vazão para o filtro de tela de 2”

Tabela 7 - Análise de variância para a significância da regressão, para filtro de tela 3/4”

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F	$F_{crítico}$ (α = 1%)
Regressão	185,51256	1	185,51256	70200,3	7,01
Erro	0,14384	56	0,00257		
Total	185,65640	57			

Tabela 8 - Análise de variância para a significância da regressão, para filtro de tela 1”

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F	$F_{crítico}$ (α = 1%)
Regressão	147,55965	1	147,55965	311250	6,84
Erro	0,0540459	114	0,00047		
Total	147,6137	115			

Tabela 9 - Análise de variância para a significância da regressão, para filtro de tela 1 ½”

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F	$F_{crítico}$ (α = 1%)
Regressão	98,96866	1	98,96866	203379	6,73
Erro	0,04574	94	0,00048		
Total	99,01441	95			

Tabela 10 - Análise de variância para a significância da regressão, para o filtro de tela 2”

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F	$F_{crítico}$ (α = 1%)
Regressão	70,59213	1	70,59213	91856,6	6,72
Erro	0,07147	93	0,00077		
Total	70,66360	94			

Tabela 11 - Intervalos de confiança para parâmetros da regressão, para o filtro de tela 3/4"

Coeficientes	Valor	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%
β_0	0,65908	0,00735	89,62425	0,64436 ↔ 0,67382
β_1	1,98759	0,01192	166,67734	1,96371 ↔ 2,01148

Tabela 12 - Intervalos de confiança para parâmetros da regressão, para o filtro de tela 1”

Coeficientes	Valor	Erro Padrão	Valor - t	Intervalos de Confiança 95%
β_0	0,10787	0,00099	108,21713	0,10589 ↔ 0,10984
β_1	1,98101	0,00573	345,41117	1,96965 ↔ 1,99237

Tabela 13 - Intervalos de confiança para parâmetros da regressão, para o filtro de tela 1 ½”

Coeficientes	Valor	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%
β_0	0,01428	0,00026	54,99162	0,01376 ↔ 0,01479
β_1	2,01905	0,00719	280,60134	2,00476 ↔ 2,03333

Tabela 14 - Intervalos de confiança para parâmetros da regressão, para o filtro de tela 2”

Coeficientes	Valor	Erro Padrão	Valor - t	Intervalos de Confiança 95%
β_0	0,00589	0,00018	32,74732	0,00554 ↔ 0,00625
β_1	1,92142	0,01008	190,60651	1,90141 ↔ 1,94144

2.9.2 Filtros de discos

As curvas de perda de carga em função da vazão, para filtros de disco de 1”, 1 ½” e 2”,, obtidas em laboratório e do catálogo do fabricante (AMIAD, 2004) estão apresentadas nas Figuras 8, 9 e 10. Também são apresentadas as curvas que definem o intervalo de predição ao nível de 5% de probabilidade (linhas tracejadas). Para todos os filtros analisados em laboratório

observaram-se altos valores dos coeficientes de determinação, indicando uma forte relação entre as variáveis vazão e perda de carga, considerando o modelo potencial utilizado, confirmando a afirmação de Testezlaf e ramos (1995). Por exemplo, para o filtro de disco 1" obteve-se R^2 = 0,9982, indicando que 99,82% das variações na perda de carga podem ser explicadas pela variabilidade na vazão. Isto significa que a utilização do modelo de regressão potencial reduziu a variabilidade na previsão da perda de carga em 99,82%. Somente 0,18% deve-se aos fatores ao acaso. De acordo com os valores obtidos, verifica-se que os filtros de disco proporcionam maior perda de carga que os filtros de tela. Isso se deve ao fato de a largura efetiva do elemento filtrante nos filtros de discos ser maior do que a dos filtros de tela, isto é, a espessura da parede do elemento filtrante de disco ser maior que a do elemento filtrante da tela, conforme salientam Testezlaf e Ramos (1995). Ainda se pode inferir que os orifícios dos discos podem ser comparados a tubos capilares de diâmetro igual ao diâmetro do mesh e, no caso do elemento filtrante de tela, a vazão passa através do orifício do mesh, produzindo menor perda de carga.

Observando a Figura 9, verifica-se que as informações do fabricante para perda de carga no filtro de disco 1 ½" diferem um pouco das obtidas em ensaios em laboratório. Para o filtro de 2" (Figura 11) os valores estão relativamente mais próximos; já para o filtro de 1" (Figura 8), os valores de catálogo são muito próximos dos valores obtidos nos ensaios de laboratório.

Nas Tabelas 15, 16 e 17 apresentam-se as análises de variância da regressão para os filtros de disco de 1", 1 ½" e 2". Para todos os casos pode-se rejeitar a hipótese de que não existe relação potencial entre Hf e Q, ao nível de 5% de significância, e concluir que a variável Q está relacionada à perda de carga pelo modelo potencial utilizado.

Nas Tabelas 18, 19 e 20 apresentam-se os valores dos parâmetros do modelo de regressão (β_0 e β_1) e seus limites de confiança, a 95% de probabilidades. Assim, por exemplo, para o filtro de disco de 1", diz-se que o verdadeiro valor de β_0 é estimado com 95% de confiança como estando entre 0,154578 e 0,167439, e os valores de β_1 entre 1,913615 e 1,963283.

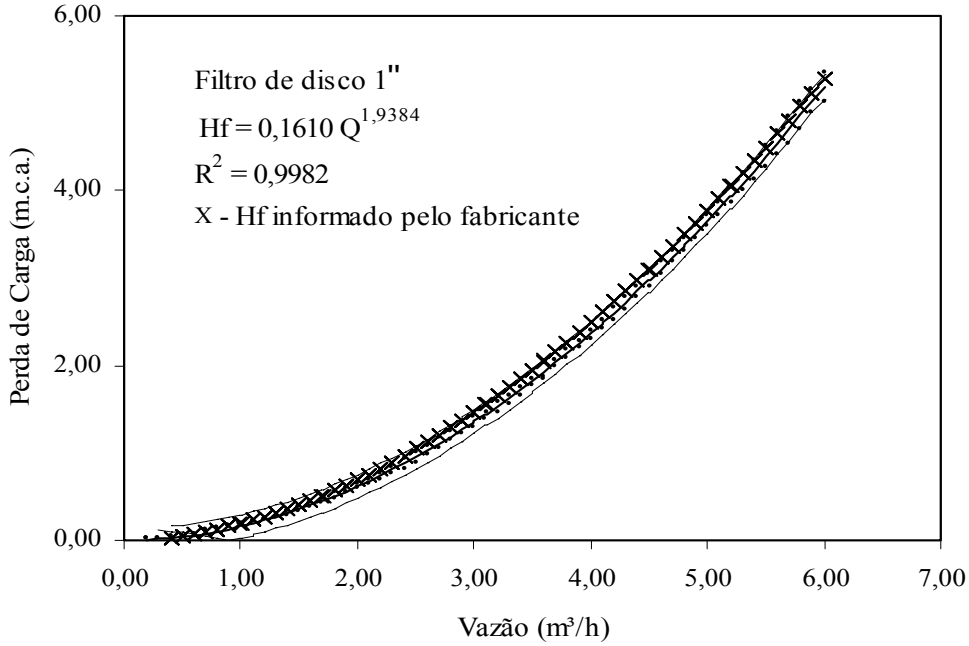

Figura 8 - Perda de carga em função da vazão para o filtro de discos de 1”

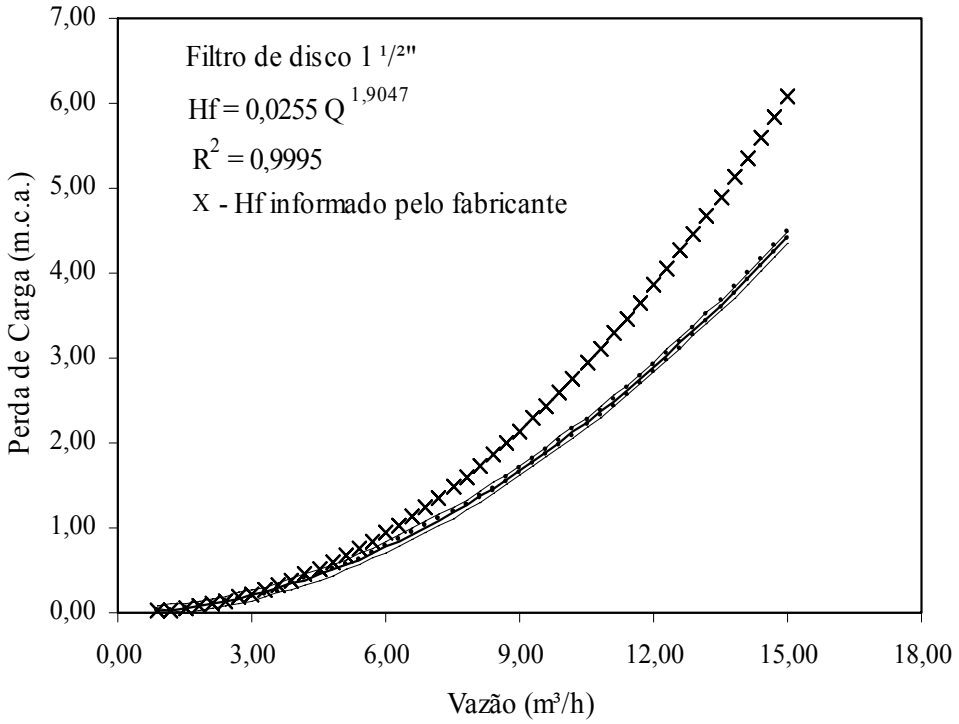

Figura 9 - Perda de carga em função da vazão para o filtro de discos de 1 ½”

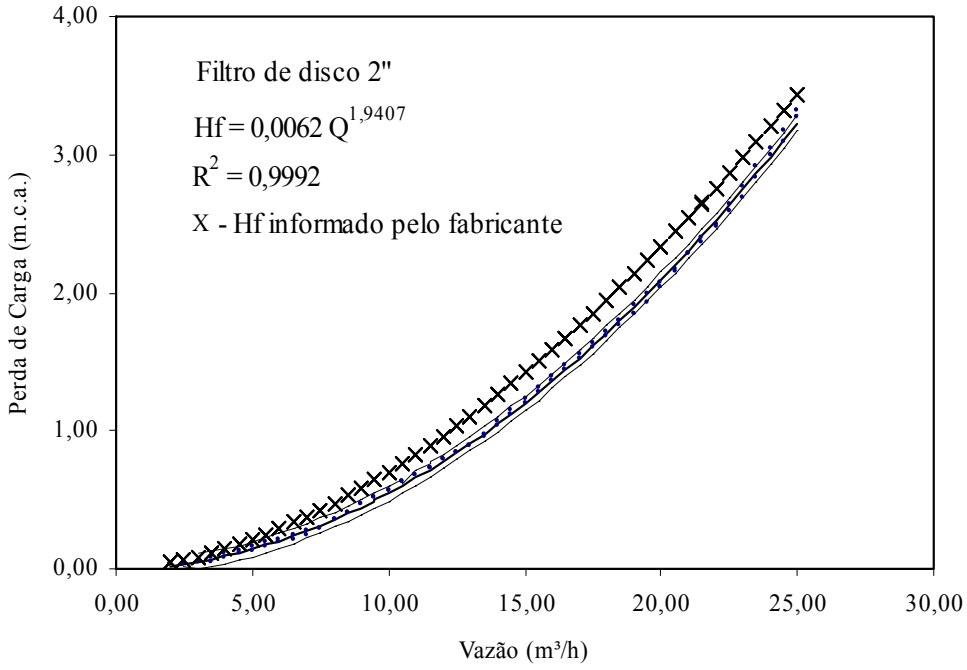

Figura 10 - Perda de carga em função da vazão para o filtro de discos de 2”

Tabela 15 - Análise de variância para a significância da regressão, para o filtro de discos 1”

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F	$F_{crítico}$ (α = 1%)
Regressão	289,06085	1	289,06085	63345	6,86
Erro	0,52934	116	0,00456		
Total	289,59019	117			

Tabela 16 - Análise de variância para a significância da regressão, para filtro de discos 1 ½”

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F	$F_{crítico}$ (α = 1%)
Regressão	170,89094	1	170,89094	178170,5	6,94
Erro	0,09012	94	0,00096		
Total	170,98110	95			

Tabela 17 - Análise de variância para a significância da regressão, para filtro de discos 2”

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F	$F_{crítico}$ (α = 1%)
Regressão	87,94781	1	87,94781	122113	6,95
Erro	0,06626	92	0,00072		
Total	88,01407	93			

Tabela 18 - Intervalos de confiança para parâmetros da regressão, para o filtro de discos 1”

Coeficientes	Valor	Erro Padrão	Valor - t	Intervalos de Confiança 95%
β_0	0,16101	0,00345	49,59274	0,15458 ↔ 0,16744
β_1	1,93845	0,01254	154,60382	1,91361 ↔ 1,96328

Tabela 19 - Intervalos de confiança para parâmetros da regressão, para o filtro de discos 1 ½”

Coeficientes	Valor	Erro Padrão	Valor - t	Intervalos de Confiança 95%
β_0	0,02547	0,00046	55,08683	0,02455 ↔ 0,02639
β_1	1,90468	0,00721	264,26364	1,89037 ↔ 1,91899

Tabela 20 - Intervalos de confiança para parâmetros da regressão, para o filtro de discos 2”

Coeficientes	Valor	Erro Padrão	Valor - t	Intervalos de Confiança 95%
β_0	0,00625	0,00016	37,67817	0,00592 ↔ 0,00658
β_1	1,94075	0,00876	221,62562	1,92336 ↔ 1,95814

2.9.3 Seleção econômica de filtros

Nas Tabelas 21 e 22 apresentam-se os resultados dos cálculos para seleção de baterias de filtros de tela e disco de mínimo custo anual total, considerando valores máximos de perda de carga (Hf_p) de 1,5 m.c.a e 2,0 m.c.a, para vazões de 30 m^3/h a 90 m^3/h.

Para os filtros de tela, com as vazões e as perdas de cargas analisadas, verifica-se que há predominância na utilização de filtros de 2" (84,6% dos casos para perda de carga de 1,5 m.c.a e 100% para perda de carga de 2,0 m.c.a). Os filtros de 1 ½" só apresentaram custo mínimo anual total para 15,4% das vazões analisadas. Para vazões de 30 m^3/h até 90 m^3/h e perdas de carga de 1,5 m.c.e 2,0 m.c.a, o número de filtros de tela de 2" cresceu de 2 unidades a 5 unidades por bateria filtrante e o custo mínimo variou de R$ 322,50 a R$ 932,00. Para perda de carga máxima permitida de 1,5 m.c.a, embora se tenha recomendado filtros de 1 ½" para algumas vazões, o custo mínimo anual total também variou de R$ 322,50 a R$ 932,00, não apresentando grandes diferenças em relação ao custo mínimo para uma perda de carga de 1,5 m.c.a nas vazões intermediárias a esses dois limites.

Os filtros de discos apresentam maior custo fixo anual e proporcionam maior perda de carga que os filtros de tela e, conseqüentemente, maior custo anual total (Tabela 21). Por exemplo, para uma vazão de projeto de 90 m^3/h e perda de carga máxima permitida de 2 m.c.a, serão necessárias cinco unidade de filtros de tela de 2" (custo mínimo anual total de R$ 932,00) ou cinco unidade de filtros de discos de 2" (custo mínimo anual total de R$1186,00). Neste caso, o acréscimo no custo mínimo anual total foi de 26,7%. Para as vazões de 30 m^3/h a 90 m^3/h e perda de carga máxima permitida de 2,0 m.c.a., o acréscimo no custo mínimo anual para os filtros de 2" foi, em média, 27,8% com coeficiente de variação de 7,2%. Para a perda de carga máxima permitida de 1,5 m.c.a, o acréscimo no custo mínimo anual com o uso dos filtros de discos foi, em média, 28,7% com coeficiente de variação de 12,4%.

Tabela 21 – Unidades econômicas dimensionadas para o sistema com filtros de tela

Vazão de projeto (m³/h)	Perda de carga no filtro (Hf_p), m.c.a.			
	Hfp ≤ 1,5 m.c.a.	Hfp ≤ 2,0 m.c.a.	Hfp ≤ 1,5 m.c.a.	Hfp ≤ 2,0 m.c.a.
	Nº de filtros por bateria		Custo mínimo (R$)	
30	2 unid. 2”	2 unid. 2”	322,50	322,50
35	2 unid. 2”	2 unid. 2”	364,50	364,50
40	4 unid. 1 ½”	2 unid. 2”	447,00	420,00
45	3 unid. 2”	3 unid. 2”	483,00	486,00
50	3 unid. 2”	3 unid. 2”	523,50	523,00
55	6 unid. 1 ½”	3 unid. 2”	622,50	572,50
60	4 unid. 2”	3 unid. 2”	648,50	630,00
65	4 unid. 2”	4 unid. 2”	683,50	684,00
70	4 unid. 2”	4 unid. 2”	729,00	730,50
75	5 unid. 2”	4 unid. 2”	810,50	782,00
80	5 unid. 2”	4 unid. 2”	841,50	840,00
85	5 unid. 2”	5 unid. 2”	887,00	887,00
90	5 unid. 2”	5 unid. 2”	932,00	932,00

Tabela 22 – Unidades econômicas dimensionadas para o sistema com filtros de discos

Vazão de projeto (m³/h)	Perda de carga no filtro (Hf_p), m.c.a.			
	Hfp ≤ 1,5 m.c.a.	Hfp ≤ 2,0 m.c.a.	Hfp ≤ 1,5 m.c.a.	Hfp ≤ 2,0 m.c.a.
	Nº de filtros por bateria		Custo mínimo (R$)	
30	2 unid. 2”	2 unid. 2”	416,50	416,50
35	2 unid. 2”	2 unid. 2”	462,50	463,00
40	5 unid. $1^1/_2$”	5 unid. 1 ½”	557,50	557,50
45	3 unid. 2”	5 unid. 1 ½”	624,00	607,50
50	3 unid. 2”	3 unid. 2”	668,00	668,00
55	7 unid. 1 ½”	3 unid. 2”	772,50	722,00
60	4 unid. 2”	7 unid. 1 ½”	832,00	815,50
65	4 unid. 2”	4 unid. 2”	876,00	876,00
70	5 unid. 2”	4 unid. 2”	1000,50	924,50
75	5 unid. 2”	5 unid. 2”	1040,00	983,00
80	5 unid. 2”	5 unid. 2”	1082,00	1082,00
85	5 unid. 2”	5 unid. 2”	1127,00	1131,00
90	6 unid. 2”	5 unid. 2”	1248,50	1186,00

3 CONCLUSÕES

Considerando as condições em que o estudo foi realizado e com base nos resultados obtidos, conclui-se que:

- O modelo matemático potencial descreve adequadamente a variação da perda de carga nos filtros de tela e discos em função da variação da vazão.

- Os filtros de tela proporcionam menor perda de carga que os filtros de discos.

- A filtragem da água com filtros de discos apresenta maior custo anual total.

- Para os limites de vazão estudados (30 m^3/h a 90 m^3/h) e para as perdas de carga máximas permitidas (1,5 m.c.a e 2,0 m.c.a), nas baterias de filtros de custos mínimo anual total predominou o uso de filtros de 2".

- De forma geral, para os filtros estudados, as curvas de perda de carga em função da vazão apresentadas no catálogo do fabricante não representaram adequadamente as curvas obtidas nesse trabalho em ensaio de laboratório.

REFERÊNCIAS

ABBOTT, J.S. La obstruccion de los emisores de goteo, Sus causas y medidas preventivas**.** Traducción de Ortiz, F. y Urrutia y J.A, 1985. **Riegos y Drenajes**, Madrid, España. v.3, n.12, p.23-32, 1987.

ADIN, A.; ALON, G. Mechanisms and process parameter of filter screens. **Journal of Irrigation and drainage division ASCE**. Ann Arbot, v.112 n.4, p.293-304, 1986.

ADIN, A.; ELIMELECH, M. Particle Filtration for Wastewater Irrigation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering.** New York**,** v.115, p.474-87, 1989.

AMIAD D.N. CHEVEL KORAZIM **Sistemas de filtrado y fertigación**. Israel; 2004. 1v. (Catálogo de filtros).

AIROLDI, R.P.R. **Eficiência dos meios filtrantes disco e manta sintética não tecida em fertirrigação por gotejamento.** Campinas, 2003. 189p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas 2003.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **Calidad del agua para la agricultura.** FAO. Roma. 1976. 1v.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação.** 6.ed. Viçosa: UFV, 1995. 657p.

BOLLMANN, H.A. **Aplicação da filtração lenta na remoção de substâncias contidas em águas superficiais.** 1987. 187p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, 1987.

BRALTS, V.F. Operational principles: Fields performance and e evaluation. Nakayama, F.S.; Bucks, D.A. (Ed.). In:**Trickle irrigation for crop production.** Amsterdam: Elsevier, 1986.

CABELLO, F.P. **Riegos localizados de alta frecuencia; goteo, microaspersion, exudación.** 3.ed. Madri**:** Mundi-Prensa, 1996. 513p.

CAIXETA, A.V. **Perda de carga em tubos e coneções de PVC utilizados em sistemas portáteis de irrigação localizada.** 1991. 115p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

CARARO, D.C. **Manejo de irrigação por gotejamento para aplicação de água residuária visando a minimização do entupimento de emissores.** 2004. 130p**.** Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

CHRISTIANSEN, J.E.; OLSEN, E.; WILLARDSON, L.S. Irrigation water quality evaluations. **Journal of the Irrigation and Drainage.**, California, v.103, p.155-169, 1977.

CICERO, S.; PUMO, D.; HAMDY, A. Experimental study on drip irrigation With reclaimed waste water. In: CENTRE INTERNATIONAL DE HAUTE ETUDES AGROMIQUEST MEDITTRANEENNES INTERNATIONAL CONFERENCE. 1997. Paris. **Water management, salinity and pollution control towards sustainable irrigation in the Mediterranean Region.** Paris, 1997. p.195-211.

COSTA, E.F.; FRANÇA, G.E.; ALVES, V.M.C. Aplicação de fertilizantes via água de irrigação**.** Curso de uso de manejo de irrigação. **Informe Agropecuário.** Belo Horizonte, v.12, n.129, p.63-69, 1986.

DI BERNARDO, L.; GRAHAN, N.J.D.; PATERNIANI, J.E.S. **Caracterização de mantas sintéticas não tecidas utilizadas na filtração lenta de águas de abastecimento.** CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITÁRIA Y AMBIENTAL, 22. 1990. San Juan, Puerto Rico, 1990. 13p.

DI BERNARDO, L.; GRAHAN, N.J.D.; PATERNIANI, J.E.S. **Investigação experimental sobre desempenho de mantas sintéticas na filtração lenta de águas de abastecimento.** CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITÁRIA Y AMBIENTAL, 22 San Juan, Puerto Rico, 1990b. 18p.

FARRELL, M.D. Filtration: The key to successful microirrigation systems**. Irrigation Journal**, Urbana, Ill. v.39, n.6, p.8-15, 1989.

FINKEL, H. J. **Handbook of irrigation technology.** Boca Raton, Florida: CRC press., 1982. p.287-293.

GHEYI, H.R.; MEDEIROS, J.F.; SOUZA, J.R. **Fertirrigação**: citrus, flores.e hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 1999 cap. 3, p.237-265.

GILBERT, R.G.; FORD, H.W. Operational principles. NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. In: **Tricle irrigation for cap production:** design, operation and manegement. Amsterdan: Elsevier, 1986. chap. 3, p.148-163.

HESPANHOL, I. **Investigação sobre o comportamento e aplicabilidade de filtros lentos do Brasil**. 1969. 163p. Tese (Doutorado em Higiene e Saúde Pública) – Faculdade de Higiene e Saúde Pública – Universidade de São Paulo, 1969.

HOWELL, T.A.; STEVENSON, D.S.; GITLIN, H.M.; H.M.; WU, I-Pai; WARRICK, A.W.; RAATS, P.A.C. DESIGN AND OPERATION OF TRICKLE (DRIP) SYSTEMS, In: JESEN, M.E. (Ed) **design and operation of farm irrigation systems**, St. Joseph:. ASAE, 1983. chap.16, p.663-717.

HUISMAN, L. Research and demonstration project on slow sand filtration. Reprinted for the AIDIS. In: CONGRESS HEALTH IN PANAMÁ. **National Public Healts Journals**. Panamá: S.Ed. 1982. 105p.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters**. American Society of Agricultural Engineers**. St Joseph, MI. v.4, n.17, p.678-684, 1974.

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652p.

LÓPEZ, J.R.; ABREU, J. M.; REGALO, A. P.; HERNANDEZ, J. F. G. **Riego localizado.** 2ed. Madri: Mundi-|Prensa, 1997. 405p.

LOPEZ, T.M. Cabezal de riego. In: LOPEZ, C.C. (Ed.). **Fertirrigacion**: Cultivos horticulas y ornamentales. Madri: Mundi-Prensa, 1998. cap. 6, p.247 – 263.

MBWETTE, T. S. A; GRAHAM, N.J.D. Pilot plant evaluation of fabric protected slow sand filters. In: – **Slow sand filtration recent developments in water treating technology.** London, England: ED. N.J.D. Grahan. 1987. chap. 5, p.46-50.

NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D. A. Emitter clogging effects on trickle irrigation uniformity. **Transactions of the ASAE,** St Joseph, MI, v.24, n.1, p.77-80, 1981.

NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. **Trickle irrigation for crop production: design, operation and management**. Arizona: American Society of Agricultural Engineers, 1986, p.383.

NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A.; CLEMMENS, A. J. Assessing trickle emitter application uniformity. **Transactions of the ASAE,** St Joseph, MI, v.4, n.22, p.816-821, 1979.

PHILLIPS, K.P. **Filtration's role in water quality:** Polishing water for low volume irrigation. Irrigation Journal, Orlando.v.43, n.4, p.8-12, 1993.

PHILLIPS, K.P. Long-Term operation of microirrigation filtration systems; successes, failures and operational solutions. In: INTERNACIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 15., Orlando, 1995. **Microirrigation for a changing world:** conserving resourses/preserving the enveronment. Orlando: ASAE, 1995. p.579-585.

POVINELLI, J., MARTIS, F. Pesquisa sobre a eficiência de filtros lentos em unidades piloto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 7., 1973, Salvador – BA. **Separata.** São Carlos: EESC-USP, 1973.20p.

SCHAWANKL, L., PRICHARD, T. Clogging of buried drip irrigation systems**. Califórnia Agriculture**, Berkeley, Califórnia. v.44, p16-17, 1990.

TESTEZLAF, R.; RAMOS, J.P.S. Sistemas automatizados para determinação de perda de carga em filtros de tela e disco usados na irrigação localizada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v.30, p. 1079-1088, 1995.

THOMPSON, G.T.; KRIDER, T.N. Farm resuources and system selection. In: JENSEN, M. E. **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASAE, 1983. chap.3, p.45-73.

VALENZUELA, M.G.R. **Estudo do desempenho de uma instalação de pré-filtração lenta com mantas para tratamento de águas de abastecimento.** São Carlos, 1991 288p**.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

VARECHE, M.B.A. **Estudo sobre a interferência de algas no sistema de filtração lenta em areia.** 1989. 417p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1989.

VERMEIREM, L.; JOBLING, G.A. Localized irrigation equipment, **Localized irrigation;** design, installation, operation, evaluation. Rome: FAO, 1984. chap.3, p.85–144. (FAO Irrigation an Drainage Paper, 36).

ZEIER K.R.; HILLS, J.D. Tricle irrigation screen filter perfomance as affct by sand size ans concentration. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.30, n.3, p.375-379, 1987.

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo