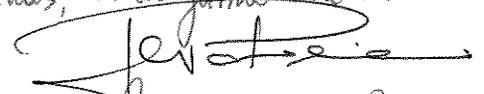


UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE ÁGUA E SOLO

Parecer

Este exemplar corresponde a redação final da dissertação de Mestrado defendida por Rogério Staciarini e aprovada pela Comissão Julgadora em 13 de fevereiro de 1998. Campinas, 17 de junho de 1998.


Presidente da Banca

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO
EXPERIMENTAL DE UM SISTEMA DE FILTRAÇÃO
LENTA COM MANTAS SINTÉTICAS NÃO TECIDAS**

ROGÉRIO STACIARINI

PROFº DR. JOSÉ EUCLIDES STIPP PATERNIANI
Orientador

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, como parte dos requisitos necessários, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, Área de concentração Água e Solo.

Fevereiro de 1998
CAMPINAS
Estado de São Paulo
BRASIL

128 8185

UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	7.11.12a
	St 12a
V.º	Et
LITROS DO	35 098
PREC.º	395/98
	<input checked="" type="checkbox"/>
PREC.º	R\$ 11,00
DATA	16/09/98
N.º OFI	

CM-00115892-7

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

St12a

Staciarini, Rogério

Análise do comportamento experimental de um sistema de filtração lenta com mantas sintéticas não tecidas . / Rogério Staciarini.--Campinas, SP: [s.n.], 1998.

Orientador: José Euclides Stipp Paterniani
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Filtros e filtração. 2. Água – Purificação – Filtração. 3. Filtros de membrana. 4. Água – Qualidade. 5. Saneamento rural. 6. Abastecimento de água no campo. I. Paterniani, José Euclides Stipp. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

" O Brasil espera, que cada um de nós cumpra seu dever, como cidadão, como profissional e, sobretudo, como ser humano."



*A meu avô Zezinho Pantaleão,
A meu primo Ezio,
por me ensinarem tanto, mais que isso, por me fazerem continuar e, pela certeza do
reencontro.*

Também, aos milhões de brasileiros, que lutam incessantemente, buscando a felicidade até mesmo no sofrimento (lembrando a água, que mesmo indefesa e violada, continua chegar até nós, como se nada acontecesse).

Dedico

Agradecimentos

A meus pais, Celina e Nicodemos, fonte de inspiração, de carinho e de saudade.

Ao Júlio e Fernando, irmãos e amigos.

À Karlla, pela admiração dedicada e, pelas lágrimas em cada despedida.

Ao Prof^o. Dr. José Euclides Stipp Paterniani, por ter a sensibilidade em conciliar a técnica ao respeito, mais, por se fazer profissional, orientador e amigo ao mesmo tempo. Por conduzir esse e seu trabalho, com a simplicidade que só possuem os grandes sábios.

À Dr^a. Maria Elisa, pelas primeiras análises estatísticas, que no futuro certamente serão infinitas.

À Prof^a. Dr^a. Gláucia Maria Bovi Ambrosano, pela acolhida e exemplo profissional.

Aos Professores Drs.

Denis Miguel Roston, Durval de Paula Rodrigues e Mauro Andrade Tereso

“No mundo da ciência, muitos tentam ensinar, poucos o fazem sem perceber.”

À toda a comunidade da FEAGRI, pela amizade, respeito, por cada bom dia, por cada sorriso e também, pelas diferenças, ingredientes que combinados, fazem com que nossos dias, aqui, sejam mais intensos.

Aos amigos de Uberaba, por me ensinarem que *“todos os dias quando acordo não tenho mais o tempo que passou, mas temos muito tempo, temos todo o tempo do mundo”*. A todos que fizeram parte dos mágicos tempos de São Bené e da Rua Piauí.

Especialmente, aos célebres amigos (*por ordem cronológica*)

Betinha, Simone, Renata, Eduardo, Dô, Rafael, Cal e Beth, por tudo.

Ao Démerson, pela pessoa que é.

“(...) E vamos viver as coisas novas, que também são boas, o amor rumo a outras praças cheias de pessoas. Agora, eu quero tudo, tudo outra vez.”

À Leila, Ester e aos grandes novos amigos, que têm a idade desse trabalho, Sara, Regina, Teresa, Rose, Maria, Néri, Silvia, Maria José, Efigênia, Badá, Bernadete, Victor, Helena, Fernando, Marquinhos, Jorge Luís, Naylson, Jacqueline, Walter, Zilda, todos vocês.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, pela concessão da bolsa de estudos (Processo n.º 96/1712-7).

Agradeço, sobretudo, a Deus, que é uma coisa que a gente tem dentro da gente e que se junta com o infinito.

SUMÁRIO

	Página
AGRADECIMENTOS	v
SUMÁRIO	vi
LISTA DE SÍMBOLOS	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE QUADROS.....	xii
APRESENTAÇÃO	xiv
RESUMO.....	xv
SUMMARY.....	xvii
<hr/>	
I. INTRODUÇÃO	1
II. OBJETIVOS	3
III. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1. Considerações sobre água.....	4
3.1.1. Distribuição de água na natureza.....	5
3.2. Poluição da água.....	6
3.3. Modernização do setor saneamento.....	7
3.4. A qualidade da água no meio rural.....	11
3.5. Tecnologias adequadas à realidade rural.....	15
3.6. Histórico da filtração lenta.....	19
3.7. Teoria da filtração lenta	21
3.8. Recomendações para o emprego da filtração lenta	23
3.9. Hidráulica da filtração lenta	25
3.10. Pesquisas sobre a filtração lenta e mantas sintéticas não tecidas	28
3.10.1. Utilização de mantas sintéticas não tecidas na pré-filtração.....	30
3.10.2. Remoção de cistos de Cryptosporidium através da filtração lenta.....	31
3.10.3. Uso da filtração lenta para tratamento de efluente secundário	33

3.10.4. Experiência em utilização de Filtração em Múltiplas Etapas (FIMEs) para tratamento de águas com presença de algas	33
3.11. Considerações sobre estatística.....	35
3.11.1. Experimentos inteiramente ao acaso	37
IV. MATERIAL E MÉTODOS.....	38
4.1. Dados experimentais.....	38
4.2. Procedimentos estatísticos.....	40
4.2.1. Forma de análise para um experimento inteiramente ao acaso.....	40
4.2.1.1. Valores médios	41
4.2.1.2. Comparando médias observadas.....	42
4.2.1.3. A análise de variância	43
4.3. Etapas dos procedimentos estatísticos realizados	45
<hr/>	
V. COMPILAÇÃO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS	48
VI. ANÁLISE E DISCUSSÃO.....	68
6.1. Considerações finais	81
VII. CONCLUSÕES	84
VIII. EPÍLOGO	87
IX. BIBLIOGRAFIA.....	88
ANEXOS.....	95

LISTA DE SÍMBOLOS

A = amostra

C = constante baseada no total geral de observações elevado ao quadrado e dividido pelo número de observações

Ccl = concentração média de clorofila a (mg/m^3)

d = diâmetro de grãos esféricos (m)

D = diâmetro das amostras de mantas

de = d10 = tamanho efetivo

ε_0 = porosidade inicial

F = significância do teste

g = aceleração da gravidade (m/s^2)

H_{max} = perda de carga máxima limite (L)

H_0 = perda de carga inicial (m. c. a.)

Ht = perda de carga num tempo t (L)

Kp = coeficiente de permeabilidade ou condutividade hidráulica (m/s)

K = número de tratamentos

L = espessura do leito filtrante (L)

P = concentração média de fósforo total (mg/l)

QMR = quadrado médio do residuo

QMTr = quadrado médio de tratamentos

r = número de repetições

SQR = soma de quadrados do residuo

SQT = soma de quadrados total

SQTr = soma de quadrados dos tratamentos

t = temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

U = coeficiente de desuniformidade

Un = conjunto universo ou população

V = taxa de filtração (L/T)

ν = a viscosidade cinemática (m^2/s)

LISTA DE FIGURAS

Página

FIGURA 1 - Origem da água para consumo humano nas 50 propriedades investigadas.....	14
FIGURA 2 - Processo utilizado para tratamento da água após captação.....	14
FIGURA 3 - Interseção dos fatores fundamentais para o tratamento de águas de abastecimento.....	17
FIGURA 4 - Distribuição de pressão no leito de um filtro.....	27
FIGURA 5 - Representação por diagramas do conjunto universo (U) e amostra (A).....	35
FIGURA 6 - Valores de remoção de turbidez (UT) por diferentes camadas de areia.....	49
FIGURA 7 - Valores de remoção de Cor (UC) por diferentes camadas de areia.....	49
FIGURA 8 - Valores de remoção de ferro e manganês (mg/l) por diferentes camadas de areia.....	50
FIGURA 9 - Valores de remoção de coliformes totais (NMP/100 ml) por diferentes camadas de areia.....	50
FIGURA 10 - Valores de remoção de turbidez para diferentes condições de aplicabilidade de mantas sintéticas não tecidas.....	51
FIGURA 11 - Valores de remoção de cor para diferentes condições de aplicabilidade de mantas sintéticas não tecidas.....	52
FIGURA 12 - Valores de remoção de Fe e Mn para diferentes condições de aplicabilidade de mantas sintéticas não tecidas.....	52
FIGURA 13 - Valores de remoção de coliformes totais para diferentes condições de aplicabilidade de mantas sintéticas não tecidas.....	53
FIGURA 14 - Valores de remoção de turbidez para diferentes condições de aplicação das mantas à taxa de filtração de $9 \text{ m}^3/\text{m}^2$.dia e camada de 30 cm de areia.....	54
FIGURA 15 - Valores de remoção de cor para diferentes condições de aplicação das mantas à taxa de filtração de $9 \text{ m}^3/\text{m}^2$.dia e camada de 30 cm de areia.....	54
FIGURA 16 - Valores de remoção de Fe e Mn para diferentes condições de aplicação das mantas à taxa de filtração de $9 \text{ m}^3/\text{m}^2$.dia e camada de 30 cm de areia.....	55

FIGURA 17 - Valores de remoção de coliformes totais para diferentes condições de aplicação das mantas à taxa de filtração de $9 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ e camada de 30 cm de areia	55
FIGURA 18 - Valores de remoção de turbidez para diferentes condições de aplicação das mantas à taxa de filtração $12 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ e 30 cm de camada de areia.	56
FIGURA 19 - Valores de remoção de cor para diferentes condições de aplicação das mantas à taxa de filtração $12 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ e 30 cm de camada de areia.....	57
FIGURA 20 - Valores de remoção de Fe e Mn para diferentes condições de aplicação das mantas à taxa de filtração $12 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ e 30 cm de camada de areia.	57
FIGURA 21 - Valores de remoção de coliformes totais para diferentes condições de aplicação das mantas à taxa de filtração $12 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ e 30 cm de camada de areia.....	58
FIGURA 22 - Remoção de turbidez por diferentes condições de uso das mantas sintéticas não tecidas à taxa de filtração de $3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ e 30 cm de areia	59
FIGURA 23 - Remoção de cor por diferentes condições de uso das mantas sintéticas não tecidas à taxa de filtração de $3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ e 30 cm de areia	59
FIGURA 24 - Remoção de Fe e Mn por diferentes condições de uso das mantas sintéticas não tecidas à taxa de filtração de $3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ e 30 cm de areia	60
FIGURA 25 - Remoção de coliformes totais por diferentes condições de uso das mantas sintéticas não tecidas à taxa de filtração de $3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ e 30 cm de areia	60
FIGURA 26 - Remoção de turbidez segundo diferentes taxas de filtração em condição fixa de 2 M3 e 1 M5 e 30 cm de areia	61
FIGURA 27 - Remoção de cor segundo diferentes taxas de filtração em condição fixa de 2 M3 e 1 M5 e 30 cm de areia.....	62
FIGURA 28 - Remoção de Fe e Mn segundo diferentes taxas de filtração em condição fixa de 2 M3 e 1 M5 e 30 cm de areia	62
FIGURA 29 - Remoção de Coliformes Totais segundo diferentes taxas de filtração em condição fixa de 2 M3 e 1 M5 e 30 cm de areia.....	63
FIGURA 30 - Valores de tempo de funcionamento dos filtros (horas) para diferentes camadas de areia combinadas a uma camada de M3 e vazão de $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$	64
FIGURA 31 - Valores de tempo de funcionamento dos filtros (horas) para diferentes condições de uso das mantas sintéticas combinadas a uma camada de 30 cm de areia e vazão de $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$	64

FIGURA 32 - Valores de tempo de funcionamento dos filtros (horas) para diferentes condições de uso das mantas sintéticas combinadas a uma camada de 30 cm de areia e vazão de 9 m ³ /m ² .dia.....	65
FIGURA 33 - Valores de tempo de funcionamento dos filtros (horas) para diferentes condições de uso das mantas sintéticas combinadas a uma camada de 30 cm de areia e vazão de 12 m ³ /m ² .dia.....	65
FIGURA 34 - Valores de tempo de funcionamento dos filtros (horas) para diferentes condições de uso das mantas sintéticas combinadas a uma camada de 30 cm de areia e vazão de 3 m ³ /m ² .dia.....	66
FIGURA 35 - Valores de tempo de funcionamento dos filtros (horas) para diferentes taxas de filtração combinadas a uma camada de 30 cm de areia e uso de 2 M3 e 1 M5	66
FIGURA 36 - Simulação de planejamento ideal para avaliação da influência de diferentes camadas de areia em sistemas de filtração lenta (exemplo aplicável a outros tratamentos).....	82

LISTA DE QUADROS

	Página
QUADRO 1 - Características recomendadas para mantas.....	29
QUADRO 2 - Análise de água com Cistos de <i>Cryptosporidium</i> antes e depois da filtração lenta.....	32
QUADRO 3 - Análise da posição dos Cistos de <i>Cryptosporidium</i> na areia do meio filtrante.....	32
QUADRO 4 - Características do meio filtrante.....	39
QUADRO 5 - Programa de ensaios experimentais realizados.....	40
QUADRO 6 - Disposição de ensaio realizado para avaliação da influência de diferentes camadas de areia segundo tratamentos e repetições.....	41
QUADRO 7 - Médias de turbidez observadas para os três diferentes tratamentos.....	42
QUADRO 8 - Análise de variância de um experimento inteiramente ao acaso.....	45
QUADRO 9 - Modelo do ensaio de influência da camada de areia.....	45
QUADRO 10 - Modelo do ensaio de influência das mantas.....	46
QUADRO 11 - Modelo do ensaio de influência da taxa de filtração.....	46
QUADRO 12 - Análise estatística da influência de diferentes espessuras de areia aplicados à remoção de turbidez, Cor, Fe e Mn e Coliformes totais.....	69
QUADRO 13 - Avaliação da influência das diferentes características e espessuras das mantas aplicadas à remoção de Turbidez, Cor, Fe e Mn e Coliformes totais para camada de 30 cm de areia e taxa de filtração de 6 m ³ /m ² .dia.....	71
QUADRO 14 - Avaliação da influência de diferentes condições de aplicabilidade das mantas aplicadas para remoção de Turbidez, Cor, Fe e Mn e Coliformes totais à taxa de filtração de 9 m ³ /m ² .dia 30 cm de camada de areia.....	72
QUADRO 15 - Avaliação da influência de diferentes condições de aplicabilidade das mantas aplicadas para remoção de Turbidez, Cor, Fe e Mn e Coliformes totais à taxa de filtração de 12 m ³ /m ² .dia 30 cm de camada de areia.....	72
QUADRO 16 - Avaliação da influência de diferentes condições de aplicabilidade das mantas aplicadas para remoção de Turbidez, Cor, Fe e Mn e Coliformes totais à taxa de filtração de 3 m ³ /m ² .dia 30 cm de camada de areia.....	73

QUADRO 17 - Avaliação de diferentes taxas de filtração para remoção de Turbidez, Cor, fe e Mn e Coliformes totais em condição fixa de 2 M3 e 1 M5 com 30 cm de camada de areia.....	74
QUADRO 18 - Avaliação dos tempos de funcionamento dos filtros verificados para diferentes espessuras de camadas de areia	75
QUADRO 19 - Avaliação dos tempos de funcionamento dos filtros verificados para diferentes condições de utilização das mantas com espessura de 30 cm de areia e taxa de filtração de 6 m ³ /m ² .dia	76
QUADRO 20 - Avaliação dos tempos de funcionamento dos filtros verificados para diferentes condições de utilização das mantas com espessura de 30 cm de areia e taxa de filtração de 9 m ³ /m ² .dia	76
QUADRO 21 - Avaliação dos tempos de funcionamento dos filtros verificados para diferentes condições de utilização das mantas com espessura de 30 cm de areia e taxa de filtração de 12 m ³ /m ² .dia	77
QUADRO 22 - Avaliação dos tempos de funcionamento dos filtros verificados para diferentes condições de utilização das mantas com espessura de 30 cm de areia e taxa de filtração de 9 m ³ /m ² .dia	77
QUADRO 23 - Avaliação dos tempos de funcionamento dos filtros verificados para diferentes taxas de filtração e camada de 30 cm de areia combinada à 2 M3 e 1 M5.....	78

Apresentação

A partir da década de 60, um crescente aumento na utilização de produtos químicos levou ao desuso tecnologias de tratamento de água que não se fundamentavam nesses processos. A partir de então, no Brasil, a filtração lenta foi utilizada em escala muito reduzida.

Atualmente, existe uma grande preocupação não só em retomar técnicas simples de tratamento de água, por questões econômicas, como também, por se perceber a possibilidade em atender um segmento da população desprovido de atenção, que são as comunidades rurais e estruturas populacionais de pequeno porte.

A tendência em se adequar uma política sanitária vigente para áreas rurais, incentiva a busca por estreitar as investigações em tecnologias de baixo custo. Para tanto, busca-se uma combinação de materiais, como as mantas sintéticas não tecidas, na tentativa de efetivamente, firmar a filtração lenta como tecnologia viável para áreas rurais.

Ainda, muito se tem a investigar sobre a filtração lenta e, entendemos que a avaliação desse sistema pode ser amplamente estabelecida se, definitivamente, for associada à uma metodologia estatística. A estatística, enquanto ferramenta, permite de forma concreta, realizar inferências que em muito poderão contribuir para a elaboração de projetos mais detalhados, comparando-se a eficiência experimental desse sistema.

Ainda, esse trabalho, tem o propósito de firmar a estatística como suporte às investigações sanitárias em âmbito geral. Entendemos que, procedimentos estatísticos, enriquecerão programas experimentais, muitas vezes realizados em grande escala, e que tornam-se limitados quanto à aspectos conclusivos, justamente por não estabelecerem inicialmente, um planejamento experimental, extensivo às conclusões geradas com a utilização de procedimentos estatísticos.

Os autores.

RESUMO

Para condições rurais, em meio a várias tecnologias de tratamento de água, a filtração lenta ocupa papel de destaque, tornando-se viável se comparada a outros processos, por ser um sistema que não requer uso de produtos químicos, ser de simples operação e manutenção.

Recomenda-se de acordo com MBWETTE & GRAHAM (1987; 1989), DI BERNARDO et al. (1990) e PATERNIANI (1991) o uso de mantas sintéticas não tecidas, como forma de facilitar a limpeza dos filtros e por influenciarem no aumento da duração da carreira de filtração, possibilitando redução da carga hidráulica disponível e aumento na retenção de impurezas.

Nos ensaios de utilização de mantas sintéticas não tecidas na Filtração Lenta, nota-se um grande número de fatores interferindo nos resultados, que se apresentam de forma independente e sem nenhum critério estatístico. Os objetivos dessa pesquisa fundamentam-se em realizar sucessivas análises estatísticas, utilizando-se dados experimentais obtidos por PATERNIANI (1991) em uma instalação de filtração lenta, realizando inferências e correlações das características das mantas sintéticas não tecidas com o tempo de funcionamento dos filtros e com parâmetros de qualidade da água filtrada.

As análises estatísticas foram realizadas em etapas e os dados agrupados em ensaios com delineamento inteiramente ao acaso. A metodologia aplicada caracterizou-se pelo teste F e as médias comparadas segundo regressões polinomiais para parâmetros qualitativos e pelo teste de Tukey para quantitativos, procedendo-se às análises através do software estatístico SANEST/ZONTA (1987).

Os resultados das análises estatísticas permitiram avaliar comparativamente, que as espessuras 30, 60 e 80 cm não apresentam diferenças significativas ao nível de significância 5%. Extensivo às diferentes condições de aplicação das mantas sintéticas não tecidas e avaliação de diferentes taxas de filtração.

Entretanto, foram detectadas diferenças significativas para avaliações do tempo de funcionamento dos filtros e avaliação de diferentes taxas de filtração.

O uso de uma metodologia estatística frente às investigações sanitárias é apresentado como inteiramente positivo, diante dos resultados obtidos para a filtração lenta. Essa

pesquisa consolida a retomada pela utilização da filtração lenta, propondo utilizar a estatística como ferramenta fundamental para o controle operacional desse sistema, otimizando a elaboração de projetos e avaliação de ensaios.

SUMMARY

The slow sand filtration, amid several technologies of water treatment, play an important role for rural conditions.

The use of synthetic non woven fabrics is recommended, according to MBWETTE and GRAHAM (1987; 1989), DI BERNARDO et al. (1990) and PATERNIANI (1991), as a mean of facilitating the cleaning of the filters and, for the fact that, they exert an influence on the increase of duration in the filtration time, making it viable, as a result, the reduction of the available hydraulic load and an increase in the retention of sludges.

It has been noted, in experiments of utilization of the synthetic non woven fabrics in the slow filtration, a great number of factors interfering in the results, occurrences without any statistic criteria. The objectives of this research are founded in performing successive statistical analyses, utilizing experimental data obtained by PATERNIANI (1991) from a slow filtration installation, accomplishing inferences and correlations of the characteristics of the synthetic non woven fabrics with the filters operation time and with quality parameters of the filtered water.

The statistical analyses were accomplished in several stages and the data arrayed in experiments with entirely at random delineament. The applied methodology was characterized by the test F and the averages compared according to polynomial regressions, for qualitative parameters and by the Tukey test for quantitatives proceeding the analyses by statistical software SANEST/ZONTA (1987).

The statistical analyses results allowed a comparative evaluation, that the thickness of 30, 60 and 80 cm do not present significant differences at the level of signification of 5%. Extensive to the different conditions of application of the synthetic non woven fabrics and to the evaluation of different rates of filtration.

However, significant differences were detected for the time evaluation of the filters operation and in the rate comparison of filtration of 3 and 6, 9, 12 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$.

The use of a statistical methodology in face of the sanitary investigations is presented as entirely positive, based on the obtained results for slow filtration. This research consolidates the retaking of the slow sand filtration utilization, proposing to utilize the

statistical as a fundamental tool for the operational control of that system, optimizing the projects elaboration and the experiments evaluation.

I. INTRODUÇÃO

Desde os tempos mais remotos, todas as formas de vida estão ligadas a elementos vitais para a sobrevivência e, a água destaca-se ocupando papel insubstituível na perpetuação das espécies.

O processo histórico da evolução humana, marcado pela grande concentração demográfica e pela intensa atividade industrial impõem ao homem condições, que não lhe permitem a utilização dos bens naturais de importância primária, como oferecidos pela natureza. Dessa forma, esses bens antes de serem submetidos ao consumo pelas comunidades em geral, devem sofrer beneficiamento artificial capaz de adequá-los ao uso a que se destinam.

Dentre as diversas tecnologias de tratamento de água para abastecimento público, a filtração lenta destaca-se por ser um sistema que não requer uso de coagulantes ou produto químico auxiliar no processo de filtração, é de simples construção, operação e manutenção, não requer mão de obra qualificada para sua operação, produz águas com características menos corrosivas e apresenta custos geralmente acessíveis às pequenas comunidades rurais, principalmente de países em desenvolvimento (AZEVEDO NETTO e HESPANHOL, 1979). Assim sendo, a filtração lenta apresenta condições para se tornar um processo de tratamento de águas de abastecimento adequado para diferentes regiões do Brasil.

A viabilidade do emprego da filtração lenta, entretanto, esbarra em dois principais fatores limitantes que são: a qualidade da água bruta e a limpeza dos filtros. Os altos valores de turbidez e cor encontrados nas águas superficiais, de países tropicais, em certas épocas do ano, tornam-se fatores limitantes ao uso da filtração lenta, levando vários pesquisadores a recomendarem valores limites de turbidez e cor para a utilização da filtração lenta.

A fim de adequar a qualidade de água bruta às condições requeridas para a filtração lenta tem sido sugerido por diversos autores o emprego de sistemas de pré-tratamento, como por exemplo os pré-filtros, muito estudados por WEGELIN (1984), (1987), VISSCHER e GALVIS (1987), DI BERNARDO e RUGNO (1987) e POCASSANGRE (1990).

Mas se a qualidade da água bruta como fator limitante ao uso da filtração lenta pode ser controlada através do emprego de pré-filtros, persiste um segundo fator limitante do uso da filtração lenta referente à limpeza do filtro, que é realizada através da retirada da camada superficial da areia, a qual é lavada e recolocada novamente no filtro, metodologia esta que pode inviabilizar completamente o uso da filtração lenta em alguns casos.

Trabalhos realizados por MBWETTE e GRAHAN (1987), (1988), (1989) e DI BERNARDO et al. (1990a), (1990b), tem sugerido o uso de mantas sintéticas não tecidas na filtração lenta como forma de facilitar a operação de limpeza dos filtros, uma vez que esta é feita através da retirada das mantas do interior dos filtros, lavagem e recolocação das mesmas nos filtros, facilitando substancialmente os serviços de manutenção da instalação.

As vantagens da utilização de mantas na filtração lenta, têm sido demonstradas em pesquisas recentes realizadas por DI BERNARDO e colaboradores (PATERNIANI, 1991), como a possibilidade da redução da espessura da camada de areia, a possibilidade do emprego de taxas de filtração mais elevadas, a proteção do leito filtrante contra aumentos momentâneos significativos da turbidez do afluente, bem como a melhoria da qualidade do efluente filtrado.

Sabe-se que nos ensaios de utilização de mantas na filtração lenta são muitas as variáveis que interferem nos resultados desse experimento que vão desde diferenças na qualidade da água a ser tratada até diferenças na espessura e composição das mantas sintéticas utilizadas.

Além disso, a maioria dos trabalhos apresentam os resultados dos experimentos com filtração lenta de maneira independente e sem qualquer tratamento estatístico que possibilite correlacionar as diferentes variáveis, o que tem levado a algumas dúvidas e conclusões subjetivas.

II. OBJETIVOS

✓ Proceder às análises estatísticas utilizando-se dados obtidos experimentalmente em uma instalação piloto de filtração lenta com mantas sintéticas não tecidas, visando a quantificação da influência das diferentes características das mantas na remoção de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos da água;

✓ Avaliar estatisticamente a influência de diferentes camadas de areia em um sistema de filtração lenta combinado às mantas sintéticas não tecidas para remoção de turbidez, cor, ferro e manganês e, coliformes totais e sua influência no tempo de operação dos filtros;

✓ Comparar diferentes taxas de filtração e o tempo de funcionamento de filtros lentos combinados ao uso de mantas não tecidas, fornecendo subsídios para o emprego das mesmas em projetos de instalações de filtração lenta para tratamento de água em comunidades rurais;

✓ Testar uma metodologia estatística, com o propósito de avaliar o comportamento experimental de um sistema de filtração lenta com mantas sintéticas não tecidas, apresentando uma proposta de delineamento adequado, com utilização do software estatístico SANEST/ZONTA (1987).

III. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Considerações sobre água

A designação universal do termo água é traduzida pela Língua Portuguesa segundo as definições: 1-Oxido de diidrogênio, líquido, incolor, essencial à vida [Fórm. H₂O]; 2-A parte líquida do Globo Terrestre; 3-Chuva; 4-Aparência cristalina, limpidez, lustre, lustro, brilho; 5-Grau de transparência e brilho do diamante e outras pedras preciosas: “Diamantes achavam-se assim aos punhados, em qualquer lavagem, e não eram fundos, refugos de partida, ‘chapéus-de-frade’..., mas diamantes de primeira água.”(Afrânio Peixoto, “Bugrinha” apud FERREIRA, 1986); encontrando-se ainda outras diversas expressões com a palavra água, representando sugestivamente os pensamentos humanos.

Por ser um excelente solvente, a água é uma substância muito complexa e é hipotética a idéia de encontrá-la na natureza em estado de absoluta pureza. Quimicamente sabe-se que, mesmo sem impurezas, a água é a mistura de 33 substâncias distintas (RICHTER e NETTO, 1991).

Seguramente, BRANCO (1983) evidencia, de forma real, a importância da água quando a ela se refere como sendo entre as curiosidades da natureza a mais extraordinária, e enfatiza o paradoxo de um composto com tão singulares propriedades ser, ao mesmo tempo, o elemento mais difundido no planeta.

As características que denotam a qualidade dos mananciais, marcada por altos teores de agentes poluentes, tentam há duas décadas, validar a consideração da água para consumo humano como um produto industrial. A água deixou de ser um elemento substancialmente

natural, sendo viabilizada para consumo somente mediante formas de beneficiamento - técnicas de tratamento.

3.1.1. Distribuição de água na natureza

A água é o constituinte inorgânico mais abundante na matéria viva: no homem mais de 60% do seu peso é constituído por água, e em certos animais aquáticos essa porcentagem sobe a 98%. A água é fundamental para a manutenção da vida, razão pela qual é importante saber como ela se distribui no planeta.

Os $1,36 \times 10^{18} \text{ m}^3$ de água disponível existentes na Terra distribuem-se da seguinte forma:

Água do mar	97.0%		
Geleiras	2.2%		
Água Doce	0.8%		água subterrânea — 97.0%
			água superficial — 3.0%

Pode-se ver claramente que, da água disponível, apenas 0.8% pode ser utilizada mais facilmente para abastecimento público. Desta pequena fração de 0.8%, apenas 3.0% apresentam-se na forma de água superficial, de extração mais fácil. Esses valores ressaltam a grande importância de se preservar os recursos hídricos na Terra, e de se evitar a contaminação da pequena fração mais facilmente disponível (SPERLING, 1995).

A análise da água através de suas características físicas, químicas, biológicas e radioativas, revelando a presença de elementos, substâncias e organismos vivos que, apresentados em função da “quantidade”, indicam sua qualidade de acordo com o fim a que se destina. Assim, se estabelece a necessidade ou não de submeter determinada água a algum processo ou técnica de tratamento.

O tratamento da água para torná-la adequada ao consumo humano é uma forma analiticamente simples de transformação, pois compreende a retirada e adição de matéria-prima por meio de utilização racional de fenômenos físicos, químicos e biológicos (BATALHA e PARLATORE, 1977). No entanto, o considerável aumento de agentes poluentes oriundos da

descarga de águas residuárias nos mananciais, faz com que a simplicidade de tratamento da água assumam dimensões mais complexas. Ainda, à luz da ciência e pesquisa, o tratamento químico e técnicas fundamentadas na propagação de sistemas completos para tornar potáveis águas para consumo humano, assumiram grandes dimensões, levando ao desuso técnicas mais simples do ponto de vista operacional e com menor custo de implantação, como a filtração lenta.

3.2. Poluição da água

A água promove o bem-estar econômico e geral da sociedade, sendo sua distribuição fundamental à população, agricultura, indústrias, recreação, dessedentação de animais e suporte para a vida aquática. A importância da utilização dos mananciais depende da abundância dos recursos hídricos, economia da região e dos desejos e necessidades de sua população. Muitas aplicações são restritas a uma estreita faixa de qualidade da água dependendo do fim a que será utilizada.

A disposição desordenada de esgotos conflita com o uso da água como um recurso municipal. Assim, o controle da qualidade é necessário assegurando que os corpos de água como fonte de disposição dos esgotos, não sejam utilizados indiscriminadamente (HAMMER, 1979).

Todos os esgotos sanitários, industriais e agrícolas afetam, de algum modo, a vida natural de um rio, lago ou poço. Quando a influência dos resíduos é suficiente para tornar a água inaceitável para o uso a que se pretende, diz-se que a mesma está poluída.

O planeta é cheio de substâncias tóxicas. Muitas delas ocorrem de maneira natural, completamente independente de qualquer atividade humana. Assim, o vapor de um vulcão em atividade pode conter uma quantidade suficientemente grande de enxofre que não permita o crescimento das plantas nas regiões próximas. Os rios que fluem através de florestas podem tornar-se desoxigenados devido às substâncias orgânicas naturais neles depositadas, as quais ao se decompor, resultam em contaminações semelhantes àquelas causadas por esgotos humanos. O mercúrio, existente naturalmente nos oceanos, pode vir a se concentrar nos peixes a níveis capazes de alarmar as autoridades de saúde pública. Mas, quando falamos em poluição, geralmente nos referimos a presença de substâncias tóxicas introduzidas pelo homem no meio

ambiente. Isto não quer dizer que apenas a poluição causada pelo homem seja nociva, embora as súbitas mudanças introduzidas por ele sejam freqüentemente mais dramáticas que os lentos efeitos do envenenamento de origem natural (MELLANBY, 1982).

No Brasil, muitos dos rios considerados “não poluídos” estão sendo, de fato, prejudicados pela atividades humanas, e estão degradados do ponto de vista ecológico. O termo poluição deve ser usado quando puder ser demonstrado, segundo MELLANBY (1982), algum efeito nocivo, freqüentemente biológico. Uma mudança na fauna e na flora é de fato um efeito que seguramente pode caracterizar uma situação de poluição. Em muitos casos, mesmo um rio moderadamente poluído é considerado como seguro para uso humano, sendo normalmente classificado como “limpo” pela indústria da água.

São diversos os efeitos poluidores da água: organismos patogênicos, poluição por esgotos domésticos e industriais, resíduos de animais, atividades agrícolas, acidentes com o transporte de substâncias perigosas, entre outras.

Diante do complexo quadro atingido com o efeito da poluição, o uso da água para atividades humanas, normalmente só acontece após a mesma ser submetida a alguma tecnologia de tratamento. Atualmente, a preocupação causada pelos excessos de poluentes atinge não só os centros urbanos que contam, certamente, com uma água tratada, mas sobretudo as áreas rurais, onde a água é utilizada, na maioria das vezes, sem nenhum tipo de tratamento.

3.3. Modernização do setor saneamento

Os indicadores de comportamento do setor saneamento, ao longo da última década, revelam dificuldades crescentes em relação à universalização da prestação dos serviços à população brasileira e até mesmo para a manutenção dos níveis de cobertura já alcançados.

O modelo institucional e financeiro criado no final dos anos 60 para a implementação dos serviços de saneamento no Brasil, responsável pela elevação dos índices de atendimento do setor, vem apresentando um prolongado processo de esgotamento, caracterizado por desequilíbrios de natureza institucional, financeira e empresarial, este último a nível operativo. Simultaneamente, graves dificuldades, como as que se relacionam a seguir, ainda persistem na oferta de serviços (FARIA, 1995):

- Nas áreas urbanas, 12% da população não possuem acesso a qualquer sistema de abastecimento de água tratada e 65% não dispõem de serviços de coleta de esgotos. No meio rural, somente 9,28% e 7,40% dos domicílios são atendidos, respectivamente, com abastecimento de água e esgotamento sanitário adequados.
- Segue em curso um significativo processo de poluição ambiental, devido à carência quase absoluta de tratamento de águas servidas e à disposição inadequada dos resíduos sólidos. Apenas 8% do esgoto produzido no país recebem tratamento.
- Vários sistemas metropolitanos de abastecimento de água apresentam-se saturados ou em via de saturação.
- Há dificuldades e custos crescentes para obtenção de uma oferta adequada de recursos hídricos.

Há dificuldades e custos crescentes para a obtenção de uma oferta adequada de recursos hídricos. A ausência de uma política de saneamento a partir da deterioração do PLANASA, instituído em 1971, tem resultado em ações públicas desordenadas e desarticuladas, incapazes de promover o adequado equacionamento dos problemas relacionados ao abastecimento de água e ao esgotamento sanitário no Brasil. Não menos grave é a situação dos demais ramos do saneamento ambiental, tradicionalmente órfãos de uma política nacional que apoie as ações municipais em áreas como resíduos sólidos e drenagem urbana e, muito menos em áreas rurais.

É nesse contexto que se desenha a necessidade de um novo marco de referência para orientar e balizar, do ponto de vista da política pública, a nível nacional, as ações que são desenvolvidas pelas instituições públicas e privadas no campo do saneamento (PEREIRA & BALTAR, 1995).

A carência de saneamento básico no Brasil é uma constatação de técnicos e uma realidade cotidiana para milhares de pessoas. As estatísticas oficiais revelam que 73% dos domicílios brasileiros possuem serviços de abastecimento de água, 36% de coleta de esgoto e 63% de coleta de lixo. Temos 27% de domicílios não ligados à rede de água, que representam cerca de 38 milhões de habitantes que se abastecem através de poços individuais, públicos, carros-pipas, entre outras alternativas, quando não usufruem de ligações clandestinas à rede existente (FARIA, 1995).

Da mesma forma que se constata a carência de saneamento básico no país, sabe-se da escassez de recursos e indisposição política para suprir essa necessidade.

As verbas orçamentárias destinadas ao setor são cada vez mais escassas, para uma demanda que cresce vertiginosamente. Por outro lado, os órgãos que concedem financiamentos internacionais exigem estudos e análises que priorizem áreas carentes, trabalhos que demandam prazos consideráveis para sua realização.

A análise de projetos vem utilizando, cada vez mais, técnicas inovadoras que permitem a mensuração de benefícios que antes eram tratados apenas qualitativamente, por não se tratar de bens que não são comprados ou vendidos em mercados formais.

Existe uma variedade de técnicas que visam medir o valor de bens e serviços não comercializados em mercados formais, e que podem ser aplicadas na quantificação dos benefícios gerados pela proteção e preservação ambiental. Essas técnicas podem ser classificadas dentro de duas categorias: aquela baseada na observação do comportamento dos indivíduos e a que está assentada em respostas a perguntas realizadas mediante pesquisa de campo (FARIA, 1995).

Recentemente, um trabalho apresenta uma técnica (FARIA, 1995) referente à segunda categoria, denominada “Método de Avaliação Contingente” (MAC)¹, cuja utilização encontra-se disseminada como instrumento de quantificação de benefícios nos trabalhos dos organismos multilaterais de financiamento.

A técnica consiste em perguntar aos beneficiários potenciais de um projeto quanto estariam dispostos a pagar pelas melhorias ambientais ou pela instalação de serviços diversos, resultantes da implantação de um projeto específico. A partir dessa informação sobre a disposição a pagar dos beneficiários, o método deriva estimativas dos benefícios.

Ao utilizar o MAC, o objetivo maior é determinar o preço (valor) que a população alvo de um projeto estaria disposta a pagar para usufruir os benefícios gerados pela sua implantação.

CUMMINGS et al. apud FARIA (1995), apresenta um estudo onde são listadas as “condições operacionais de referência”, que se referem às condições sob as quais o método teria maior êxito. São elas:

¹ Em inglês. *Contingent Valuation Method*.

- a população a ser entrevistada deve estar familiarizada com o bem ou serviço que se está avaliando;
- a mesma população deve ter experiência prévia com a utilização desse tipo de bem ou serviço;
- deve tentar medir a disposição de pagar;

Claro, as condições acima listadas, devem ser discutidas e adaptadas quando pretender-se direcionar o método em questão, para áreas rurais.

A pergunta direta sobre a disposição de pagar deve ser clara e concisa, enfocando o valor a pagar, a periodicidade do pagamento e o instrumento usado para efetuá-lo, de preferência um imposto ou taxa conhecidos da população.

As perguntas feitas aos entrevistados para tentar estabelecer sua disposição de pagar pelos serviços do projeto, referem-se a situações hipotéticas alternativas. Havendo dois enfoques diferentes para as perguntas: no primeiro, a pergunta é aberta (open-ended), devendo o entrevistado atribuir um valor monetário máximo à sua disposição de pagar para ter os serviços em questão. Nesse procedimento, portanto, a variável resposta é contínua e deve ser analisada com técnicas de regressão. O enfoque alternativo fornece ao entrevistado uma escolha simples entre duas possibilidades, às quais deve responder com um *sim* ou *não*. Esse procedimento é denominado *referendum*, porque o entrevistado revela suas preferências mediante um processo semelhante a uma votação. Nesse caso, a variável resposta é descontínua (dicotômica) e sua análise requer uso de técnicas *logit* e *probit*.

Trazendo esse método de avaliação (MAC) para o contexto abordado, podemos avaliar, por exemplo, a implantação de sistemas de tratamento de água junto às comunidades rurais. Isso significa, que ao se realizar a pesquisa de campo, se um entrevistado responde sim, pode-se inferir que ele prefere ter uma água com qualidade, mesmo tendo que diminuir \$p de sua renda. Por outro lado, quando a resposta é não, significa que para o entrevistado é preferível continuar usando a água nas condições atuais e não diminuir a sua renda em \$p.

Pesquisas dessa natureza são indicadas para avaliar a necessidade atual da população e, podem ser consideradas em conjunto com a implantação de um sistema de tratamento de água. Assim, poderia se adequar a filtração lenta como um recurso viável e totalmente integrado à população, inclusive do ponto de vista financeiro e operacional.

3.4. A qualidade da água no meio rural

A qualidade das águas para consumo humano não é uma preocupação recente, entretanto, o acentuado êxodo rural decorrente do processo de industrialização contribuiu para que as atenções se voltassem para os centros urbanos, sem preocupações específicas com as comunidades e propriedades rurais.

Segundo documento elaborado pelo Banco Mundial e pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), percebe-se uma grande preocupação com a qualidade de água para zonas rurais associada ao processo de proliferação de doenças via hídrica desde três décadas atrás. Em 1970 somente cerca de 15% da população rural de países em desenvolvimento gozava de acesso a água potável em condições relativamente apropriadas. Nessa mesma data percebe-se que a situação das zonas urbanas era bem melhor: cerca de 70% da população tinha acesso a água potável em condições facilitadas (BANCO MUNDIAL, 1976).

Com o propósito de melhorar essa situação, já em 1970 as Nações Unidas fixaram metas para o melhoramento mundial de abastecimento de água até a década seguinte (1980) como condição diretamente associada ao desenvolvimento. O BANCO MUNDIAL (1976) enumera, de forma atual, alguns problemas que enfrentam os programas de abastecimento de água de zonas rurais:

- Falta de uma política oficial com respeito ao abastecimento de água das áreas rurais;
- Falta de definição e atribuição de responsabilidades pelas inúmeras entidades, instituições e órgãos competentes existente;
- Deficiência institucional em todos os níveis;
- Falta de mão-de-obra qualificada em todos os níveis;
- Baixo nível cultural das comunidades rurais;
- Falta de políticas financeiras e ineficiência dos métodos de arrecadação;
- Ineficiente educação em saúde pública, razão pela qual a população não tem plena consciência das vantagens de se ter uma água potável;
- Frequentes falhas nos sistemas de tratamento existentes devido às deficiências de funcionamento e manutenção, bem como falta de reposição de acessórios;

- Dificuldades de comunicação entre sistemas rurais mais afastados e seus respectivos órgãos responsáveis e de apoio.

A proposta do Banco Mundial com perspectivas de melhorar as condições de potabilidade das águas que serviam comunidades rurais para década de 80, consistia no envolvimento da própria comunidade em questão, não só do ponto de vista financeiro, mas sobretudo operacional, percebendo a real importância do sistema. São apresentadas as razões para que haja envolvimento das populações rurais (BANCO MUNDIAL, 1976):

- Devem ser atribuídas responsabilidades aos habitantes das comunidades rurais sobre a funcionabilidade do sistema de tratamento de água minimizando custos com mão-de-obra;
- É conveniente que os beneficiários do sistema de tratamento de água contribuam financeiramente, subsidiando a manutenção do sistema;
- Havendo contribuição financeira da comunidade, necessitariam menos fundos públicos, podendo haver maior investimento em outras comunidades rurais, universalizando assim, água com qualidade para todos;
- A comunidade deve ser envolvida, e participar da elaboração e implantação do sistema, contribuindo para adequá-lo às suas reais necessidades.

Cada vez é maior o reconhecimento de que a participação da comunidade é um fator essencial em projetos rurais de abastecimento de água. O ingresso da comunidade desde as etapas iniciais do programa conduz a um processo de aceitação mútua e de forma consciente, entendendo a importância da implantação do sistema, muitas vezes sugerindo soluções sustentáveis.

Esses aspectos são apresentados em experiências extremamente positivas já vivenciadas em alguns países. Na Colômbia, em muitos projetos de filtração lenta que são usados como demonstração, a população tem participado ativamente da construção do sistema de tratamento de água. Particularmente as mulheres podem contribuir para a decisão de localização das derivações de água, que se forem inadequadas podem conduzir a problemas de drenagem, pouco uso e acesso limitado. Como outro exemplo, na Tailândia as conexões domiciliares e a rede de distribuição, exceto a as malhas principais, são instaladas pela própria população local. Ainda, a comunidade não somente deve apreciar e entender a necessidade de

ter uma água pura, como também dispor de meios e evitar sua recontaminação (GALVIS et al., 1984).

No Brasil, além de não existir nenhuma política concreta que viabilize a implantação de sistemas de tratamento de água para comunidades rurais e pequenos assentamentos populacionais, também não se tem programas de educação ambiental ou qualquer tipo de assistência que monitore a qualidade de água em zonas rurais.

De acordo com CURCHILL (apud MANCY, 1993) cerca de 60 a 70% da população rural nos países em desenvolvimento não têm acesso a fontes seguras e convenientes de água e não possuem meios satisfatórios de disposição de esgoto e excretas.

Considerando a população brasileira que tem domicílio na área rural - um quarto do total da população do país tem-se em termos de abastecimento de água a seguinte situação: 9.3% são favorecidos pela rede geral, 57.9% utilizam água de poço ou nascente e 32.8% têm outra forma de abastecimento (IBGEa, 1994).

Como o Brasil é um país com extensas dimensões e marcado por diversas diferenças regionais, é indicado realizar pesquisas localizadas com o objetivo de se implantar qualquer sistema de tratamento de água. As investigações a nível de saneamento podem ser realizadas a nível de microrregiões, municípios ou até comunidades conforme observação feita por VICENTE et al. (1990) em relação aos dados dos censos agropecuários do Estado de São Paulo.

Recente pesquisa de campo realizada por STACCIARINI et al. (1997) traduz, de forma clara, a verdadeira situação vivenciada pelas unidades de produção agropecuárias (UPAs) do município de Campinas, estado de São Paulo, Brasil. Dados obtidos em 50 UPAs através de censo são ilustrados pelas figuras 1 e 2 esclarecendo representativamente a origem da água para consumo humano e técnicas de tratamento utilizadas.

Dos 38% que praticam unicamente a técnica de cloração, o fazem sem nenhum conhecimento da quantidade de cloro por volume de água e, em muitos casos a cloração é feita esporadicamente.

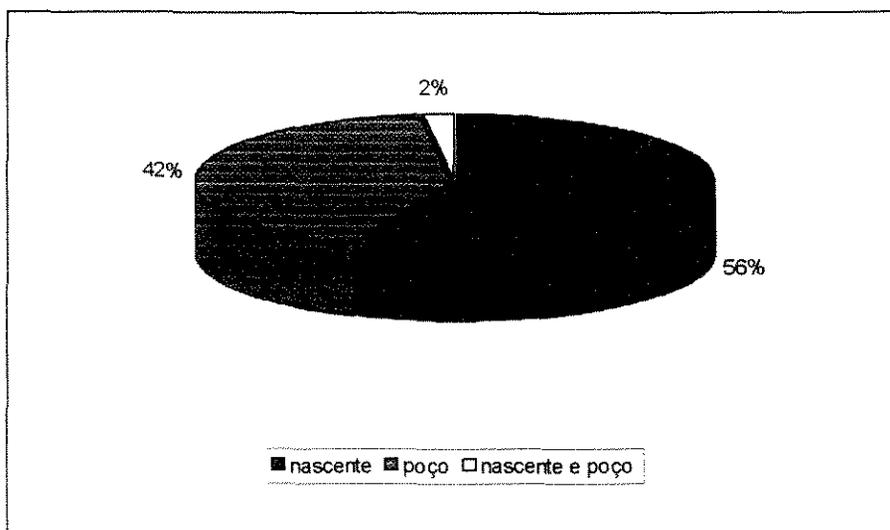


Figura 1 - Origem da água para consumo humano nas 50 propriedades investigadas

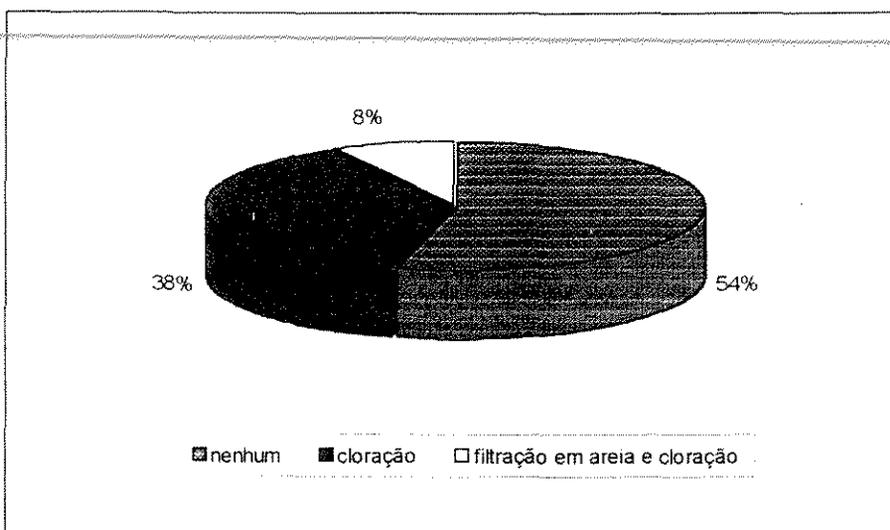


Figura 2 - Processo utilizado para tratamento da água após captação

De maneira geral, existem algumas iniciativas para a implantação de tecnologias adequadas à resolução dos problemas sanitários em áreas rurais. Entretanto, infelizmente, essas iniciativas são realizadas isoladamente, de forma limitada e, em muitos casos, interrompidas.

Trabalhos dessa natureza devem ser divulgados, principalmente para ressaltar a importância de se adotar soluções para o meio rural, podendo estas serem associadas à filtração lenta. FONSECA e BARROS (1996) desenvolveram um sistema simplificado de desinfecção

para pequenas comunidades. Esse sistema de tratamento, tem como objetivo facilitar a desinfecção das águas em comunidades da zona rural, com população em torno de 1000 habitantes. O desenvolvimento de um método alternativo decorreu da necessidade de se eliminar os problemas de entupimento nos cloradores por gotejamento, quando o produto utilizado era o hipoclorito de cálcio.

Para se chegar ao modelo final, foram feitas várias tentativas com outros tipos de cloradores que se mostraram inadequados. O sistema final obtido, foi um dosador construído com materiais facilmente encontrados em qualquer lugar, como: recipientes de plástico (capacidade para 50 lts), garrafa plástica de refrigerante, conexões de PVC, torneira de PVC, solda a frio (tipo epoxi) e areia fina. A água tratada foi captada de um manancial de superfície, com baixa turbidez e aduzida para um sistema de tratamento constituído por um filtro lento. A vazão registrada foi da ordem de 4 l/s. A desinfecção foi feita utilizando-se hipoclorito de cálcio, 65% de cloro ativo, com solução preparada a 3%.

Isso indica que, estudos que tornem a Filtração Lenta associada a recursos alternativos, como tecnologias de desinfecção, às mantas sintéticas não tecidas e/ou pré-filtros, podem servir de subsídios para, de fato, poder-se discutir e viabilizar a implantação de sistemas de tratamento de águas em comunidades rurais e assentamentos populacionais de pequeno porte, grupos tão peculiares a um país como o Brasil.

3.5. Tecnologias adequadas à realidade rural

O perfil sócio-econômico, cultural e industrial de cada país já denota uma singular projeção da qualidade dos mananciais e, portanto, das tecnologias e alternativas para tratar adequadamente e de forma eficaz a água a ser distribuída à sua população.

De acordo com AMEZAL et al. (1981), somente até 1979 já haviam sido registradas 5 milhões de substâncias químicas diferentes no Chemical Abstract Survery, da Associação Química Americana, das quais, estima-se que pelo menos 66.000 são empregadas em grande escala, quotidianamente, e estão presentes no meio ambiente.

Por sua vez, a qualidade do ambiente em que vive o homem é determinada pelos complexos processos que ele utiliza para assegurar e tornar agradável sua vida. Sendo evidente que as modificações introduzidas no sistema ecológico humano variam, de certo modo,

proporcionalmente à população existente, decorrendo daí a importância da sua variação quantitativa. Logo, estudos das variações quantitativas das populações das comunidades são necessários para avaliação dos efeitos produzidos pelo homem em seu ambiente, constituindo elementos básicos dos projetos de sistemas de controle da qualidade ambiental (LEME, 1982).

Nos países desenvolvidos têm-se observado com maior intensidade problemas associados à proliferação de novos produtos químicos e suas combinações, no tocante às águas, porém, mesmo os países de Terceiro Mundo acabam por sofrer a agressão de novos contaminantes em regiões específicas, onde ocorre densidade populacional elevada, associada à grande concentração de indústrias. Em países de Terceiro Mundo, na maioria dos casos, os problemas regionais podem ser extremamente distintos, pois, enquanto em um extremo existem comunidades que nem dispõem de água tratada ou mesmo canalizada, em outro extremo existem comunidades que têm sua água tratada através de técnicas avançadas, removendo inclusive, microcontaminantes orgânicos e inorgânicos originados das múltiplas atividades desenvolvidas pelo homem (CAMPOS, 1994).

A amplitude do problema, permite associar à qualidade da água a ser utilizada sua adequação de uso que segundo BATTALHA e PARLATORE (1977), “é uma circunstância representada por uma condição ou conjunto de condições que um produto deve apresentar para satisfazer uma necessidade”. Então, profissionais que trabalham com tratamento de água, devem ter não somente conhecimentos sobre sistemas avançados de purificação de água, como também, conhecimento sobre a funcionabilidade de técnicas mais simples, para que possam optar pela solução mais apropriada para cada caso (CAMPOS, 1994).

Para condições rurais, em meio a várias tecnologias de tratamento de água, a filtração lenta ocupa papel de destaque, tornando-se viável se comparada a outros processos, justamente por ser um sistema que não requer uso de produtos químicos, ser de simples operação e manutenção. Por apresentar essas características, é ainda uma tecnologia bastante adequada para pequenas comunidades, estruturas populacionais em áreas rurais e assentamentos de porte reduzido, principalmente de países em desenvolvimento.

O uso da Filtração lenta, poderá ser retomado em escala crescente, justamente por ser um sistema de tratamento de águas de abastecimento com capacidade de sustentação. A

Figura 3 ilustra os fatores fundamentais que possibilitam uma tecnologia de tratamento de águas de abastecimento, ser utilizada em extensão e com sucesso.

Qualidade da água bruta

Tecnologia de tratamento

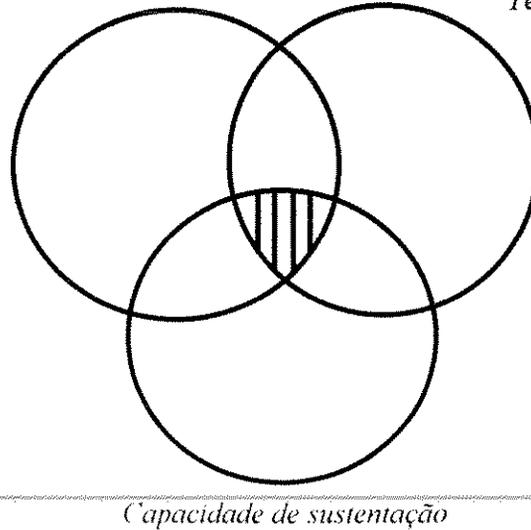


Figura 3 - Interseção dos fatores fundamentais para o tratamento de águas de abastecimento.

Fonte: DI BERNARDO (1996).

Ainda que o campo do tratamento de água ofereça uma diversidade de tecnologias, poucas entre elas podem, em princípio, satisfazer as necessidades e condições dos países em desenvolvimento. Entre essas técnicas destaca-se a filtração lenta por apresentar custos acessíveis às comunidades rurais.

A filtração lenta é uma tecnologia que apresenta características marcadas pela facilidade de instalação e construção do sistema, sem exigências técnicas para designação da mão-de-obra, grande simplicidade no processo de operação e manutenção dos filtros. POVINELLI e BOLLMANN (1987), afirmam que essas vantagens vêm estimulando pesquisadores de países desenvolvidos e em desenvolvimento para estudos mais aprofundados sobre esse sistema, na certeza de que ele é simples e econômico para se produzir água potável, desde que se conheçam suas restrições.

A Filtração Lenta em Areia vem sendo utilizada, a quase dois séculos, para tratar as água para consumo humano de Londres. Essa técnica, atualmente, ainda está sendo empregada em larga escala nos seis empreendimentos principais que tratam as águas superficiais de Londres (TIMMS et al., 1995). Precedendo o tratamento, a água é armazenada durante algumas semanas em grandes reservatórios (represas) que, além de desempenharem o papel de unidades de segurança e de pré-tratamento, também têm a função de servir a atividades de lazer, como natação, esqui-aquático ou náutica (CAMPOS, 1994).

No Brasil, país enquadrado na designação tropical, certamente a implantação de sistemas de filtração lenta, caracterizados por ocupar grande área para instalação, não seriam um grande problema em função da grande extensão territorial disponível, é claro, adaptada às circunstâncias regionais. Essa situação associada ao exemplo inglês poderia gerar situações privilegiadas do ponto de vista do lazer e até econômico.

A nível brasileiro, atualmente podemos usar como exemplo a cidade de Brasília, que a 1200 quilômetros da praia começa a ter finais de semana que lembram uma cidade litorânea como o Rio de Janeiro ou Recife. No Lago Paranoá - o enorme reservatório artificial de água com 26 quilômetros de extensão construído a partir do represamento de riachos e rios - já é possível pescar, velejar, passear de jet-ski e praticar Windsurf. A descoberta do lago como opção de lazer dos brasilienses é fruto da despoluição de suas águas, uma obra iniciada em 1987, com a construção de estações de tratamento de esgotos, que nos últimos três anos começou a dar resultados. O sucesso do lago já se faz sentir no mercado imobiliário, com o aumento dos preços das casas da região, além de reservatórios dessa natureza, servirem como alternativa para barcos residenciais (LIMA, 1996).

Nesse contexto, para o Brasil, a criação de grandes reservatórios de água, precedendo a filtração lenta (podendo ser na forma de lagos) em situações e regiões estratégicas em muito poderia beneficiar a exploração econômica associada à proteção ambiental, condições de segurança da água armazenada para tratamento e sobretudo elevar o padrão de vida da população. Todas essas concepções estimulam a continuidade dos estudos envolvendo a Filtração Lenta como tecnologia de tratamento.

Atualmente, estudos têm sido realizados, combinando o uso de mantas sintéticas não tecidas com a areia na filtração lenta e em pré-filtros, avaliando as respectivas eficiências, como

tratamento para efluentes líquidos. Essas pesquisas recentes, indicam que a filtração lenta, se mantém eficaz como tecnologia de tratamento de águas, completando mais de um século de existência e, ao mesmo tempo atual, como alternativa para elevar a qualidade de vida em comunidades rurais.

3.6. Histórico da Filtração Lenta

Na intenção de reproduzir os processos naturais de purificação que ocorriam pela passagem da água pelo solo, o homem começou a empregar a filtração como um processo de obtenção de água tão límpida quanto àquelas encontradas em fontes naturais. O tratamento de água por meio de materiais granulados data de muito cedo na história antiga. Desde a antiga Índia, China e Grécia, vários sistemas de filtros são conhecidos por servirem como clarificadores de água.

Na história moderna os primeiros sistemas de tratamento, com a passagem de água através dos meios granulares, foram construídos no início do século XIX por John Gibb em Paisley (Escócia) e por James Simpson em Londres (Inglaterra). A construção de um filtro de areia por Gibb foi para servir sua indústria de braqueamento e, Simpson projetou um sistema de filtração lenta para a “Chelsea Water Company” destinado ao abastecimento da cidade de Londres visando, principalmente, a remoção de sólidos suspensos da água bruta. Em meados do século XIX, Londres contava com oito sistemas de tratamento que empregavam a filtração lenta da água captada no rio Tâmsa. Os resultados obtidos foram tão bons que, em 1852, com a promulgação do “Metropolis Water Act”, foi estabelecido que “toda água captada no rio Tâmsa, na distância de até oito quilômetros da Catedral de São Paulo, deveria ser submetida à filtração, antes de ser distribuída para o consumo humano” (DI BERNARDO, 1993).

John Snow, em 1858, demonstrou que a cólera era transmitida pela água e o único modo de solucionar o problema era a filtração ou o abandono do manancial poluído. Com as descobertas de Kock, Escherich e principalmente Pasteur, em 1881, que eliminaram as teorias de geração espontânea, mostrando que as doenças eram transmitidas por germes específicos, é que as propriedades biológicas dos filtros ganharam importância. Através de Plagge e Proskower em Berlim e Frankland em Londres que mostraram que os filtros alcançaram uma

remoção de 97 a 98% das bactérias da água, é que os filtros lentos ganharam grande confiabilidade.

A eficiência bacteriológica foi evidenciada em 1892 com as cidades de Hamburgo e Altona na Alemanha. Essas duas cidades captavam água do Rio Elba. Em Hamburgo o tratamento consistia de apenas sedimentação enquanto Altona passava a água por filtros de areia. Uma epidemia de cólera atingiu um terço da população de Hamburgo com 7.500 mortes enquanto que Altona nada sofreu (DI BERNARDO, 1993).

Em 1885 surgiu a primeira unidade mecânica de filtração nos E.U.A. e em 1899 os filtros automáticos de pressão na Inglaterra. Desde então, os filtros foram classificados em lentos e rápidos, é de forma extensa os rápidos passaram a ser utilizados em grande escala. A filtração lenta, porém, continua a ser utilizada em muitos países devido a sua simplicidade, eficiência e segurança no tratamento da água. A título de ilustração pode-se citar o caso de Londres - Inglaterra, que tem a maior parcela de sua água de abastecimento captada no rio Tâmisa e tratada através de filtros lentos. Ainda, os filtros lentos podem ser usados como unidades de pós-tratamento, como usado em certos casos, na Holanda (CAMPOS, 1994).

Em alguns países da Europa há grandes instalações de filtração lenta, além das construídas no século XIX e que foram aprimoradas, como a de Ashford Common (Londres - Inglaterra) que trata água captada no rio Tâmisa, existem outras construídas neste século, destacando-se as de Antuérpia (Bélgica), Amsterdam (Holanda), Paris (França), Zurique (Suíça), além das existentes em várias cidades da Suécia e em países do continente Africano e Asiático. No Brasil essa tecnologia foi empregada em algumas cidades até a década de sessenta, posteriormente, com a degradação da qualidade dos mananciais, a maioria das instalações de filtração lenta foram reformadas e convertidas a sistemas de tratamento completo, com coagulação química e filtração rápida.

Atualmente, uma maior quantidade de tratamentos naturais de águas para consumo e sistemas de distribuição são admitidos, com crescente importância, devido à demanda por tecnologias sustentáveis. Na Suíça, as “autoridades da água” estão impondo a preservação do solo, das águas subterrâneas e conseqüentemente aumento da qualidade das águas de origem em um nível, que permita a produção de águas para beber, através de tecnologias mais simples e confiáveis, como a filtração lenta (BOLLER, 1994).

3.7. Teoria da Filtração Lenta

No processo da filtração, ao passar por um material poroso, a água melhora sua qualidade pela remoção da matéria suspensa e coloidal, pela redução do número de bactérias e outros organismos, pela mudança de seus constituintes químicos e pela destruição da matéria orgânica através da oxidação.

Durante a filtração, as impurezas vão sendo acumuladas no meio filtrante, reduzindo os espaços vazios e, conseqüentemente, aumentando a resistência à passagem da água. Após um certo tempo é necessário efetuar a limpeza do meio filtrante, através da introdução de água no sentido ascendente, no caso dos filtros rápidos ou pela retirada de parte da areia superior do leito, no caso dos filtros lentos.

Além de trabalharem com taxas de filtração mais baixas, os filtros lentos distinguem-se dos rápidos por utilizarem uma areia de granulometria mais fina, normalmente com tamanho efetivo entre 0,15 e 0,35 mm (HUISMAN, 1982). Esta granulometria mais fina faz com que a matéria suspensa e coloidal fiquem retidas na parte superior do leito filtrante.

BELLAMY et al. (1985) verificaram a influência de algumas variáveis, tais como: temperatura, profundidade do leito, tamanho efetivo da areia e atividade biológica na eficiência de remoção de coliformes totais e cistos de giardia em filtros piloto de 30 cm de diâmetro e taxa de filtração de 0,12 m/h (2,88. m³/m².dia). Numa das fases do estudo verificou-se que, utilizando areia de tamanhos efetivos de 0,289 e 0,615 mm, a eficiência na remoção de cistos de giardia não era afetada. Em outra fase do estudo foram empregados os seguintes tamanhos efetivos: 0,615 e 0,278 mm para verificar a remoção de coliformes. Os dados obtidos mostraram que a eficiência no tratamento aumentava com a diminuição do tamanho dos grãos. Foram obtidas remoções de coliformes de 96,0, 98,6 e 99,4%, respectivamente, para tamanhos efetivos de 0,615, 0,278 e 0,128 mm. A profundidade do leito nas duas fases do estudo foi de 0,97 m. Adicionalmente, foi determinado o número de colônias de bactérias através da contagem de placas padrão. Verificou-se que, para um afluente onde foram aplicadas 5×10^5 colônias/ml, o leito com tamanho efetivo de 0,278 mm permitiu a passagem de somente 470 colônias/ml enquanto que para o de tamanho efetivo igual a 0,615 mm o leito permitiu a passagem de 1050 colônias/ml.

Apesar da influência do tamanho dos grãos na remoção de bactérias, a porcentagem de remoção foi ainda grande para tamanho efetivo igual a 0,615 mm. Segundo HUISMAN e WOOD (apud BELLAMY, 1985), quando se utilizam grãos maiores, o “Schmutzdecke”² atinge maiores profundidades, exigindo a remoção de 3 a 10 vezes mais areia (3 a 10 cm) durante a limpeza, elevando os custos de operação.

As taxas baixas de filtração com que operam os filtros lentos, permitem que ocorra primeiro uma sedimentação das partículas suspensas da água sobre a superfície do leito. Assim, um filtro trabalhando com uma taxa de $4,8 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ e uma altura de água sobre a superfície da areia de 1 metro, fornecerá um tempo de detenção de 5 horas, suficiente para que parte das partículas suspensas sedimentem (HESPANHOL, 1969).

O material retido, incluindo a matéria orgânica, proporciona um ambiente ideal para a proliferação de uma variedade imensa de microorganismos. Forma-se, com o tempo, uma película na superfície do leito, denominada de “Schmutzdecke”, citada anteriormente, constituída basicamente de algas, planctons, protozoários, rotíferos e bactérias que atuam ativamente na purificação da água, digerindo a matéria orgânica, removendo cor, partículas inertes e os próprios microorganismos.

O número de bactérias é mantido em equilíbrio pela presença de protozoários, que as consomem para sua subsistência e também pelas algas que, segundo algumas investigações, produzem substâncias nocivas às bactérias (CARRION, 1985).

No Schmutzdecke desenvolve-se uma película gelatinosa e pegajosa sobre os grãos de areia permitindo a retenção de diversas partículas. Esta película gelatinosa pode ser resultado da produção de polímeros exocelulares pelos organismos presos aos grãos de areia (HUISMAN, 1982). O desenvolvimento do Schmutzdecke proporciona um tratamento mais eficiente da água e o período para seu desenvolvimento, denominado de período de maturação, é marcado pela produção de um efluente de qualidade inferior.

CULLEN e LETTERMAN (1985) evidenciaram a presença do período de maturação em 4 das 10 estações de tratamento de água estudadas, com períodos variando de 6 horas a 2 semanas. A medida que a carreira de filtração prossegue é verificado um aumento progressivo da perda de carga até um valor máximo estipulado. O término da carreira de

² Camada biológica formada no topo do leito filtrante após determinado período de “amadurecimento” do filtro.

filtração resulta em conseqüente necessidade de remoção da camada superficial do leito (Schmutzdecke) para reduzir a perda de carga a valores próximos das iniciais.

A água, ao passar pelo leito filtrante, troca de direção constantemente fazendo com que as partículas suspensas entrem em contato com os grãos por outros mecanismos de transporte e de aderência (DI BERNARDO, 1993).

A matéria acumulada nos grãos de areia é oxidada por agentes químicos e biológicos. Assim, compostos ferrosos e manganosos são transformados em óxidos hidratados de ferro e manganês insolúveis e a matéria orgânica é oxidada parcialmente convertida em matéria celular para seu crescimento. Porém, a restrita quantidade de matéria orgânica fornecida pela água bruta mantém a população bacteriana em um determinado nível, sendo o crescimento acompanhado por um certo número de mortes com liberação de matéria orgânica. Os produtos de desassimilação primária e secundária são então conduzidos pela água e novamente utilizados por bactérias a maiores profundidades e progressivamente convertidas em água, sais, dióxido de carbono, nitratos, sulfatos, fosfatos, etc. (HUISMAN, 1982).

3.8. Recomendações para o emprego da filtração lenta

Os filtros lentos apresentam certas restrições quanto à sua utilização e, de acordo com AZEVEDO NETTO (1966), não devem ser empregados diretamente quando a cor, somada à turbidez, ultrapassa 50 unidades.

Ensaio realizados no Brasil, por POVINELLI e BOLLMANN (1987), concluem que a filtração lenta é um processo seguro para tratar águas superficiais com valores de turbidez em torno de 10 UT e cor aparente inferior a 50 UC. Quando esses limites são ultrapassados demasiadamente, as carreiras se tornam muito curtas e os mecanismos de remoção de impurezas perdem sua eficiência. Acrescentando, afirmam que taxas de filtração maiores que as usuais (até 10 m³/m².dia) podem ser usadas com certa segurança, desde que a qualidade da água bruta seja condizente com os limites anteriormente citados. Também apontam testes com a película biológica mostrando sua importância nos mecanismos que regem a filtração lenta.

O tamanho e a distribuição de tamanhos das partículas presentes no afluente e efluente de filtros lentos é um parâmetro relativamente novo que passou a ser utilizado,

principalmente, para estimar a remoção de cistos de *Giardia Lamblia*, embora o conhecimento do número de partículas e a distribuição de seus tamanhos forneça informações adicionais sobre o desempenho dos filtros lentos pois, a turbidez pode variar consideravelmente para um mesmo número total de partículas e vice-versa. Também, para cada água conhece-se uma relação entre turbidez e teor de sólidos suspensos, a qual deve ser considerada (DI DERNARDO, 1993).

De acordo com CULLEN e LETTERMAN (1985), o estudo e análise de cinco sistemas de filtração lenta indica que pode obter-se valores diferentes de turbidez para águas com mesmo número total de partículas. Assim, a relação entre o número total de partículas e a turbidez, da água filtrada ou da água bruta, obtida para um sistema não deve ser usada como referência para águas provenientes de outros mananciais.

Constitui ainda, um sério problema que pode afetar o mecanismo de filtração lenta a presença de algas, quanto à espécie e quantidade. As algas presentes no afluente, podem obstruir rapidamente os vazios intergranulares no início da camada de areia, reduzindo drasticamente a duração da carreira de filtração. As algas são encontradas em pontos distintos dos filtros lentos e em quantidades diferentes:

- na água situada acima da camada de areia, em quantidade que pode variar desde 500 até 35000 indivíduos por ml;
- no "schmutzdecke", podendo ser filamentosas ou não filamentosas;
- no interior da camada de areia pois, devido a sua forma, tamanho ou mobilidade, algumas espécies são capazes de penetrar no meio filtrante.

Nos ambientes aquáticos, a concentração de clorofila α que está diretamente associada à presença da concentração média de Fósforo, que por sua vez, é um indicativo expressivo sobre a presença de organismos fitoplanctônicos relacionam-se pela equação (DI BERNARDO, 1993):

$$\log C_{cl} = 0.98 \log P - 0.70$$

(3.8.1)

onde:

C_{cl} = concentração média de clorofila α (mg/m³)

P = concentração média de fósforo total (mg/l)

Sendo a concentração de clorofila a maior em profundidades de 2 a 5m, a programação da tomada de água bruta, em diferentes profundidades, pode resultar benéfica no que diz respeito ao número de algas, porém, deve-se tomar cuidado com a possibilidade da existência de Ferro e Manganês solúvel no fundo (VARESCHE apud DI BERNARDO, 1993).

As algas por constituírem o grupo dos maiores inimigos dos filtros lentos, podem ter sua proliferação amenizada ou evitada, cobrindo-se o sistema de filtração com algum tipo de material (normalmente materiais escuros) que impeça a passagem de luz solar, fator fundamental para seu desenvolvimento.

Os filtros lentos em areia são perfeitos para a separação de sólidos devido à fina granulometria do meio filtrante e baixa velocidade de filtração. Como a maior fração dos sólidos em suspensão usualmente não penetra o leito, mas são depositados em sua superfície, isso pode acarretar um rápido entupimento em função do excesso de concentração a um certo nível. Um conseqüente aumento da perda de carga e breve período de filtração são os principais obstáculos operacionais encontrados em filtros lentos de areia.

Em países em desenvolvimento, essa é a razão pela qual vários filtros têm se tornado inativos e precisam ser reabilitados. Entretanto, um novo sistema operacional usando primeiro um pré-tratamento (filtros grosseiros) seguido de filtração lenta em areia, é uma tecnologia alternativa para substituir sistemas com floculação química e desinfecção (BOLLER, 1994).

3.9. Hidráulica da Filtração Lenta

Como a taxa de filtração é baixa, em todas as circunstâncias resulta um regime de escoamento laminar. Segundo HUISMAN (1982), a resistência oferecida pelo leito limpo à passagem da água pode ser dada pela Lei de Darcy em função da profundidade:

$$H_0 = \frac{V}{K_p} \cdot L$$

(3.9.1)

onde V é a taxa de filtração e K_p é o coeficiente de permeabilidade expresso em m/s. O valor de K pode ser determinado em laboratório através do ensaio de uma amostra representativa de leito ou pode ser obtida aproximadamente pela equação de Carman-Kozeny para grãos esféricos e de mesmo diâmetro d (m).

$$K_p = \frac{g}{180 \cdot \eta} \cdot \frac{\epsilon_0^3}{(1 - \epsilon_0)^2} \cdot d^2$$

(3.9.2)

onde g é o valor da aceleração da gravidade (m/s^2), ϵ_0 é a porosidade e η a viscosidade cinemática (m^2/s) que, por sua vez, depende da temperatura:

$$\eta = \frac{(1,31) \cdot 10^{-6}}{0,72 + 0,0278 \cdot t}$$

(3.9.3)

Sendo t em $^{\circ}C$.

O material filtrante na filtração lenta é caracterizado pelo seu tamanho efetivo “ d_e ” e pelo coeficiente de desuniformidade “ U ”.

$$d_e = d_{10} \quad \text{e} \quad U = d_{60} / d_{10}$$

onde d_{10} e d_{60} são respectivamente as aberturas das peneiras por onde passam 10 e 60% da areia em um ensaio granulométrico.

Durante a filtração, as impurezas são acumuladas na parte superior do leito, formando uma película e reduzindo os poros disponíveis para o fluxo de água. A resistência

aumenta mais rapidamente nas seguintes condições: (i) quando a água bruta apresenta alta carga de sólidos suspensos, (ii) quanto maior for a taxa de filtração, (iii) grãos muito finos do leito.

Geralmente, observa-se um crescimento lento da resistência no início e mais rapidamente no final da carreira de filtração. A perda de carga normalmente é limitada a 1 m ou 1,5 m e raramente excede a 2 m. Como as impurezas penetram somente à pequena profundidade do leito, a resistência à passagem da água somente aumenta no topo do meio filtrante, que influi de forma marcante na distribuição de pressões.

Sem o movimento da água a pressão no leito aumenta hidrostáticamente com a profundidade. Com o movimento da água, esta encontra a resistência oferecida pelo leito, provocando um decréscimo da pressão. Para o leito limpo o decréscimo é uniforme, com o maior valor igual à perda de carga inicial, ocorrendo no fundo do leito (Figura 4).

A presença de pressão inferior à atmosférica proporciona o desenvolvimento de bolhas de ar no interior do leito e sua liberação pode provocar caminhos preferenciais para a água prejudicando a qualidade do efluente.

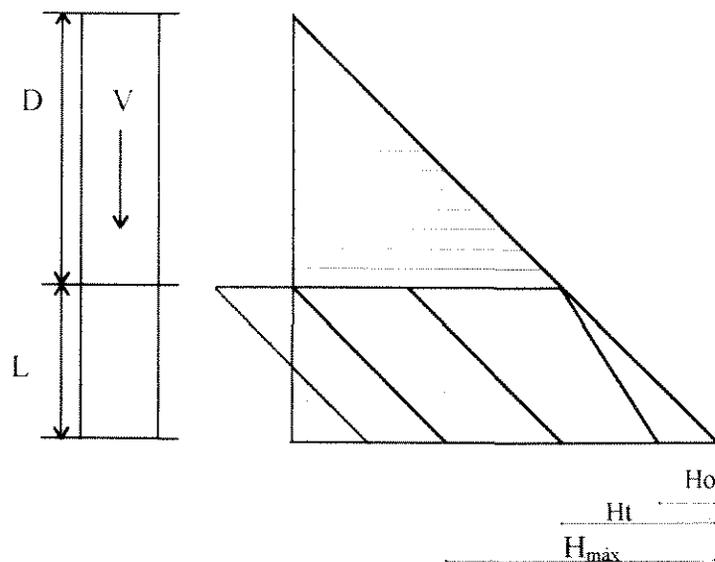


Figura 4 - Distribuição de pressão no leito de um filtro lento. Fonte: PATERNIANI (1991).

O desprendimento de bolhas de ar pode ser causado pelo aumento de pressão no interior do leito quando se reduz a taxa de filtração em função da menor demanda de água. O súbito aumento da pressão não permite que as bolhas de ar se dissolvam na água resultando sua ascensão no leito.

As pressões negativas podem ser, entretanto, evitadas restringindo a resistência máxima $H_{\text{máx}}$, combinando valores de profundidade D da água sobre o leito e a perda de carga inicial H_0 do leito limpo.

Dentro de condições ideais e respeitando as características hidráulicas associadas à qualidade da água bruta, o funcionamento de um sistema de filtração lenta é extremamente confiável. Sendo que, continuam atualmente sendo desenvolvidas pesquisas, para que se possa ainda mais conhecer, controlar e difundir os filtros lentos.

3.10. Pesquisas sobre Filtração Lenta e Mantas Sintéticas não tecidas

Ultimamente, têm sido publicados trabalhos de pesquisa, investigações e periódicos sobre a filtração lenta, principalmente com o propósito de ampliar os conhecimentos, para adequar essa tecnologia a diversos fins e aprimorar os parâmetros de projeto. Para tanto, passou-se a estudar a filtração combinada à outras tecnologias e métodos.

A filtração lenta combinada ao uso de pré-filtros de pedregulho tem possibilitado tratar água bruta com teor mais elevado de sólidos suspensos. Entretanto, somente em 1985, com BRIDGES e 1986, com MBWETTE e GRAHAM é que se passou a dar atenção especial a um problema sério que afeta todas as instalações de filtração lenta, que diz respeito ao método de remoção e limpeza de uma parte da superfície da areia (entre 1 e 10 cm). A solução proposta por esses pesquisadores é o uso de mantas sintéticas, que são facilmente removíveis, levadas e recolocadas sobre o topo da camada de areia.

MBWETTE e GRAHAM (1987) realizaram exaustivas investigações utilizando diversos tipos e espessuras de mantas em filtros com 60 cm de espessura de camada de areia, operados com taxa de filtração igual a $3,6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ e recebendo água bruta com turbidez variando entre 0,95 a 5,5 NTU. Com base nos resultados obtidos nessas investigações apresentaram no Quadro 1 as características da manta que, dentre todas as estudadas, melhor

resultado proporcionou, tanto em relação ao aumento na duração da carreira de filtração quanto na qualidade do efluente filtrado.

Quadro 1 - Características recomendadas para mantas

Composição	polipropileno
Diâmetro da fibra	33 μ m
Espessura média da manta	4,8 mm
Massa específica da fibra	0,91 g/cm ³
Massa específica da manta	0,10 g/cm ³
Porosidade	0,89
Superfície específica	13.266 m ² /m ³

Fonte: MBWETTE e GRAHAM (1987).

MBWETTE e GRAHAM (1987), (1988), (1989) e GRAHAM (1987), recomendam ainda que:

- Seja investigada a possibilidade de se utilizar somente mantas como meio filtrante na filtração lenta;
- Um sistema para fixar a manta no topo da camada de areia seja idealizado, a fim de evitar que ocorra penetração de impurezas pelas bordas da manta, principalmente quando esta estiver com os poros bastante “entupidos”;
- Seja pesquisado um meio filtrante composto da combinação de duas ou mais camadas de mantas de características diferentes, a fim de melhorar a eficiência do processo;
- Mais experimentos sejam conduzidos com a utilização de mantas na filtração lenta, principalmente para tratamento de água com turbidez alta, a fim de testar a eficiência das mantas nestas condições.

O uso de mantas sintéticas não tecidas combinadas a um sistema de filtração lenta foi intensamente investigado por PATERNIANI (1991). Esse estudo permitiu chegar às conclusões, entre outras:

- que o uso de mantas não tecidas na filtração lenta proporciona um aumento de 1 até 3 vezes na duração da carreira de filtração;
- Mantas com menor superfície específica conduzem a carreiras de filtração mais longa, embora não previnam a penetração de impurezas na areia;

- Mantas com maior superfície específica evitam a ocorrência de penetração de impurezas na areia, mas proporciona fatores de aumento menores na duração da carreira de filtração;
- Após três anos de uso consecutivo, as mantas não apresentaram qualquer sinal de desgaste ou deterioração, demonstrando grande resistência e durabilidade para uso na filtração lenta;
- A operação de limpeza do filtro é bem mais simples com o uso de mantas sintéticas, se for evitada a entrada de impurezas na areia;
- O volume de água consumido na lavagem das mantas é bem menor do que aquele gasto na lavagem da areia.

Ainda, PATERNIANI (1991) recomenda que:

- Seja pesquisada a utilização de combinações de mantas com diferentes características, principalmente espessura, porosidade e superfície específica, a fim de otimizar o processo;
 - Estudos sejam realizados sobre o comportamento da filtração lenta com mantas, precedida de pré-filtração;
-
- Investigue-se o uso de mantas sintéticas que suportem taxas de filtração maiores que $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ e afluentes com turbidez elevada, sem que ocorra a penetração de impurezas na camada de areia;
 - Seja pesquisada a aplicação de mantas numa unidade de filtração lenta em escala real, principalmente com relação à fixação das mantas no topo da camada de areia e ao método de remoção e lavagem das mesmas.

3.10.1. Utilização de Mantas Sintéticas não tecidas na pré-filtração

Dependendo das características da água bruta, as vantagens da filtração lenta podem diminuir drasticamente. Em épocas chuvosas, há um declínio na qualidade da água o que pode provocar uma considerável redução na duração da carreira de filtração e ainda podendo ter um efluente impróprio para consumo humano.

Diversas formas de pré-tratamento vêm sendo empregadas para adequar a água bruta afluente aos filtros lentos. Recentemente, RUIZ BOJORGE (1996) fez um estudo investigando a utilização de mantas sintéticas não tecidas na pré-filtração de águas de abastecimento, fundamentando-se no sucesso dos pré-filtros de pedregulho e na comprovação do importante papel que as mantas desempenham quando combinadas à Filtração Lenta.

A realização dessa investigação científica pode comprovar que a utilização de mantas sintéticas não tecidas nos pré-filtros de pedregulho e areia grossa contribuem para a melhoria da qualidade da água produzida, tanto quanto a eficiência de remoção de turbidez, cor aparente, coliformes totais e ferro total sempre foi menor na unidade de pré-filtração que não possuía mantas. Também, a utilização de mantas sintéticas nos pré-filtros de pedregulho e areia grossa permite o uso de taxas de filtração mais elevadas do que quando não se usa mantas, obtendo-se água filtrada de melhor qualidade (RUIZ BOJORGE, 1996).

3.10.2. Remoção de Cistos de *Cryptosporidium* através da filtração lenta

Nos últimos anos o protozoário parasita “*Cryptosporidium Parvum*” tem sido reconhecido como uma significativa ameaça para o abastecimento de água potável. A resistência dos cistos de *Cryptosporidium* é alta, e normalmente, não é afetada pela desinfecção com cloro, tendo como consequência um crescente interesse em processos de tratamento para remover e destruir tais cistos. Pequeno é o conhecimento sobre o efeito da filtração lenta em areia sobre a remoção desses organismos, e algumas pesquisas têm sido direcionadas atualmente para observar tal comportamento.

Experimentos realizados por TIMMS et al. (1995) identificaram o comportamento da remoção de cistos de *Cryptosporidium* através da filtração lenta. O trabalho foi realizado junto à Estação de Tratamento de Água de Surbiton - Londres. A área do filtro utilizado foi de 1.13 m², com uma profundidade de areia de 0.5 m e uma taxa de filtração de 7,2 m³/m².dia.

A água para abastecimento do filtro veio do rio Tâmsa com passagem direta por uma série de três filtros grosseiros de pedregulho com escoamento horizontal. Foi adicionada à água bruta cistos de *Cryptosporidium* em uma concentração de 4000/ml e os resultados obtidos em amostras analisadas do afluente e efluente podem indicar a eficiência de remoção conforme Quadro 2.

As evidências amostrais obtidas por TIMMS et al. (1995) puderam levar às conclusões de que a filtração lenta é uma tecnologia altamente eficiente para a remoção de Cistos de “*Cryptosporidium Carvum*” da água. Nessa investigação a concentração foi reduzida de 4000/l para 0/8 l, uma redução superior a 99.997%. Ainda, pode-se observar que os cistos foram retidos na posição superior do leito do filtro e não há sinal de movimento para níveis

inferiores, se podendo afirmar que as características do processo de filtração lenta em areia são bem adequadas para proteção das águas para consumo humano dos Cistos de *Cryptosporidium*.

Quadro 2 - Análise de água com *C. Cryptosporidium* antes e depois da filtração Lenta

Intervalo de tempo hrs : mins	Afluente		Efluente	
	Volume (ml)	Nº de Cistos	Volume (ml)	Nº de Cistos
0:00	25	98	50	0
0:15	25	115	750	0
0:30	25	121	50	0
0:45	25	74	750	0
1:00	25	86	50	0
1:15	25	52	750	0
1:30	25	124	50	0
1:45	25	82	750	0
2:00	25	100	50	0
2:15	25	139	750	0
2:30	25	93	50	0
2:45	25	84	750	0
3:00	25	99	50	0
3:30	25	125	750	0
3:45	25	56	50	0
4:00	25	31	750	0
4:15	25	39	50	0
5:00	25	60	750	0
5:15	25	0	50	0
5:30	25	24	750	0
5:45	25	34	50	0

Fonte: TIMMS et al., 1995.

Quadro 3 - Análise da posição dos Cistos de *Cryptosporidium* na areia do meio filtrante

Profundidade da areia (cm)	Volume de grãos (µl)	Volume examinado (µl)	Número de Cistos	Número por 10g
0 - 2.5	395	8	8	889
0 - 1.0	390	8	4	195
1.0 - 2.5	280	8	2	70
2.5 - 5.0	260	8	0	0(<33)
5.0 - 7.5	126	8	0	0(<16)
7.5 - 10	168	8	0	0(<21)
10 - 20	194	8	0	0(<24)
20 - 30	188	8	0	0(<24)

Fonte: TIMMS et al., 1995.

Também foram realizadas análises na areia constituinte do meio filtrante com objetivo de verificar a infiltração dos cistos. Os resultados obtidos das amostras de areia estão fixados na Quadro 3 e todos os cistos recuperados estão numa posição superior, não tendo sido encontrados abaixo de 2.5 cm.

3.10.3. Uso da Filtração Lenta para tratamento de efluente secundário

O reuso de águas residuárias tem grande valor econômico em países áridos como o Reino da Arábia Saudita. Em alguns casos, métodos de tratamento terciário para a remoção de poluentes podem ser substituídos adequadamente por processos secundários de tratamento.

A filtração lenta em areia foi introduzida na Inglaterra no século passado sendo primeiramente utilizada para tratamento de águas de abastecimento. Entretanto, nos últimos anos os filtros lentos têm sido investigados em escala de laboratório, para o tratamento de águas residuárias.

FAROOQ e AL-YOUSEF (1994), desenvolveram um estudo com o objetivo de determinar, em escala piloto, uma faixa apropriada de tamanho efetivo de areia, monitorando a profundidade do leito e avaliando a eficiência do sistema para tratamento de esgotos. Foi construído um filtro, em escala piloto, de aço galvanizado, com 100 cm de diâmetro.

Como resultados obteve-se uma grande remoção de coliformes fecais. O percentual de remoção de coliformes foi de 99%, 96% e 93% respectivamente para profundidades de areia de 135, 105 e 55cm. Com base nos resultados pode-se sugerir que seja utilizada uma profundidade menor para a camada de areia.

3.10.4. Experiência em utilização de Filtração em Múltiplas Etapas (FIMEs) para tratamento de águas com presença de algas

A proliferação excessiva de algas em reservatórios de abastecimento de água tem se tornado um fato cada dia mais comum. Sendo que, a presença de algas na água (bruta e/ou tratada) está associada a uma série de problemas como presença de sabor e odor, formação de trihalometanos, corrosão no sistema de abastecimento, toxicidade, entre outros problemas.

Estudos realizados por BRANDÃO et al. (1997), avaliam a remoção de algas de água captada no Rio Paranoá através de um sistema de Filtração em Múltiplas Etapas. Essa pesquisa conduzida na Universidade de Brasília (UnB) com o apoio do PROSAB (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico) conta com uma ETA-piloto composta de um pré-filtro dinâmico (PFD) que alimenta dois pré-filtros de fluxo ascendente, sendo um composto de quatro camadas sobrepostas (PFA₁) e outro composto de cinco camadas sobrepostas (PFA₂). Cada pré-filtro alimenta, respectivamente, um filtro lento.

Os filtros lentos são alimentados com os efluentes dos respectivos pré-filtros ascendentes. A distribuição é feita na parte superior dos mesmos através de um dispositivo perfurado. A limpeza dos filtros lentos é realizada ao final de cada carreira de filtração. Para tal, procede-se à drenagem da água dos filtros e em seguida, faz-se a raspagem manual da camada superficial do meio filtrante, cerca de 2 cm (BRANDÃO et al., 1997).

Resultados parciais obtidos dessa experimentação, indicam uma primeira carreira de filtração rápida, devido à colmatção dos filtros lentos. Na segunda carreira de filtração optou-se por só colocar em funcionamento os filtros lentos após verificar-se que a eficiência dos pré-filtros dinâmicos havia atingido um valor aproximadamente constante. Essa medida elevou a duração da carreira de filtração para mais de 35 dias.

Uma avaliação conjunta dos resultados mostram que, o filtro lento (FL₂) que serve ao pré-filtro ascendente com a camada de topo mais fina (PFA₂) está colmatando de forma mais lenta. Por outro lado, o PFA₁ está colmatando de forma mais acelerada, mas levou mais de um mês de funcionamento para atingir a carga hidráulica disponível.

Resultados dessa pesquisa serão amplamente publicados e, certamente contribuirão para ampliar o conhecimento da combinação algas/filtros lentos, assim como a combinação desse sistema com outras etapas.

Outros estudos têm sido realizados por DI BERNARDO et al. (1997) sobre Filtração em Múltiplas Etapas (FIMEs) acrescentando ainda mais informações para o conhecimento mais detalhado da Filtração Lenta.

Nessas condições, entendemos poder contribuir para todas essas pesquisas, tão notoriamente conduzidas, oferecendo uma proposta metodológica fundamentada na estatística, como maneira concreta de estabelecer-se inferências verdadeiras.

3.11. Considerações sobre estatística

A *Estatística* constitui uma parte da matemática aplicada e tem por objetivo tirar conclusões sobre uma população, a partir de dados observados em uma amostra dessa população. Uma população é o conjunto de universo dos dados sobre os quais se quer tirar conclusões e uma amostra é um subconjunto da população (FRANCISCO, 1995).

Quando adotamos um Universo (U) para estudo, torna-se difícil e exaustivo manuseá-lo em seu todo, isso é na maioria dos casos inviável. Por essa razão utilizamos uma amostra para estimar a média da população. Podemos representar graficamente (Figura 5) o conjunto universo (U) e todos os dados (população) e, também, da amostra (subconjunto de U).

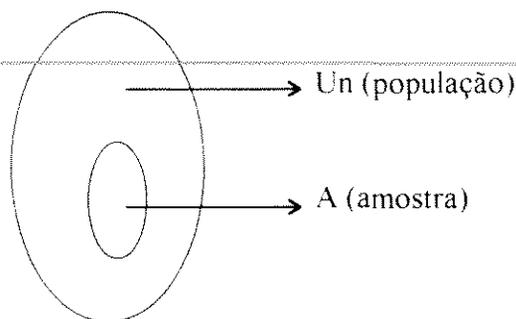


Figura 5 - Representação por diagramas do conjunto universo (Un) e amostra (A)

Fonte: FRANCISCO (1995).

Os elementos que pertencem a uma amostra e, portanto, à população que contém a amostra são denominados *variáveis*. As variáveis podem ser discretas ou contínuas. Uma variável é discreta quando pode assumir um número finito de valores num intervalo finito e uma variável é contínua quando pode assumir infinitos valores num intervalo finito (FRANCISCO, 1995).

Cabe destacar que, muito do conhecimento que a humanidade acumulou ao longo dos séculos foi adquirido através da experimentação. A idéia de experimentar, no entanto, não é apenas antiga, também pertence à atualidade e de forma intensa. A experimentação, contudo,

só se difundiu como técnica sistemática de pesquisa neste século, quando foi formalizada através da estatística³ (VIEIRA e HOFFMANN, 1989).

Nas pesquisas em engenharia sanitária, a utilização da estatística como ciência passível de possibilitar a realização de inferências e conclusões mais amplas, ainda não é explorada a contento.

A *Estatística* estabelece métodos científicos para coleta, organização, resumos, apresentação e análise de dados, bem como para a obtenção de conclusões válidas e tomada de decisões fundamentadas em tais análises.

Na estatística toma-se como referencial para a análise uma dada *população*, que nada mais é que uma fonte de observações. É a denominação para todo universo de dados que se possui.

Procede-se então, à utilização de métodos para tirar conclusões sobre as populações, caracterizados como métodos estatísticos. A estatística paramétrica utiliza métodos estatísticos fundamentados em *hipóteses estatísticas*, que são formulações fixadas acerca das populações, com o objetivo de tomar-se decisões. Uma hipótese é fixada com o propósito de ser aceita ou rejeitada.

Ao testar uma hipótese estabelecida, a probabilidade máxima com a qual se sujeitaria a correr o risco de um erro do tipo I é denominada *nível de significância do teste*. Os níveis de significância usualmente adotados são de 1% ou 5%. O nível de significância 5% indica que há cerca de 5 probabilidades em 100, da hipótese ser rejeitada quando deveria ser aceita. Ou seja, há confiança de cerca de 95% de que se tome uma decisão acertada, o que corresponde ao *poder do teste*. Para melhor entendimento faz-se conveniente apresentar as definições:

Erro Tipo I: É o erro que indica se uma hipótese foi rejeitada quando deveria ser aceita.

Erro Tipo II: É o erro que indica quando foi aceita uma hipótese que deveria ser rejeitada.

³ Veja, sobre estatística experimental, o livro escrito em português:

PIMENTEL GOMES, F. Curso de estatística experimental. 11. Ed. São Paulo. Nobel. 1985.

Este trabalho pioneiro tem merecido sucessivas edições e, deve ser lido por todos os pesquisadores que trabalham em ciência experimental.

3.11.1. Experimentos inteiramente ao acaso

É o tipo de delineamento em que os tratamentos são designados às unidades sem qualquer restrição.

Os experimentos inteiramente ao acaso só podem ser conduzidos quando as unidades são similares. Enfatizando, que a idéia de similaridade precisa ser bem entendida. Não existe um conjunto de “animais iguais”, nem um conjunto de “filtros” em que todos operem em condições absolutamente iguais. Em experimentação as unidades não precisam ser iguais, basta que respondam ao tratamento da mesma forma (VIEIRA e HOFFMAN, 1989).

Por exemplo, em testes com um sistema de filtração, os filtros não têm que possuir um meio filtrante com exatamente o mesmo número de partículas ou que todas sejam milimetricamente do mesmo tamanho. Mas, para que sejam considerados similares os filtros devem ser igualmente construídos, possuir mesmas características para disposição do meio filtrante, ser operado em condições iguais e, que sejam no início do experimento alimentados de forma homogênea por uma mesma água bruta.

A grande maioria dos trabalhos realizados em saneamento, opta pelo estudo de avaliação da tecnologia (quando é o caso) considerando somente a eficiência da mesma. Ou ainda, observa-se os usuários de determinado sistema de saneamento (ou falta dele), sem utilizar nenhuma técnica de amostragem para tratar ou concluir sobre aquele Universo.

Portanto, apresenta-se esse como um trabalho inovador, ao usar uma metodologia estatística para tratar dados obtidos em experimento com filtração lenta. Destaca-se, que essa investigação consiste, não só em divulgar e difundir o uso da filtração lenta, mas sobretudo em propagar o uso da estatística nos mais diversos campos de pesquisa em engenharia sanitária.

O presente trabalho, também, na sua essência, permite viabilizar de forma adequada o uso da filtração lenta com mantas sintéticas não tecidas, denotando a fundamental importância em se conhecer o comportamento experimental desse sistema, através de procedimentos estatísticos. Estabelece-se com essa pesquisa, uma relação comparativa entre as conclusões apresentadas por PATERNIANI (1991), ora realizadas sem o uso da estatística.

IV. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Dados experimentais

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos por PATERNIANI (1991) a partir de ensaios experimentais realizados numa instalação piloto de filtração lenta localizada no Campus da Escola de Engenharia de São Carlos/USP e constituída por cinco filtros denominados F₁, F₂, F₃, F₄ e F₅.

Todos os filtros eram iguais e alimentados com a mesma água bruta. O sistema permitia a variação da espessura e características do meio filtrante bem como da taxa de filtração. As características da camada suporte, da areia e das mantas sintéticas empregadas como meio filtrante são mostradas no Quadro 4.

Durante os ensaios experimentais foram monitorados os seguintes parâmetros de controle a fim de avaliar a eficiência do sistema:

- Turbidez
- Cor,
- Ferro e Manganês
- NMP de Coliformes Totais;
- Taxa de filtração;
- Perda de carga;
- Duração da carreira de filtração (tempo de funcionamento dos filtros).

Os ensaios experimentais foram realizados segundo a programação apresentada no Quadro 5. Os dados serão compilados de forma a se proceder às análises estatísticas que foram realizadas em etapas conforme é apresentado na seqüência.

Quadro 4 - Características do meio filtrante

CAMADA SUPORTE																			
Tamanho dos grãos (mm)					Espessura (mm)														
25,4 - 19,7					75														
15,9 - 7,9					75														
6,4 - 3,2					75														
2,4 - 1,4					75														
AREIA																			
Tamanho dos grãos (mm)			Coef. de desuniformidade			Coeficiente de esfericidade													
menor	maior	d10																	
0,08	0,083	0,023	1,8			0,75													
MANTAS SINTÉTICAS NÃO TECIDAS																			
MANTAS					M3					M5									
COR										PRETA					BRANCA				
Massa específica do fio (médio)																			
ρ_f (g/cm ³)					0,9835					1,1215									
Massa específica da manta (médio)																			
ρ_m (g/cm ³)					0,1151					0,1713									
Porosidade																			
ε_0 (%)					88,29					84,72									
Diâmetro médio																			
d_f (m)					45,09					29,58									
Superfície específica																			
S_0 (m ² /m ³)					10388					20662									
Condutividade hidráulica																			
K (mm/s)					7,16					1,31									
Composição																			
68% PP 15 DTEX					15% PP 15 DTEX					15% PP 15 DTEX									
32% PA 17 DTEX					40% PP 5,5 DTEX					20% PES 6,6 DTEX									
					15% PES 14 DTEX					10% PES 1,8 DTEX									
PP = Polipropileno					PA = Poliamida														
PES = Poliester					DTEX = unidade têxtil de medida de diâmetro do fio														

Fonte: PATERNIANI (1991)

Quadro 5 - Programa dos ensaios experimentais realizados

Série	Filtro	n° de repetições	Taxa de filtração (m ³ /m ² .dia)	Espessura da areia (cm)	Utilização das mantas	Perda de carga total final (cm)
I	F2	5	6	80	1 M3	95
	F4	5	6	60	1 M3	115
	F5	5	6	30	1 M3	145
II	F1	3	6	30	Não	145
	F2	3	6	30	1 M3	145
	F3	3	6	30	2 M3	145
	F4	3	6	30	1 M3 e 1 M5	145
	F5	3	6	30	2 M3 e 2 M5	145
III	F1	3	9	30	Não	145
	F2	3	9	30	2 M3 e 1 M5	145
	F3	3	12	30	Não	145
	F4	3	12	30	2 M3 e 1 M5	145
IV	F1	2	3	30	Não	95
	F2	2	3	30	2 M3 e 1 M5	95
	F3	2	3	30	1 M3 e 1 M5	95

Fonte: PATERNIANI (1991)

4.2. Procedimentos estatísticos

4.2.1. Forma de análise para um delineamento inteiramente ao acaso

Em primeiro instante estabeleceu-se o delineamento, as variáveis que se pretendia analisar e esquematizou-se a forma de avaliação em função da experimentação adotada por PATERNIANI (1991). Para as análises desenvolvidas neste trabalho foram adotadas diferentes repetições, segundo a disposição apresentada no Quadro 5. Entretanto, poderia ter sido adotado um número de filtros correspondente ao número de repetições, seguido de um sorteio e conseqüente montagem do experimento. Para facilitar a compreensão da forma de se analisar experimentos dessa natureza descreve-se parte de uma análise desenvolvida neste trabalho, como exemplo.

Para comparar a influência de três diferentes camadas de areia em um sistema de filtração lenta com mantas sintéticas não tecidas, estabeleceram-se as condições do meio filtrante (granulometria, espessura da camada de areia, uso de manta não tecida), fixou-se a taxa de filtração e os parâmetros (físico-químicos e/ou bacteriológicos) a serem avaliados

quanto à remoção. Foram estabelecidas três camadas de areia - 30, 60 e 80 cm - e cinco repetições quantificadas nos Filtros F2, F4 e F5, igualmente construídos; esses filtros foram colocados em operação e monitorados os parâmetros turbidez, cor, Fe e Mn e coliformes totais. Identifica-se assim, um experimento inteiramente ao acaso, com três tratamentos (diferentes camadas de areia combinadas a uma camada de M3) e cinco repetições, de acordo com a disposição apresentada no Quadro 6.

Quadro 6 - Disposição de ensaio realizado para avaliação da influência de diferentes camadas de areia segundo tratamentos e repetições

tratamento	Repetições
30 cm	Filtro 2*
	Filtro 2
60 cm	Filtro 4*
	Filtro 4
80 cm	Filtro 5*
	Filtro 5

* Filtros igualmente construídos

4.2.1.1. Valores Médios

A análise dos dados de um experimento inteiramente ao acaso é fundamentada nas médias observadas. Tomando como referência os valores observados para o parâmetro

Turbidez (UT) nas condições experimentais anteriormente descritas, pode-se observar valores médios que oscilam entre os diferentes tratamentos, conforme apresentados no Quadro 7.

Quadro 7 - Médias de Turbidez observadas para os três diferentes tratamentos

Repetições	Tratamentos		
	30 cm (F2)	60 cm (F4)	80 cm (F5)
1	7.8*	7.7	7.7
2	6.8	6.3	6.5
3	3.9	3.2	2.8
4	7.8	8.1	8.6
5	4.9	5.1	5.3
Média	6.24	6.08	6.18

* Os valores de turbidez observados são obtidos pela diferença entre a média do afluente e efluente, expressa por várias observações.

4.2.1.2. Comparando as médias observadas

A análise dos dados de um experimento inteiramente ao acaso é fundamentada nas médias observadas. Comparando-se as médias apresentadas na Quadro 7, a forma para se afirmar estatisticamente que as médias são iguais ou diferentes é avaliada pela análise de variância.

A variabilidade dentro de cada tratamento é explicada pelo acaso, ou seja, pela soma dos efeitos de diversos fatores - disposição granulométrica no meio filtrante, colocação da manta, condições de homogeneidade da água bruta, etc. - que variam ao acaso (meios construtivos e operacionais). Por outro lado, as médias de tratamentos para remoção de Turbidez podem ser explicadas tanto pelo acaso, como pelo fato de os tratamentos terem influência. As diferenças observadas entre médias de tratamento são suficientemente grandes ou pequenas para serem tomadas como evidência de que a influência dos tratamentos é estatisticamente igual ou diferente e, é realizada através de uma análise de variância.

4.2.1.3. A análise de variância

O entendimento para se fazer a análise de variância de um experimento inteiramente ao acaso deve ser fundamentado no número de tratamentos em questão e no número de repetições consideradas. Para fazer a análise de variância de um experimento ao acaso é preciso ter, segundo VIEIRA & HOFFMAM (1989), as informações:

a) Graus de liberdade:

- de tratamentos: $K - 1$;

- do total: $K*r - 1$ (onde r é o número de repetições);

- do resíduo: $(K*r - 1) - (K - 1)$.

b) O valor de C , que é dado pelo total geral elevado ao quadrado e dividido pelo número de observações:

$$C = \frac{(\sum y)^2}{K * r}$$

(4.2.1.3.1)

c) A soma de quadrados total:

$$SQT = \sum y^2 - C$$

(4.2.1.3.2)

d) Soma de quadrados dos tratamentos:

$$SQTr = \frac{\sum Tr^2}{r} - C$$

(4.2.1.3.3)

e) Soma de quadrados de resíduo:

$$\text{SQR} = \text{SQT} - \text{SQTr}$$

(4.2.1.3.4)

f) Quadrado médio de tratamentos:

$$\text{QMTr} = \frac{\text{SQTr}}{K - 1}$$

(4.2.1.3.5)

g) Quadrado médio do resíduo:

$$\text{QMR} = \frac{\text{SQR}}{n - K}$$

(4.2.1.3.6)

h) O valor de F :

$$F = \frac{\text{QMTr}}{\text{QMR}}$$

(4.2.1.3.7)

A partir desses resultados, as somas de quadrados são apresentadas no Quadro 8 denominada “Tabela de análise de Variância” onde se verifica a significância do teste. Para efetuar-se o cálculo dos quadrados médios basta dividir cada soma de quadrados pelos respectivos graus de liberdade. O valor de F para tratamentos é dado pelo quociente entre o quadrado médio de tratamentos e o quadrado médio do resíduo.

Quadro 8 - Análise de variância de um experimento inteiramente ao acaso

Causas da Variação (CV)	Grau de Liberdade (GL)	Soma de quadrados (SQ)	Quadrado médio (QM)	Valor de <i>F</i>
Tratamentos	K - 1	SQ _{Tr}	QM _{Tr}	<i>F</i>
Residuo	(K - 1) * (r - 1).	SQR	QMR	
Total	K*r - 1	SQT		

Fonte: VIEIRA e HOFFMAN (1989).

4.3. Etapas dos procedimentos estatísticos realizados

Para as análises estatísticas os dados foram agrupados em ensaios com delineamento inteiramente casualizado, considerando-se diferentes características do meio filtrante como tratamento e as diferentes repetições referentes aos respectivos filtros onde foram avaliadas (Quadro 5). Segue, um roteiro detalhado das etapas de avaliações estatísticas realizadas.

a) Avaliação da influência de 3 espessuras da camada de areia, 30, 60 e 80 cm na remoção dos parâmetros: Turbidez, Cor, Fe e Mn, NMP de Coliformes Totais e Duração da carreira de filtração.

Serão mantidos fixos a taxa de filtração, 6 m³/m².dia e a espessura da manta, 1M3. A metodologia empregada foi o teste F e realizadas regressões polinomiais para comparação das médias, seguindo o modelo apresentado no Quadro 9.

Quadro 9 - Modelo do Ensaio de influência da camada de areia

FV ¹	GL ²	QM ³	F ⁴
Areia	2	QM ₁	QM ₁ /QM ₂
Resíduo	12	QM ₂	-
Total	14	-	-

¹ Formas de variação

² Grau de liberdade

³ Quadrados médios

⁴ Significância do teste

b) Avaliação da influência das diferentes características e espessuras das mantas, S/M (sem manta), 1 M3, 2 M3, 1 M3 e 1 M5 e 2 M3 e 1 M5, na remoção dos parâmetros: Turbidez, Cor, Fe e Mn, NMP de Coliformes Totais e Duração da Carreira de Filtração. Serão mantidas fixas a taxa de filtração, 6 m³/m².dia e a espessura da camada de areia, 30 cm. Utilizou-se cinco filtros e adotadas três repetições e a metodologia empregada foi o teste F e comparadas as médias por regressões polinomiais, seguindo o modelo apresentado no Quadro 10.

Quadro 10 - Modelo do Ensaio de influência das mantas

FV ¹	GL ²	QM ³	F ⁴
Mantas	4	QM ₁	QM ₁ /QM ₂
Resíduo	10	QM ₂	-
Total	14	-	-

¹ Formas de variação

² Grau de liberdade

³ Quadrados médios

⁴ Significância do teste

c) Avaliação da influência das taxas de filtração, 3, 6, 9 e 12 m³/m².dia na remoção dos parâmetros: Turbidez, Cor, Fe e Mn, NMP de Coliformes Totais e Duração da Carreira de filtração. Serão mantidas as constantes de espessura da camada de areia, 30 cm e a espessura e característica da manta 2 M3 e 1 M5. Neste ensaio foram adotadas 2 repetições para a taxa 3 m³/m².dia e 3 repetições para as demais taxas; a metodologia empregada foram os testes F e regressões polinomiais seguindo o modelo apresentado no Quadro 11.

Quadro 11 - Modelo do Ensaio de influência da taxa de filtração.

FV ¹	GL ²	QM ³	F ⁴
Taxa de filtração	3	QM ₁	QM ₁ /QM ₂
Resíduo	8	QM ₂	-
Total	11	-	-

¹ Formas de variação

² Grau de liberdade

³ Quadrados médios

⁴ Significância do teste

d) Avaliação do tempo de funcionamento dos filtros em função de diferentes tratamentos: camadas de areia, condições de utilização das mantas sintéticas não tecidas e taxas de filtração. Essa avaliação permitiu comprovar a coerência de procedimentos operacionais do sistema de filtração lenta em função do tempo de operação dos mesmos. O modelo do ensaio de influência também segue o esquema das Tabelas anteriormente descritas, entretanto, varia em função dos número de tratamentos e repetições para cada caso. A metodologia estatística se fundamentou no teste F e a comparação das médias foi feita através do teste de Tukey, por serem dados quantitativos.

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o pacote estatístico SANEST/ ZONTA (1987), atribuindo-se a simplicidade operacional do mesmo como fator decisivo na escolha do software.

V. COMPILAÇÃO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os resultados experimentais foram organizados, de forma a alimentarem o software estatístico SANEST/ZONTA (1987) e são apresentados, de forma comentada e, ilustrados nas Figuras 6 a 29.

As séries de ensaios realizadas demonstraram resultados de remoção de turbidez, cor, ferro e manganês e coliformes totais em diferentes espessuras de camadas de areia, diferentes condições de aplicação das mantas sintéticas, diferentes taxas de filtração e referente ao tempo de funcionamento dos filtros, conforme descrito anteriormente. Esses resultados foram agrupados e representados graficamente, melhor ilustrando os resultados experimentais que, foram analisados estatisticamente. As Figuras de 6 a 9 demonstram os valores de remoção para os parâmetros avaliados, obtidos segundo a utilização de diferentes camadas de areia - 30, 60 e 80 cm. Os valores são agrupados e apresentados, segundo cada repetição realizada e os valores médios obtidos.

Os resultados de cada parâmetro medido, variam conforme se observam nas Figuras 6 a 9, indicando alta variabilidade, principalmente na remoção de coliformes totais (NMP/100ml).

A oscilação para os diferentes parâmetros medidos pode ser atribuída à qualidade da água afluyente. A vazão de entrada, quando da captação direto da fonte, está suscetível a picos de contaminação, que fogem do controle operacional.

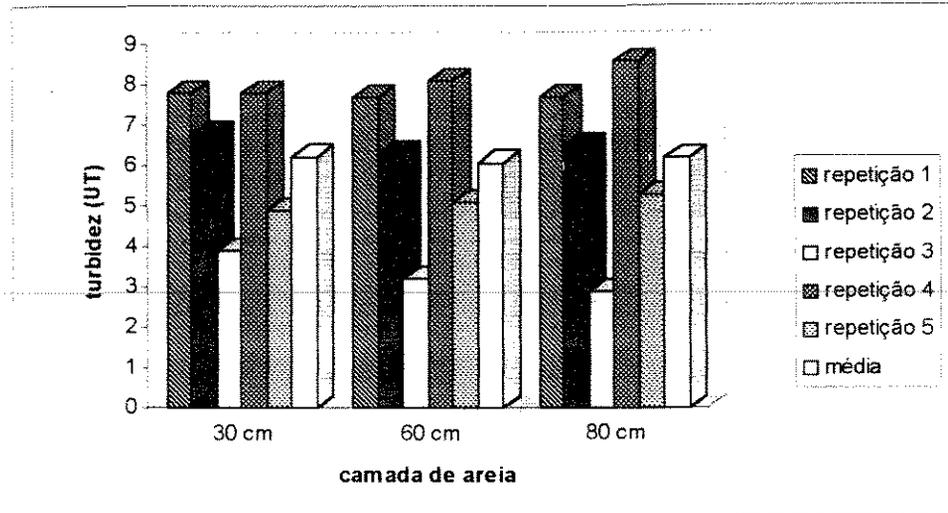


Figura 6 - Valores de remoção de turbidez (UT) por diferentes camadas de areia.

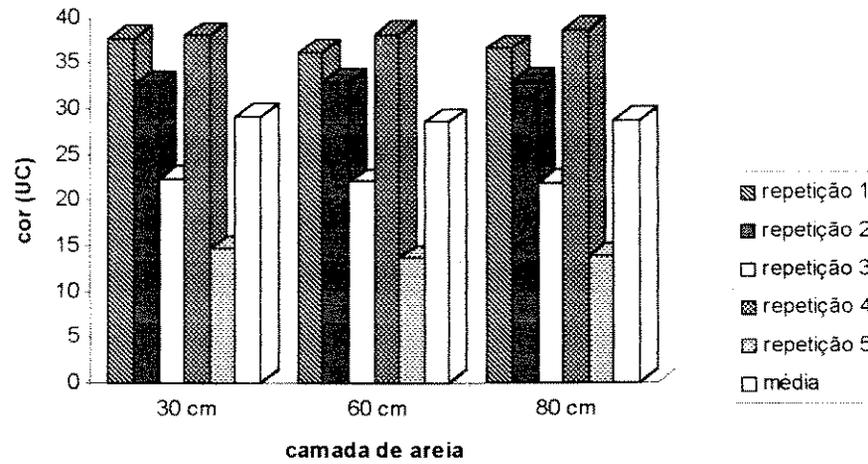


Figura 7 - Valores de remoção de cor (UC) por diferentes camadas de areia.

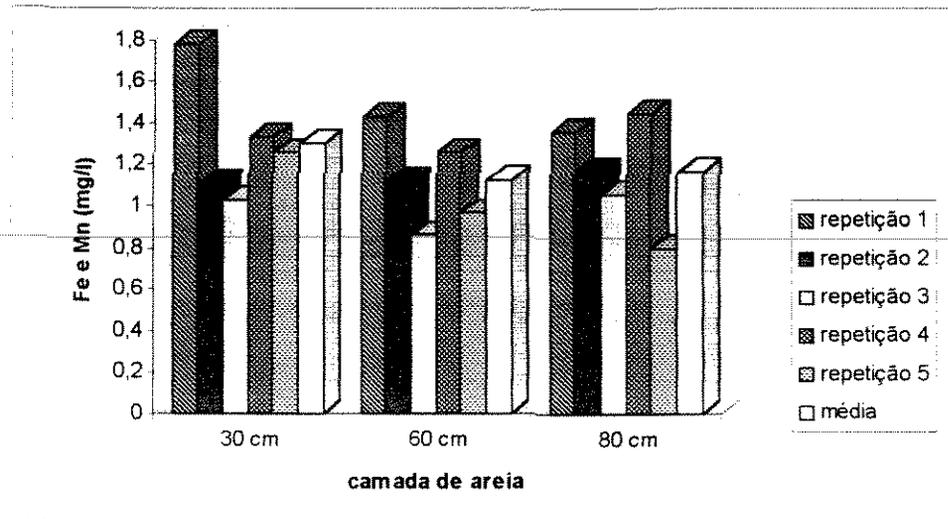


Figura 8 - Valores de remoção de ferro e manganês (mg/l) por diferentes camadas de areia.

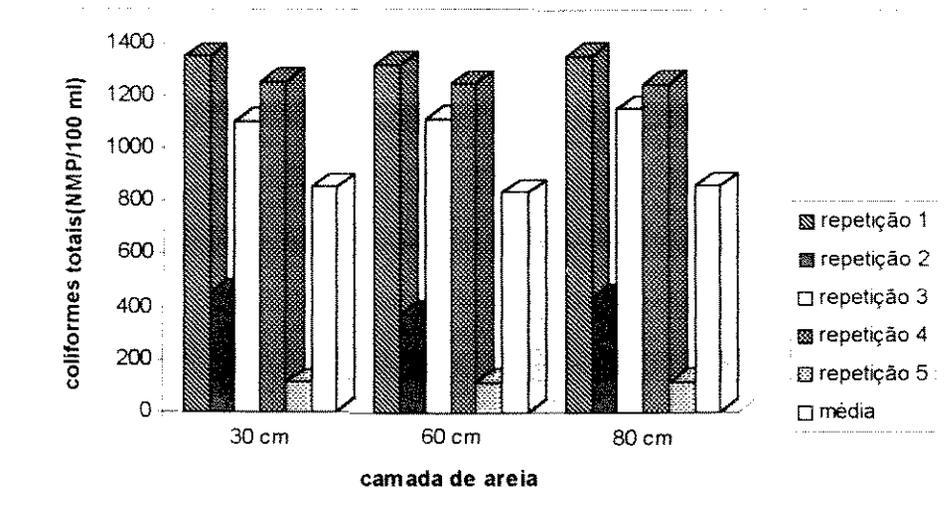


Figura 9 - Valores de remoção de coliformes totais (NMP/100 ml) por diferentes camadas de areia.

As Figuras 10 a 13 mostram, respectivamente, os resultados de remoção de Turbidez, Cor, Ferro e Manganês e Coliformes Totais segundo a aplicação das diferentes condições de aplicabilidade das mantas sintéticas não tecidas: sem manta, uma camada de M3, duas camadas de M3, a combinação de uma camada de M3 e uma camada de M5 e por fim ação conjunta de duas camadas de M3 e uma camada de M5.

Para essas condições experimentais foram realizadas três repetições, indicadas pela legenda nas Figuras 10 a 13, bem como são indicados os valores médios de remoção.

A maior variabilidade foi verificada para a remoção de Turbidez e Coliformes Totais, entretanto, as diferentes repetições não variam entre si, consequentemente apresentam-se valores médios observados semelhantes, comprovação que se terá na avaliação estatística, propriamente dita.

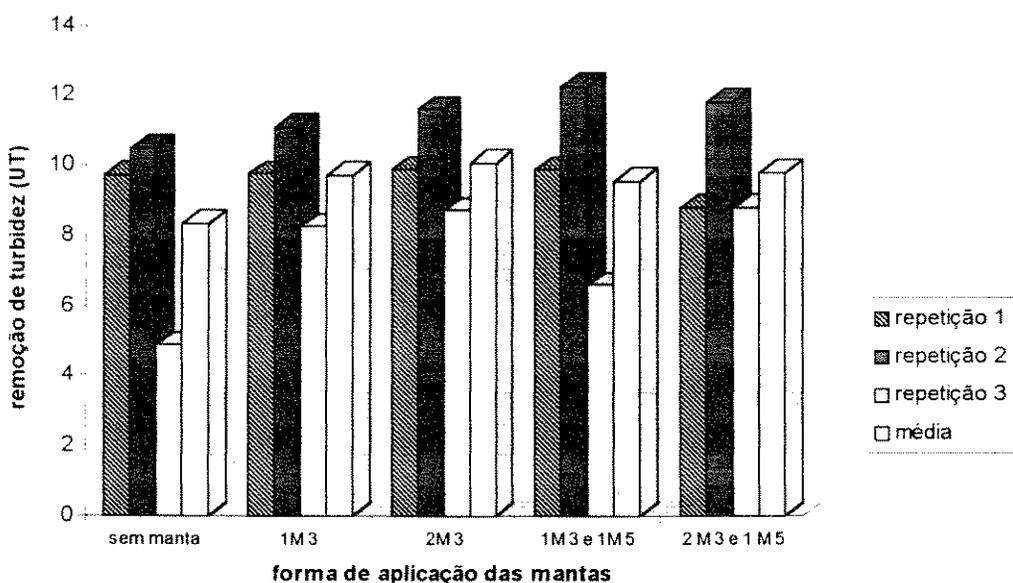


Figura 10 - Valores de remoção de turbidez para diferentes condições de aplicabilidade das mantas sintéticas não tecidas.

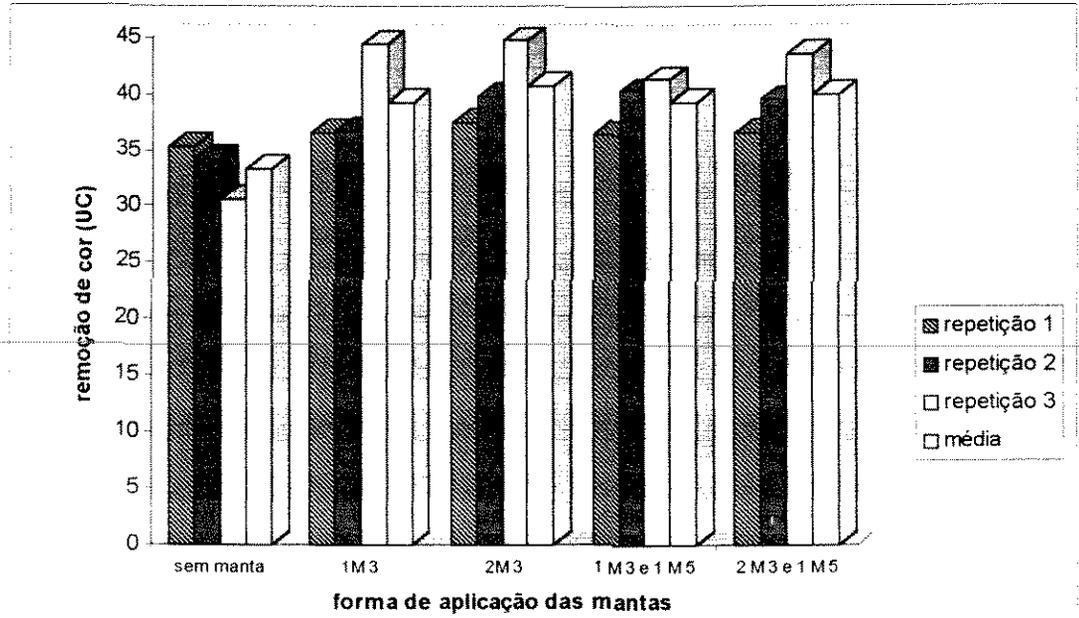


Figura 11 - Valores de remoção de cor para diferentes condições de aplicabilidade das mantas sintéticas não tecidas.

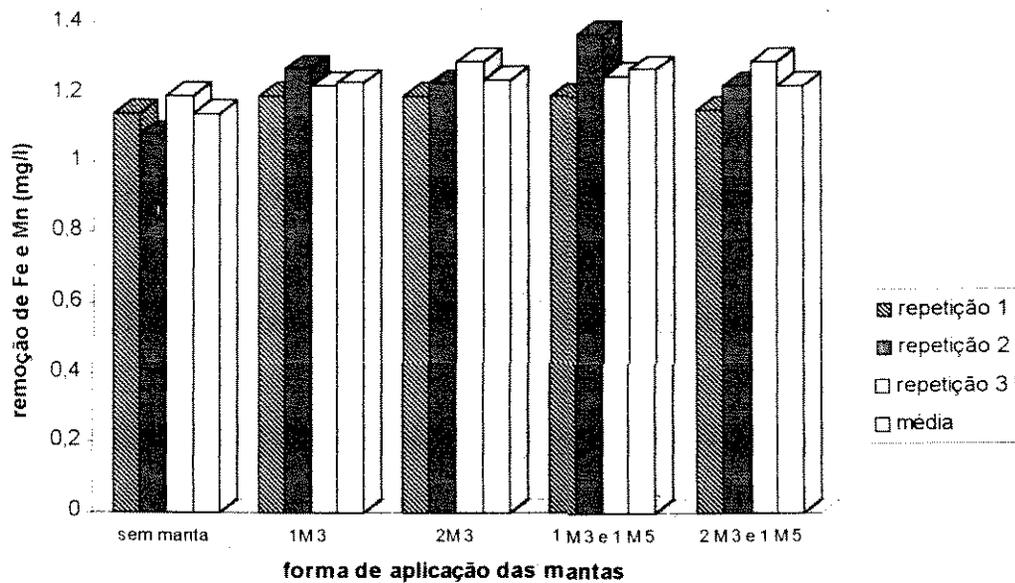


Figura 12 - Valores de remoção de ferro e manganês para diferentes condições de aplicabilidade das mantas sintéticas não tecidas.

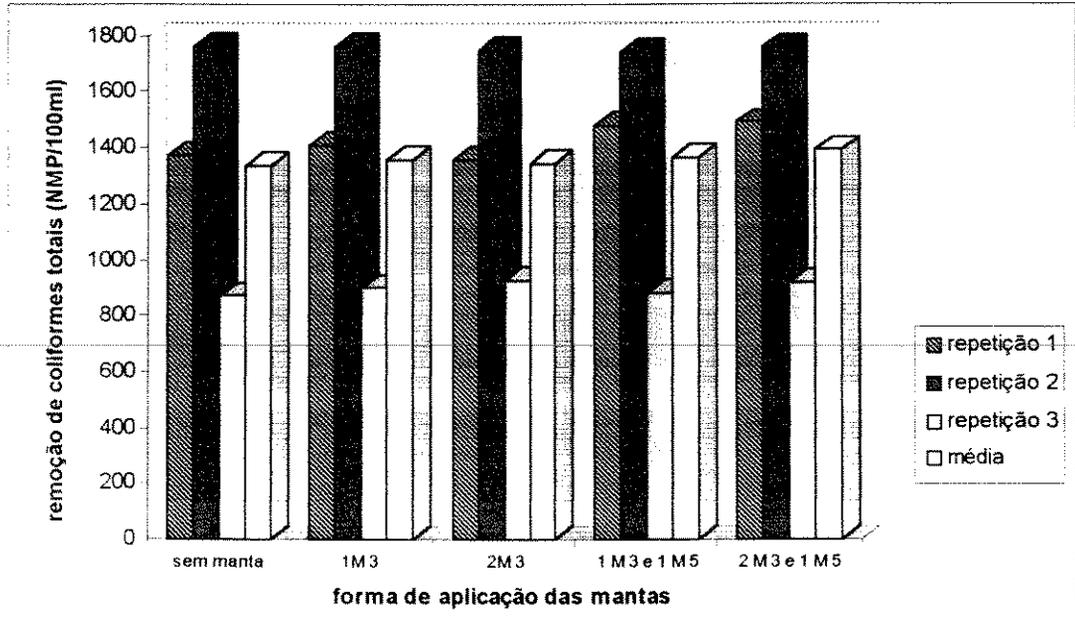


Figura 13 - Valores de remoção de coliformes totais para diferentes condições de aplicabilidade das mantas sintéticas não-tecidas.

As figuras 14 a 17 referem-se aos valores obtidos para diferentes condições de aplicação de mantas (tratamentos) à taxa de filtração $9 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ e condição fixa de 30 cm de areia como meio filtrante combinado. Foram realizadas três repetições e, da mesma maneira os resultados são apresentados para cada tratamento, segundo as diferentes repetições e respectivas médias.

A importância da visualização gráfica, tão utilizada pelos sanitaristas, é fundamental para indicar as condições experimentais, mas por si só, os gráficos são indicativos isolados e, não podem ser objeto de inferências, como os procedimentos estatísticos o são.

Comparando-se por exemplo, as figuras 14 e 15 percebe-se que para um mesmo tratamento (sem manta) os melhores valores de remoção não são necessariamente na mesma repetição. Ou seja, no tratamento “sem manta” a remoção de turbidez foi maior na terceira repetição ou filtro (Figura 14), enquanto que a maior remoção de cor foi maior na primeira repetição ou filtro (Figura 15).

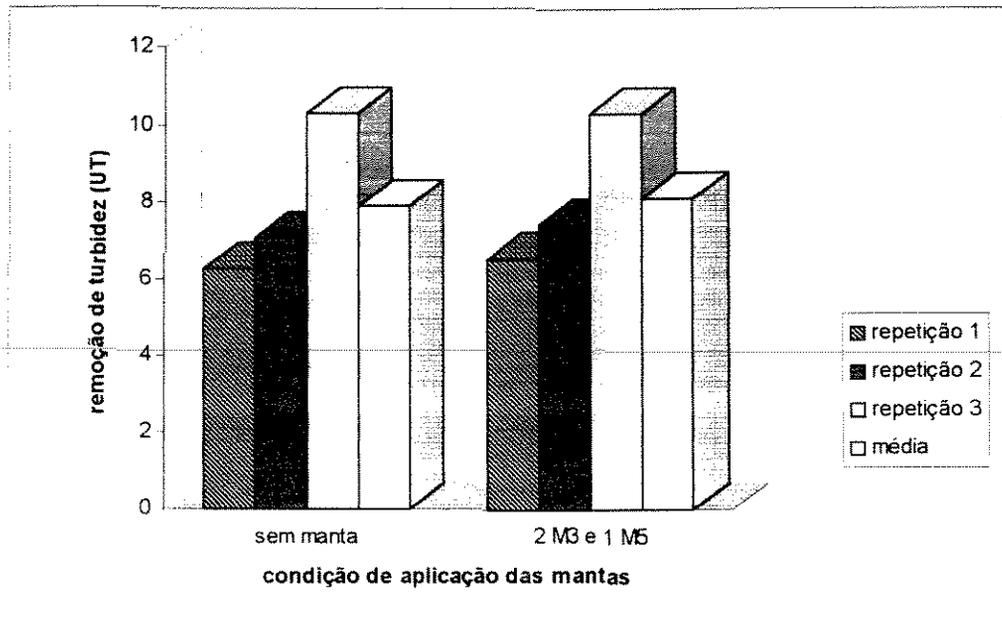


Figura 14 - Valores de remoção de turbidez para diferentes condições de aplicação das mantas à taxa de filtração de $9 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$.

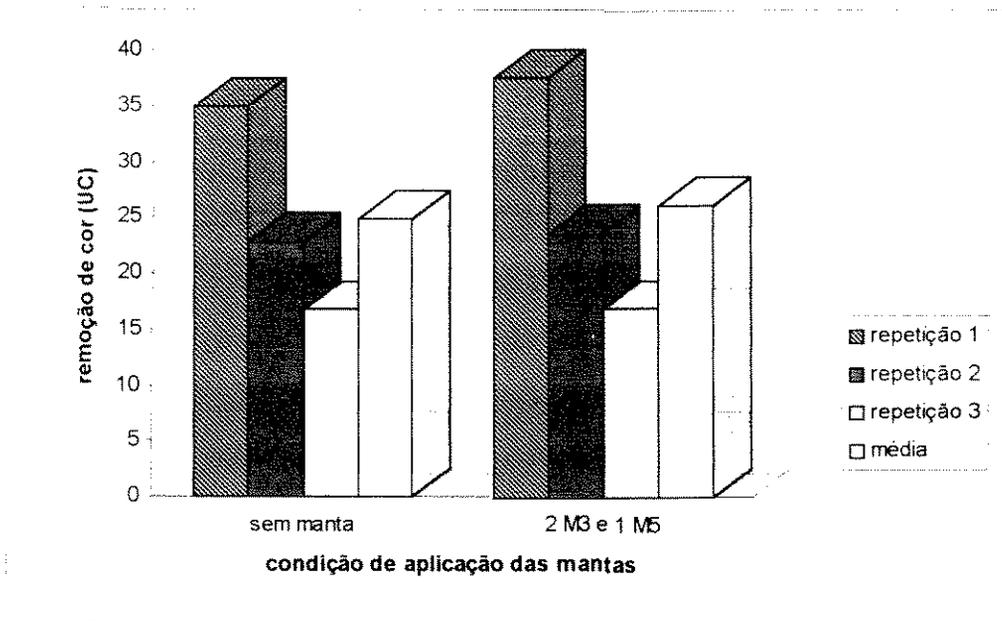


Figura 15 - Valores de remoção de cor para diferentes condições de aplicação das mantas à taxa de filtração de $9 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$.

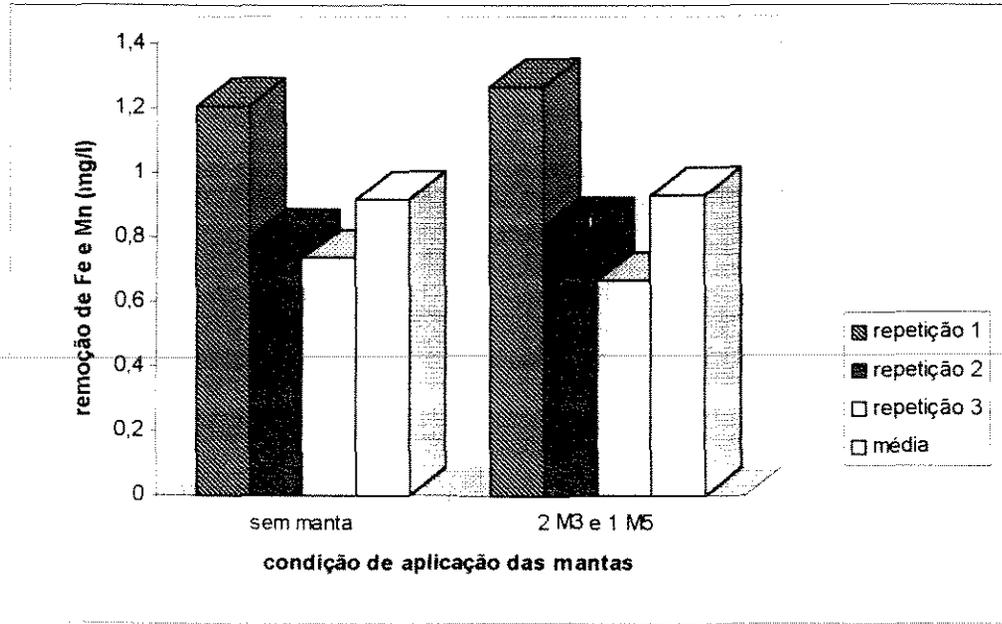


Figura 16 - Valores de remoção de ferro e manganês para diferentes condições de aplicação das mantas à taxa de filtração de $9 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$.

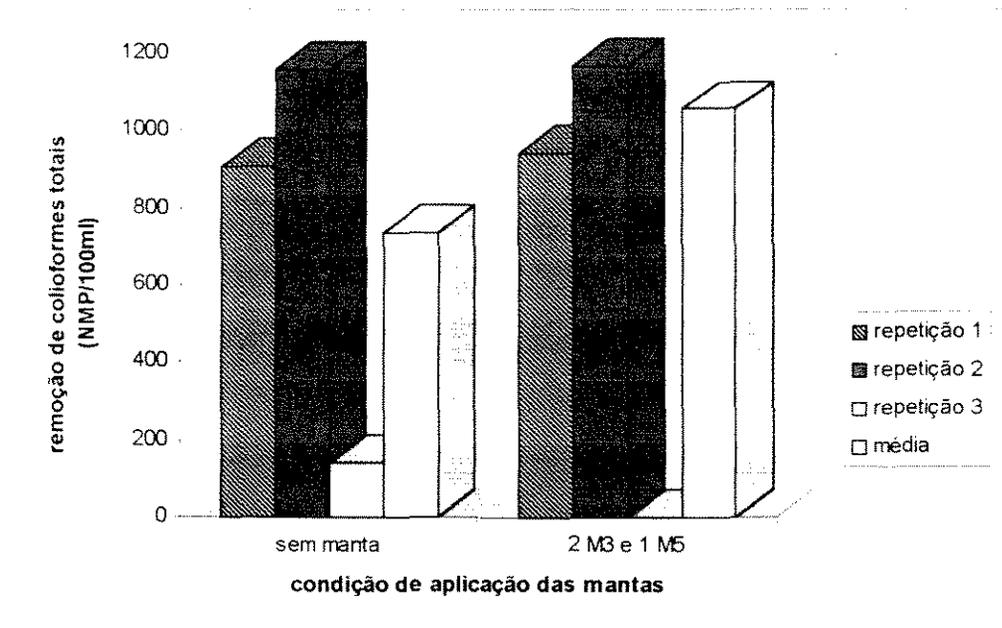


Figura 17 - Valores de remoção de coliformes totais para diferentes condições de aplicação das mantas à taxa de filtração de $9 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$.

Esses resultados indicam que acontecem picos de determinados parâmetros avaliados, mostrando que a variabilidade se dá não só pelos diferentes tratamentos considerados, mas também pela variabilidade afluyente, que oscila e deve ser controlada sempre que possível.

Foram realizadas três repetições e os tratamentos equívalem às condições “sem manta” e duas camada de M3 combinadas a uma camada de M5. Os gráficos também apresentam os valores médios. Na Figura 17 (condição 2 M3 e 1 M5) percebe-se a falta de uma das repetições, que por motivos operacionais não foi possível ser medida. Nesse caso, estatisticamente considera-se esse valor como “parcela perdida”. Para nosso estudo, onde é abordada uma “problemática” (tecnologia) totalmente nova para a estatística, não é recomendável ter-se parcelas perdidas, claro que em muitos casos, essa situação é inevitável.

Os valores de remoção de turbidez, Cor, Ferro e Manganês e Coliformes Totais medidos em diferentes condições de aplicação das mantas sintéticas não tecidas, a uma taxa de $12 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e 30 cm de areia, são apresentados nas Figuras 18 a 21. Também são apresentados nessas Figuras os valores médios obtidos por cada repetição, oscilando dentro de cada tratamento.

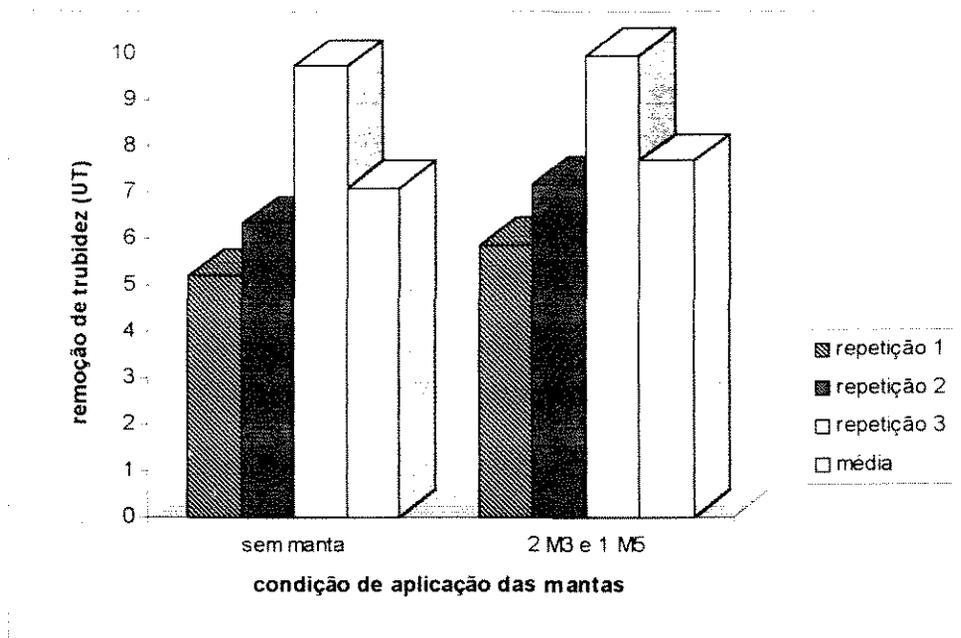


Figura 18 - Valores de remoção de turbidez para diferentes condições de aplicação das mantas à taxa de filtração de $12 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e 30 cm de camada de areia.

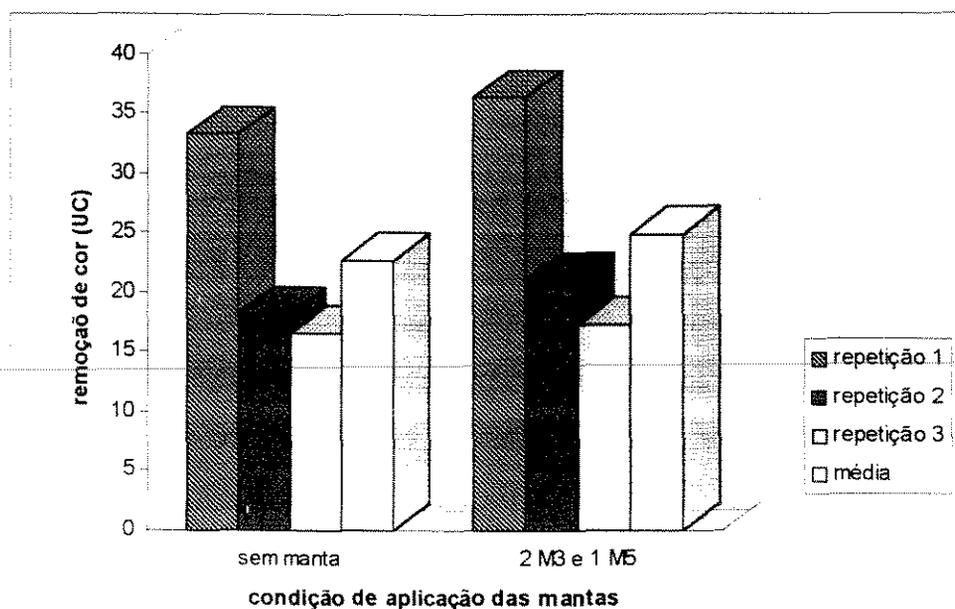


Figura 19 - Valores de remoção de cor para diferentes condições de aplicação das mantas à taxa de filtração de $12 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ e 30 cm de camada de areia.

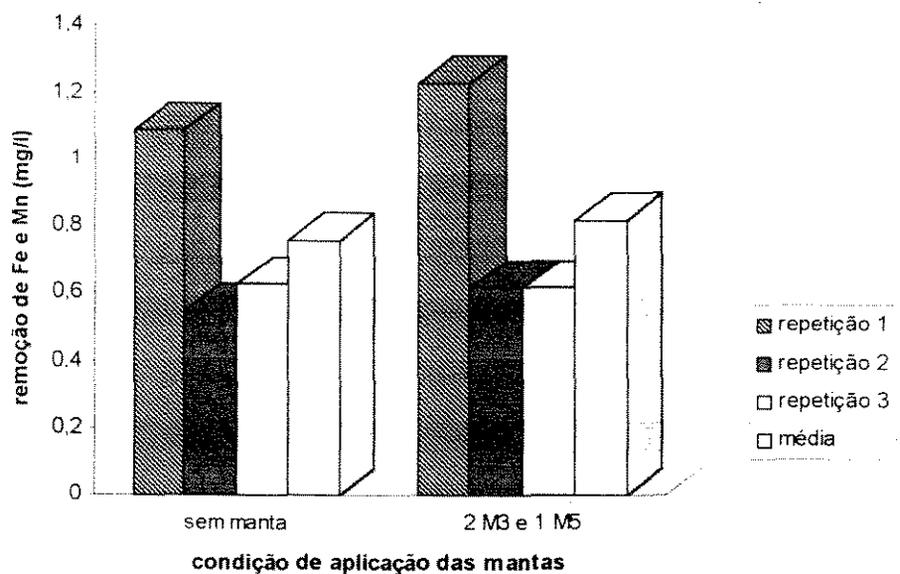


Figura 20 - Valores de remoção de ferro e manganês para diferentes condições de aplicação das mantas à taxa de filtração de $12 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ e 30 cm de camada de areia.

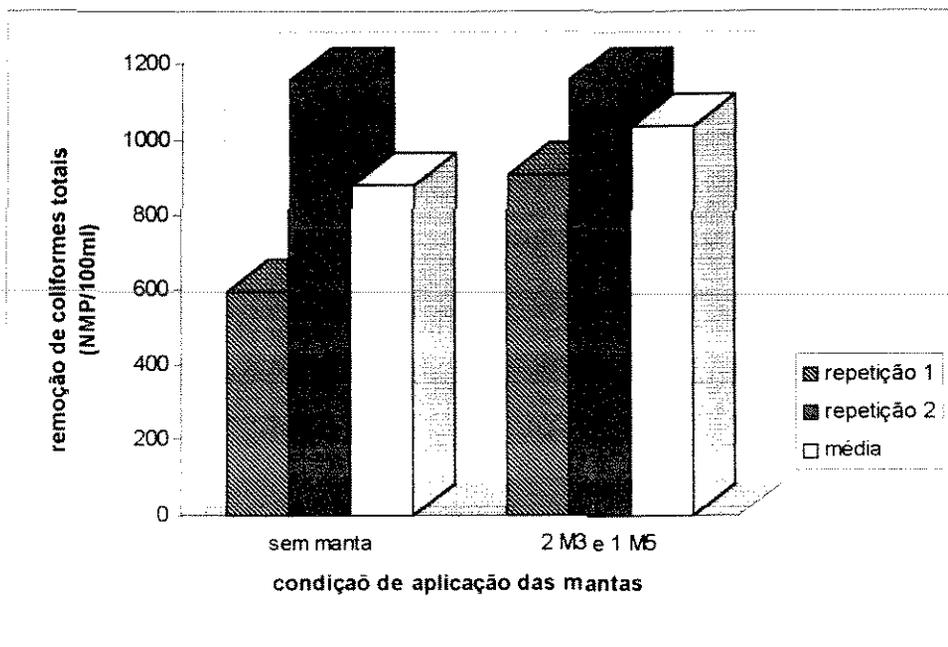


Figura 21- Valores de remoção de coliformes totais para diferentes condições de aplicação das mantas à taxa de filtração de $12 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e 30 cm de camada de areia.

Nas Figuras 22 a 25 temos valores de remoção para uma taxa de filtração de $3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e 30 cm de areia, avaliando-se as condições de uso das mantas sintéticas, sem manta (tratamento 1), uma camada de M3 e uma camada de M5 (tratamento 2) e duas camadas de M3 combinada a uma camada de M5 (tratamento 3). Foram avaliadas apenas duas repetições que referem-se aos dados experimentais obtidos.

A estatística experimental, de forma geral, fundamenta-se basicamente nas repetições. Isso nos sugere, na elaboração de um planejamento experimental, adotar o número maior possível de repetições. Esse cuidado acentua-se, para os dados obtidos em instalações de filtração lenta que, inicialmente são operados estatisticamente.

As análises estatísticas nos mostrará, de forma perceptível, o efeito da variabilidade representado pelo coeficiente de variação. Os resultados apresentados na Figuras 22 a 25, contam com o número mínimo para repetições (duas) e, essas condições devem ser evitadas em experimentos com filtração lenta.

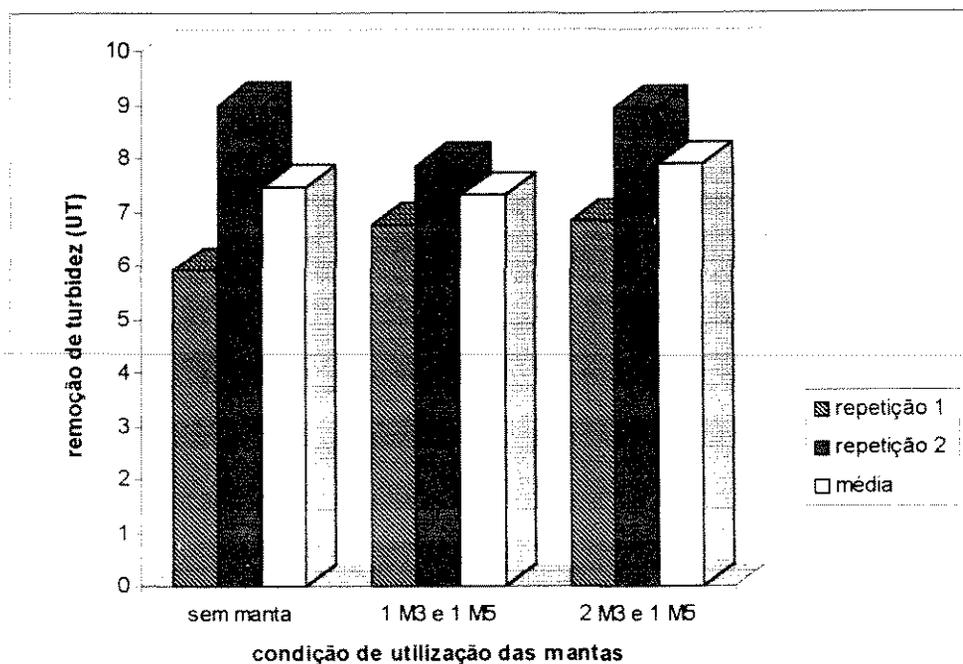


Figura 22 - Remoção de turbidez por diferentes condições de uso das mantas sintéticas não tecidas à taxa de filtração de $3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ e 30 cm de areia.

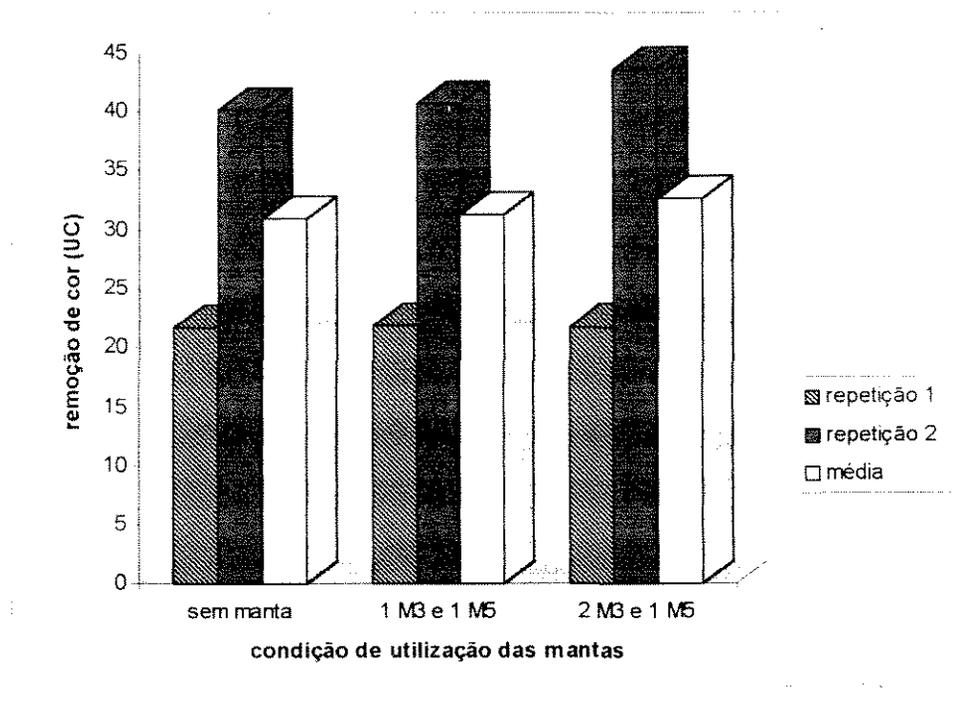


Figura 23 - Remoção de cor por diferentes condições de uso das mantas sintéticas não tecidas à taxa de filtração de $3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ e 30 cm de areia.

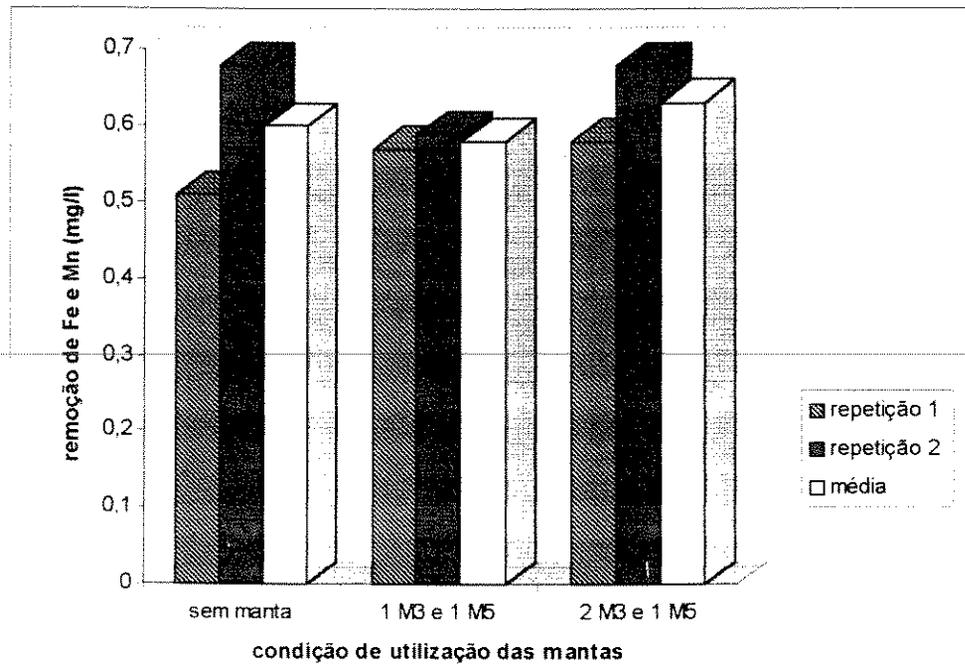


Figura 24 - Remoção de ferro e manganês por diferentes condições de uso das mantas sintéticas não tecidas à taxa de filtração de $3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ e 30 cm de areia.

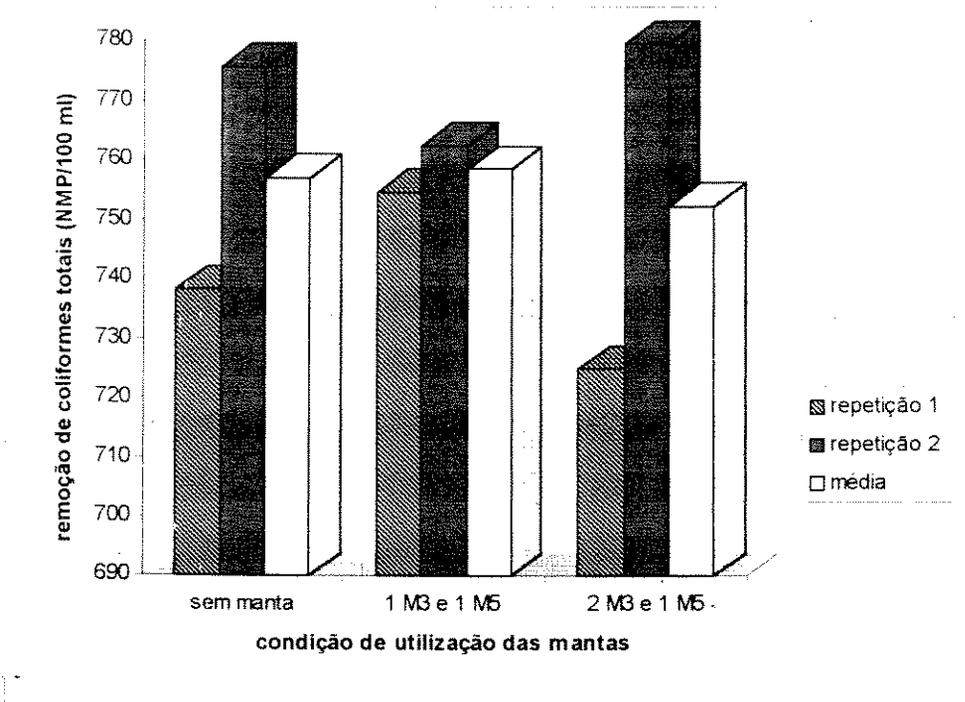


Figura 25 - Remoção de coliformes totais por diferentes condições de uso das mantas sintéticas não tecidas à taxa de filtração de $3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ e 30 cm de areia.

A avaliação de diferentes taxas de filtração em condições fixas de duas camadas de M3 e uma camada de M5, com 30 cm de areia, foi realizada conforme demonstram as Figuras 26 a 29.

Foram monitoradas três repetições, conformes se observa nas Figuras 26 a 29, juntamente com os valores médios, comparados estatisticamente no capítulo seguinte. A repetição 3 foi considerada como “parcela perdida” em todos os parâmetros avaliados para a taxa de filtração 3. Também perdeu-se a repetição 3 para as taxas 9 e 12 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ para a remoção de Coliformes Totais.

Pela análise visual dos gráficos, percebemos que os maiores valores médios de remoção foram medidos na taxas de 3 e 6 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, exceto para o parâmetro coliformes totais e Fe e Mn, onde a menor medida foi justamente na taxa de 3 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$.

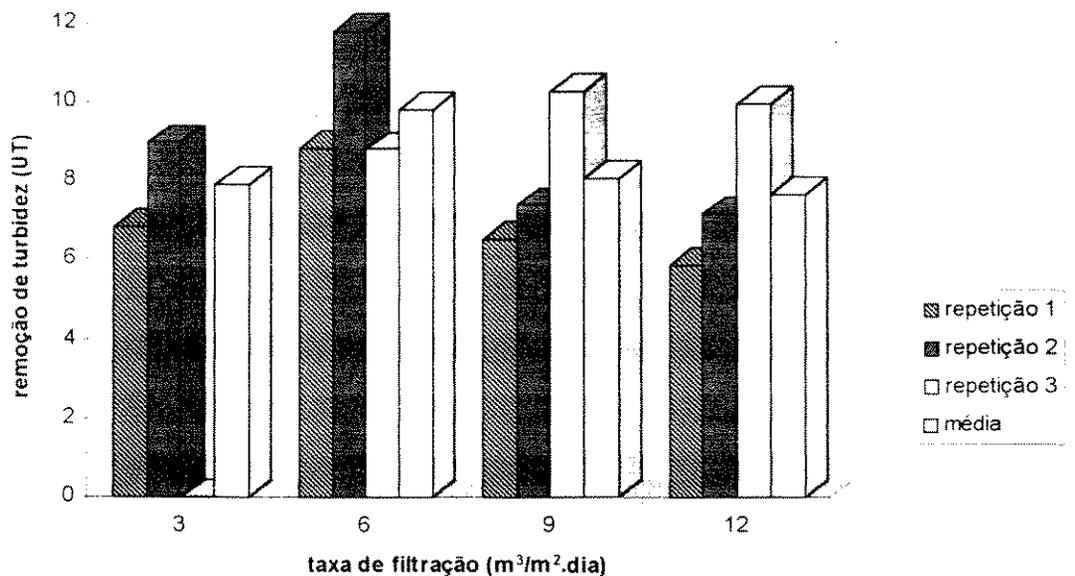


Figura 26 - Remoção de turbidez segundo diferentes taxas de filtração em condição fixa de 2 M3 e 1 M5 e 30 cm de areia.

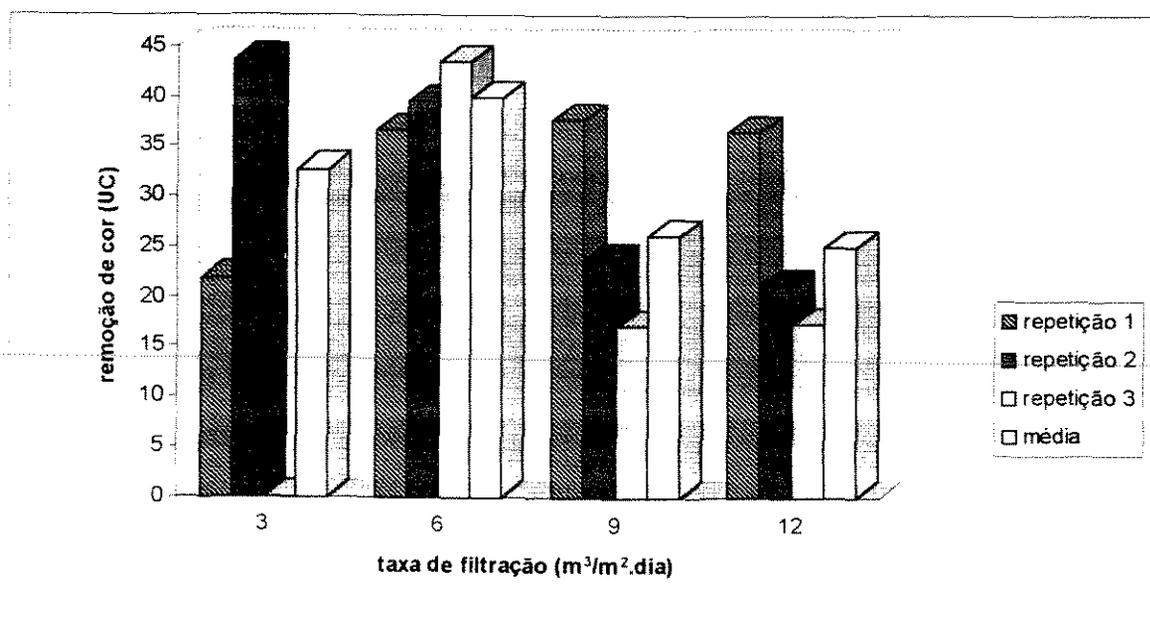


Figura 27 - Remoção de cor segundo diferentes taxas de filtração em condição fixa de 2 M3 e 1 M5 e 30 cm de areia.

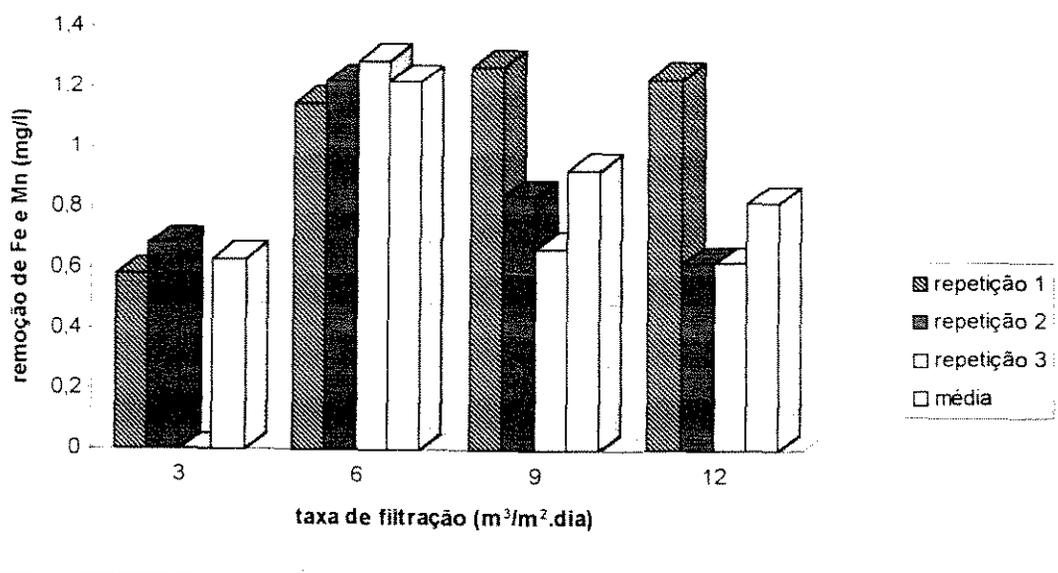


Figura 28 - Remoção de ferro e manganês segundo diferentes taxas de filtração em condição fixa de 2 M3 e 1 M5 e 30 cm de areia.

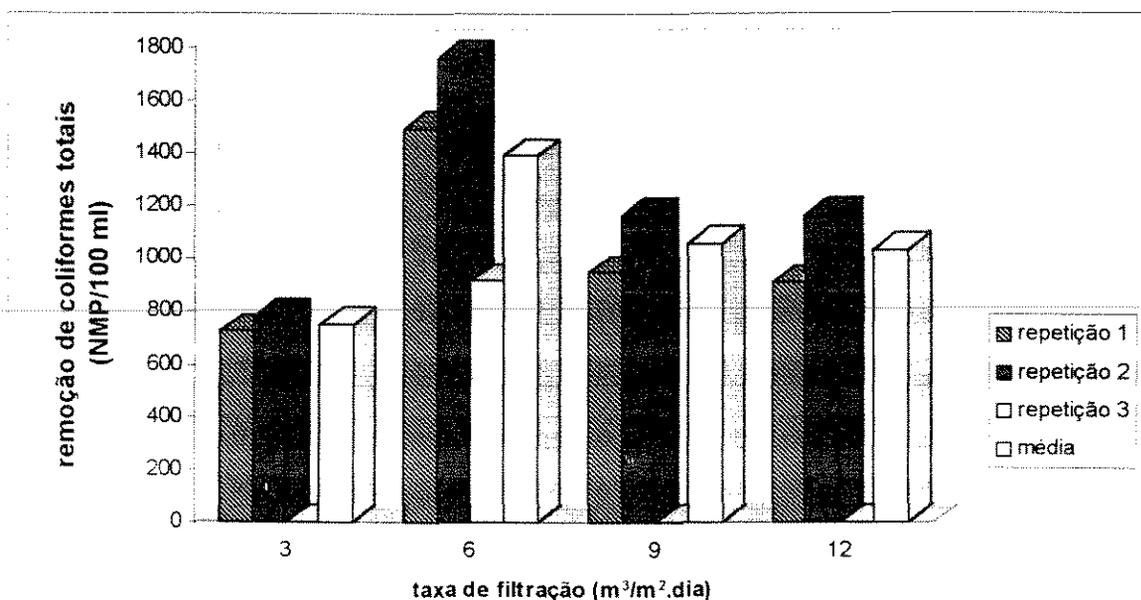


Figura 29 - Remoção de coliformes totais segundo diferentes taxas de filtração em condição fixa de 2 M3 e 1 M5 e 30 cm de areia.

Nas Figuras 30 a 35 tem-se as médias dos valores referentes ao tempo de funcionamento dos filtros, para diferentes condições de operação dos filtros. Os resultados obtidos para essa variável mostram-se em alguns casos, bastante diferentes, indicando inicialmente, a possibilidade de ocorrer diferenças significativas.

A Figura 30, representativa do comportamento de diferentes camadas de areia frente ao tempo de funcionamento dos filtros, não apresenta grandes diferenças. Entretanto, na Figura 31 já pode-se observar um aumento entre os diferentes tratamentos adotados (condições de uso das mantas). A condição sem manta difere-se, em valores de tempo de funcionamento dos filtros, principalmente da condição 2 M3.

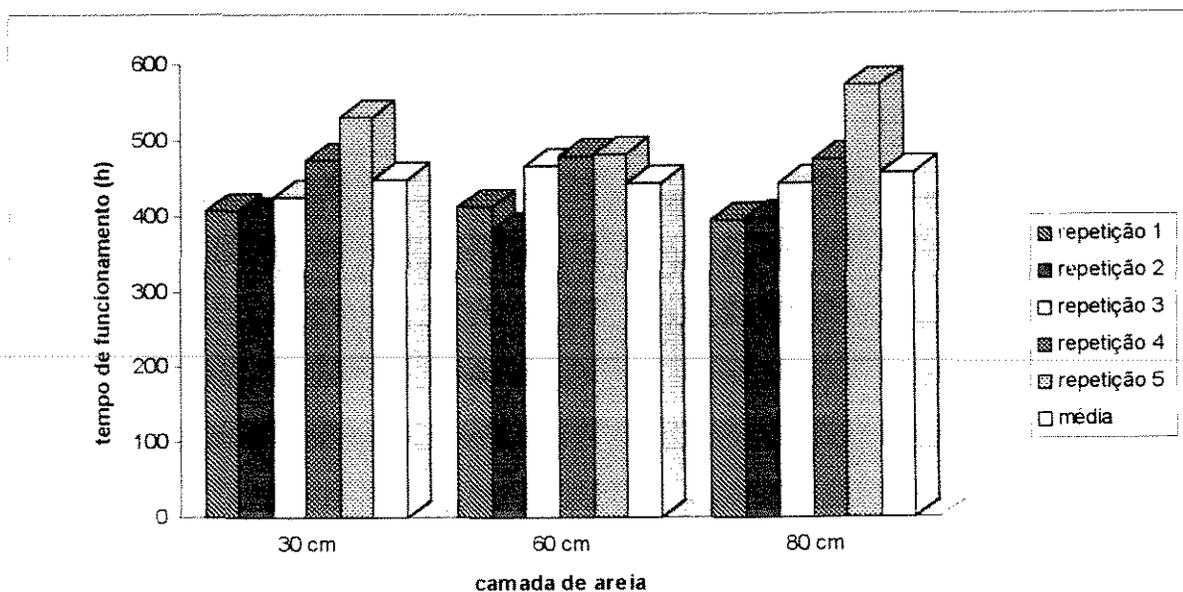


Figura 30 - Valores de tempo de funcionamento dos filtros (horas) para diferentes camadas de areia combinadas a uma camada de M3 e vazão de $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ dia}$.

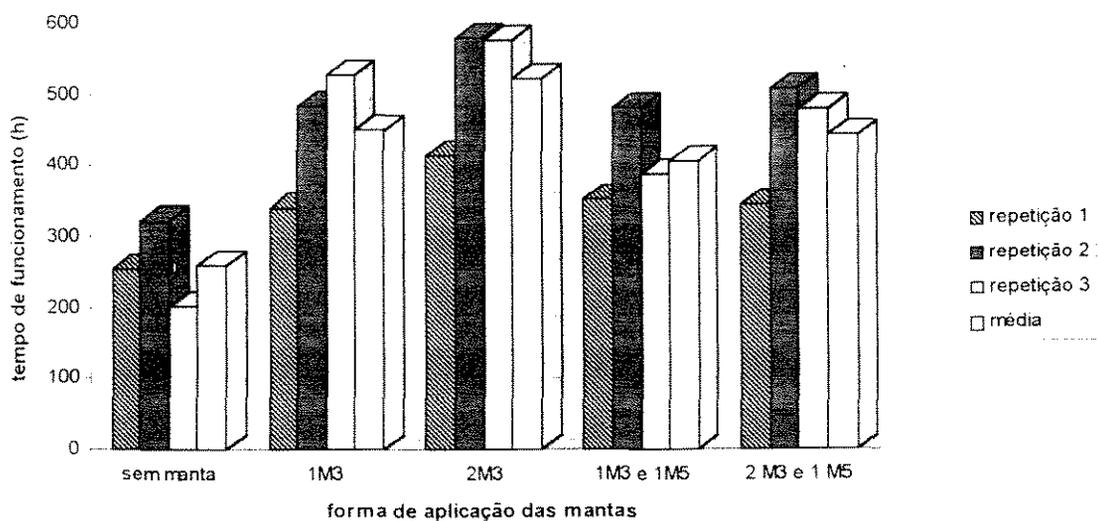


Figura 31 - Valores de tempo de funcionamento dos filtros (horas) para diferentes condições de uso das mantas sintéticas combinadas a uma camada de 30 cm de areia e vazão de $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ dia}$.

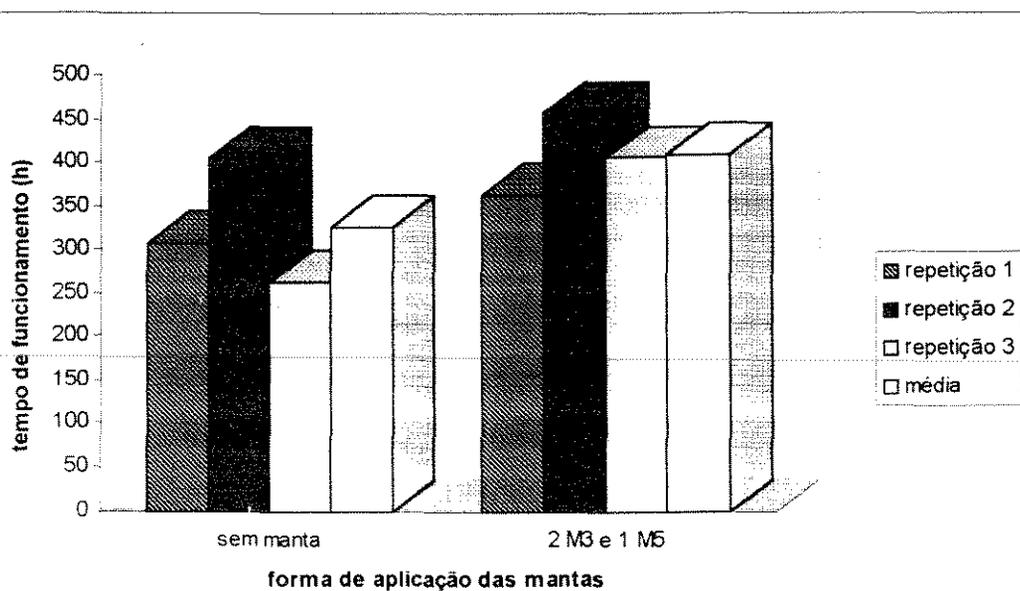


Figura 32 - Valores de tempo de funcionamento dos filtros (horas) para diferentes condições de uso das mantas sintéticas combinadas a uma camada de 30 cm de areia e vazão de 9 m³/m².dia.

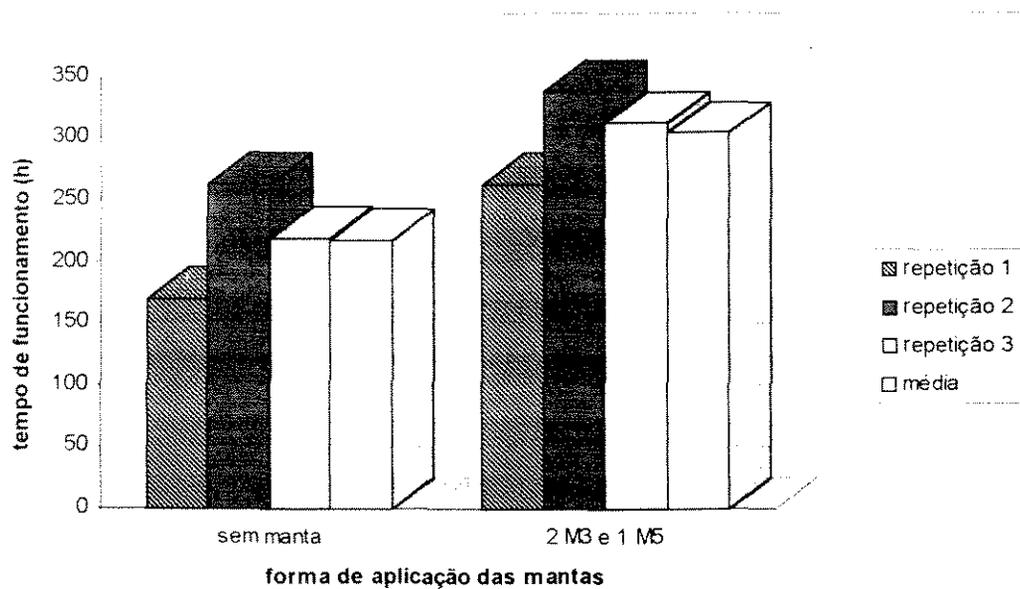


Figura 33 - Valores de tempo de funcionamento dos filtros (horas) para diferentes condições de uso das mantas sintéticas combinadas a uma camada de 30 cm de areia e vazão de 12 m³/m².dia.

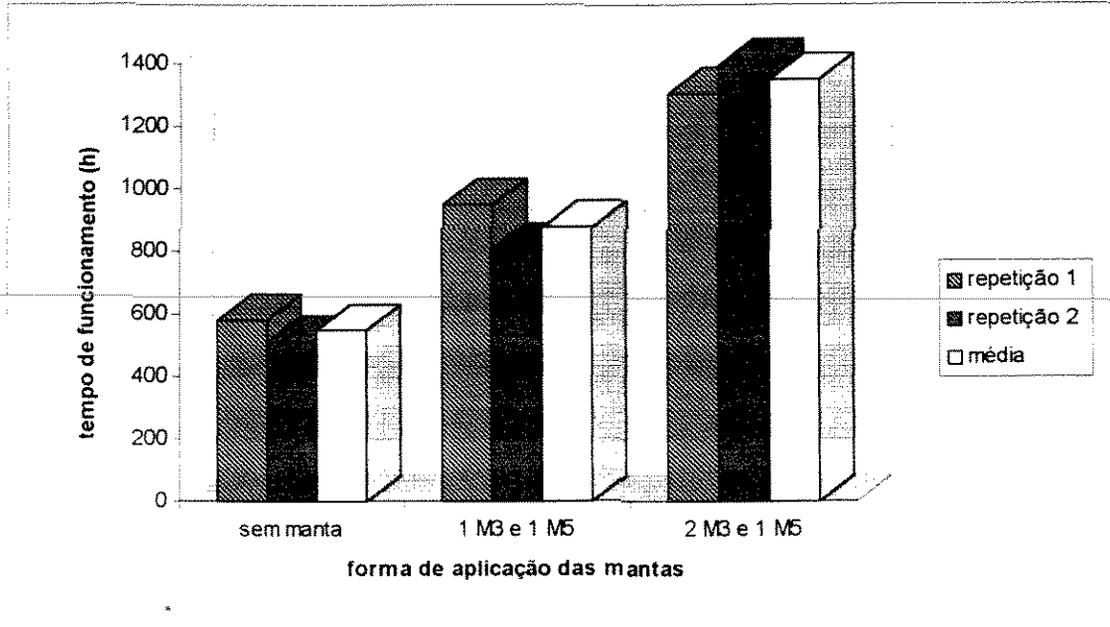


Figura 34 - Valores de tempo de funcionamento dos filtros (horas) para diferentes condições de uso das mantas sintéticas combinadas a uma camada de 30 cm de areia e vazão de $3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$.

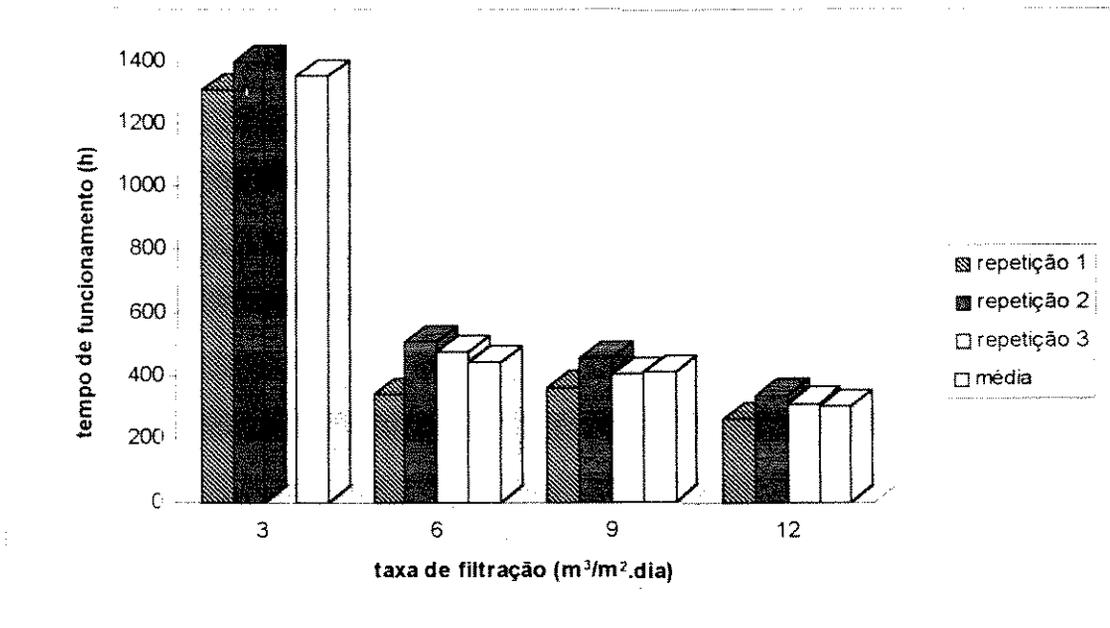


Figura 35 - Valores de tempo de funcionamento dos filtros (horas) para diferentes taxas de filtração combinadas a uma camada de 30 cm de areia e uso de 2 M3 e 1 M5.

O ponto máximo da diferença analisada pela representação gráfica acontece na Figura 35, onde, de forma clara, o tempo de funcionamento é altíssimo se comparado às demais taxas de filtração. Esse fator é lógico, avaliando-se o comportamento hidráulico do sistema, ou seja, menor a taxa de filtração, maior o tempo de funcionamento. Contudo, verificar se essas diferenças são captadas pelas análises estatísticas é o que interessa, como forma de realizar-se inferências fiéis e verdadeiras.

Todos os resultados aqui apresentados, foram compilados no software SANEST/ZONTA (1987), onde criou-se arquivos de dados, para o planejamento experimental estabelecido, no caso, um Delineamento Inteiramente ao Acaso.

Os arquivos criados foram operados estatisticamente, por Análise de Variância e comparou-se os valores médios, por Regressões Polinomiais. A utilização de Regressões Polinomiais são recomendadas para avaliação de dados qualitativos, condições verificadas em investigações sanitárias e estudos envolvendo filtração.

Os resultados referentes ao tempo de funcionamento dos filtros, foram comparados estatisticamente pelo teste de Tukey (mais rigoroso), método usado para dados quantitativos.

No próximo capítulo, é apresentado os resultados das análises estatísticas, acompanhados de uma discussão detalhada para cada etapa de avaliação.

VI. ANÁLISE E DISCUSSÃO

Na seqüência, apresentam-se as análises estatísticas dos dados, em Quadros simplificados, representativos de todas as etapas experimentais.

As letras iguais entre si, nas colunas, indicam que não existe diferença significativa entre os diferentes tratamentos adotados.

São desenvolvidos comentários em torno de cada Quadro de resultados. Esses comentários têm a função de expressar, em primeiro instante, uma discussão em torno de todo o trabalho realizado. Considerações que devem ser estendidas à situação global, em experimentos com filtração lenta.

Em muitas análises, para alguns parâmetros, o coeficiente de variação foi bastante elevado, indicando que as condições desse tipo de experimentação produz resultados amostrais com pouca homogeneidade. Uma alternativa seria aumentar o número de repetições utilizadas, aproximando os valores médios e tornando-os mais homogêneos. Outro fator controlador, em caráter sugestivo, é monitorar a qualidade do afluente. Esse aspecto, torna-se complexo, porque em muitos casos, opera-se com água proveniente de mananciais, a qual está sujeita a variações dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos em diferentes horários do dia. Fator esse, que ocasiona maior interferência em avaliações estatísticas para investigações com filtração lenta e em saneamento.

As análises estatísticas refletiram a importância em se estabelecer previamente um planejamento experimental e que, essa preocupação se aplica de forma intensa à filtração lenta, onde tem-se necessidade de um grande período de operação dos filtros. Primeiro, em função do amadurecimento do filtro, seguido da duração da carreira de filtração que chega a

atingir, para os dados avaliados, 1395 horas (aproximadamente 58 dias). De maneira geral, o aumento do número de repetições e o total cuidado para não se perdê-las, em muito pode colaborar para um controle restrito do coeficiente de variação (CV).

Foram realizadas regressões polinomiais para os casos (etapas) em que se dispunha de dados experimentais qualitativos¹.

Os Quadros 12 a 23 apresentam os resultados das análises estatísticas realizadas, correspondentes, respectivamente, aos resultados anteriormente descritos graficamente. Nos Quadros, são dispostos os valores médios comparados, de acordo com os tratamentos adotados para cada etapa, avaliando-se em todos os casos a remoção, já referenciada, de turbidez, cor, ferro e manganês e coliformes totais.

Percebe-se, de acordo com o Quadro 12 que não houve diferença significativa, ao nível de significância 5%, com relação à influência de diferentes camadas de areia adotadas (30, 60 e 80 cm) para os diferentes parâmetros avaliados.

Quadro 12 - Análise estatística da influência de três diferentes espessuras de areia aplicadas à remoção de turbidez, cor, fe e mn e coliformes totais

Tratamento	Parâmetro avaliado				
	turbidez (UT)	cor (UC)	ferro e manganês (mg/l)	coliformes totais (NMP/100ml)	nº de repetições
30 cm	6.24 A ¹	29.10 A	1.30 A	853.00 A	5
60 cm	6.08 A	28.58 A	1.13 A	836.40 A	5
80 cm	6.20 A	28.74 A	1.17 A	860.20 A	5
Média geral	6.17	28.81	1.20	849.87	-
CV ²	32.46%	36.18%	21.67%	64.40%	-

¹ Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si ao nível de significância 5%

² Coeficiente de Variação

Esse resultado pode ser atribuído a faixa de variação de areia adotada. Ou seja, pode-se ter resultados que variam estatisticamente se a faixa de variação for ampliada para, por exemplo, 20 a 100cm. No caso, os resultados indicam a otimização do uso de uma camada mais estreita, 30 cm, uma vez que não houve diferença significativa entre essa espessura e 60 e 80 cm.

¹ Para dados quantitativos compara-se as médias por outros métodos (Teste de Tukey, Duncan)

O parâmetro coliformes totais, apresentou um coeficiente de variação alto (Quadro 12). Aliás, a observação dos valores de coeficiente de variação indicam o comportamento nesse tipo de experimentação. Como ainda não se tinham avaliações estatísticas envolvendo filtração lenta, apresenta-se essa tecnologia, por enquanto, como passível de ser monitorada com valores elevados para coeficientes de variação. A variação desse coeficiente, é diferenciada para cada problema específico, a ser avaliado em processos estatísticos. Então, não necessariamente, tem-se o mesmo comportamento de variabilidade para problemas experimentais distintos. Portanto, estabelece-se a necessidade de que, outros resultados experimentais em filtração lenta sejam avaliados, para detectar-se o comportamento da variabilidade nesse sistema.

Nessa etapa (Quadro 12), é de grande importância ressaltar que os valores médios de remoção para os parâmetros turbidez, cor, Fe e Mn foram maiores exatamente na camada de 30 cm. Teve-se, somente para o parâmetro coliformes totais, uma maior remoção na maior espessura (80 cm). Esses valores, por si só, reafirmam a consideração, comprovada pela estatística, de que pode-se utilizar uma camada menor de areia, uma vez não detectada diferença significativa entre os tratamentos.

A redução da camada de areia, permite, por consequência, diminuir custos provenientes do volume utilizado. Esses resultados, no entanto, devem ser considerados para as específicas condições experimentais adotadas.

Segundo os resultados mostrados no Quadro 13, percebe-se que estatisticamente, não houve diferença significativa para as diferentes condições de utilização adotadas para as mantas sintéticas não tecidas à taxa de filtração de $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ e espessura de 30 cm de areia frente à remoção dos parâmetros em questão. Apesar desse resultado, alguns valores médios de remoção apresentam-se melhores para situações onde se usa a manta sintética não tecida. Também, para esse caso, sugere-se um aumento do número de repetições a serem adotadas.

No Quadro 13, observa-se que a condição “sem manta” não difere estatisticamente das demais. Contudo, esse resultado não inviabiliza o uso de mantas sintéticas não tecidas, até porque, o comportamento experimental deve ser avaliado como um todo e, assim sendo, outros fatores poderão ser melhorados frente ao uso das mesmas, como a própria redução da perda de carga e limpeza dos filtros. Esse resultado aproxima o comportamento das

mantas à ausência das mesmas, o que deverá ser avaliado não só, do ponto de vista da remoção. Consideração esta, que mais uma vez, reforça a questão do planejamento experimental.

Quadro 13 - Avaliação da influência das diferentes características e espessuras das mantas aplicadas à remoção de Turbidez, Cor, Fe e Mn e Coliformes totais, para camada de 30 cm de areia e taxa de filtração de $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$

Tratamento	Parâmetro avaliado				
	turbidez (UT)	cor (UC)	ferro e manganês (mg/l)	coliformes totais (NMP/100ml)	nº de repetições
2 M3	8.36 A ¹	33.37 A	1.14 A	1335.98 A	3
2M3 e 1M5	9.72 A	39.23 A	1.23 A	1357.99 A	3
1 M3	10.07 A	40.67 A	1.24 A	1342.57 A	3
1M3 e 1 M5	9.57 A	39.30 A	1.27 A	1366.75 A	3
sem manta	9.81 A	39.87 A	1.22 A	1389.65 A	3
Média geral	9.51	38.49	1.22	1358.59	-
CV ²	23.28%	8.87%	5.28%	31.87%	-

¹ Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si ao nível de significância 5%

² Coeficiente de Variação

Pelo Quadro 13, ainda verifica-se valores menores para o coeficiente de variação que, permanece em torno de aproximadamente 30% como maior valor. É um indicativo de que, se a operação do sistema for cuidadosa, pode-se ter valores analíticos mais homogêneos.

Os melhores valores de remoção (Quadro 13) distribuíram-se da seguinte maneira (parâmetro/tratamento): turbidez/1 M3, cor/1 M3, Fe e Mn/1 M3 e 1 M5, coliformes totais/sem manta. Uma sugestão para essa etapa de avaliação, é combinar as condições de uso das mantas e efetuar a comparação do comportamento das mesmas combinado à diferentes camadas de areia.

Outra avaliação da aplicabilidade das mantas sintéticas não tecidas (dois tratamentos) é realizada variando-se a da taxa de filtração, como é demonstrado no Quadro 14. Foram avaliados os mesmos parâmetros de remoção e utilizada uma camada de areia de 30 cm para a taxa de filtração de $9 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$.

Pelos Quadros 14 e 15, tem-se uma situação crítica do ponto de vista estatístico, pelo fato da obtenção de um coeficiente de variação bastante elevado, principalmente para o

parâmetro coliformes totais. Isso explica-se, claramente, pelo número de repetições, que para essas etapas, foi equivalente a duas (2). A terceira repetição, na medida de coliformes totais foi considerada como “parcela perdida”, em função de problemas operacionais. Ao se realizar a análise no software SANEST, ele próprio já considera a perda da parcela, o que facilita do ponto de vista de utilização do mesmo.

Portanto, para a taxa de filtração de $9 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ não houve diferença significativa entre as condições de aplicação das mantas 2 M3 e 1 M5 e “sem manta”, ao nível de significância 5%.

Quadro 14 - Avaliação da influência de diferentes condições de aplicabilidade das mantas para remoção de Turbidez, Cor, Fe e Mn e Coliformes totais à taxa de filtração de $9 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e 30 cm de camada de areia

Tratamento	Parâmetro avaliado				
	turbidez (UT)	cor (UC)	ferro e manganês (mg/l)	coliformes totais (NMP/100ml)	nº de repetições
2M3 e 1M5	7.85 A ¹	24.87 A	0.92 A	736.33 A	3
sem manta	8.06 A	26.10 A	0.93 A	703.67 A	3
Média geral	7.95	25.48	0.92	720	-
CV ²	25.84%	38.89%	30.79%	79.93%	-

¹ Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si ao nível de significância 5%

² Coeficiente de Variação

Quadro 15 - Avaliação da influência de diferentes condições de aplicabilidade das mantas para remoção de Turbidez, Cor, Fe e Mn e Coliformes totais à taxa de filtração de $12 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e 30 cm de camada de areia

Tratamento	Parâmetro avaliado				
	turbidez (UT)	cor (UC)	ferro e manganês (mg/l)	coliformes totais (NMP/100ml)	nº de repetições
2M3 e 1M5	7.08 A	22.69 A	0.76 A	585 A	3
sem manta	7.67 A	24.93 A	0.82 A	690 A	3
Média geral	7.37	23.81	0.79	637.5	-
CV ¹	30.12%	40.63%	40.92%	93.45%	-

¹ Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si ao nível de significância 5%

² Coeficiente de Variação

Variando-se a taxa de filtração para $12 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, mantendo-se fixa a espessura da camada de areia em 30 cm, tem-se a comparação de valores médios obtidos para uma condição de aplicação das mantas e ausência das mesmas, segundo o Quadro 15.

Percebe-se também, que para o parâmetro coliformes totais, o CV foi muito alto, traduzindo a real importância do aumento do número de repetições a ser adotado (nesse caso, também por problemas operacionais, perdeu-se a terceira repetição). E, frente às mesmas condições, não encontrou-se diferença entre os tratamentos utilizados. Ou seja, o uso de duas camadas de M3 e uma camada de M5 não difere ao nível de significância 5% da condição “sem manta”.

No Quadro 16, apresentado abaixo, tem-se os resultados oriundos da comparação das condições: “sem manta”, 1M3 e 1 M5, 2 M3 e 1 M5, à taxa de filtração 3 m³/m². dia . Sendo que, os referidos tratamentos não diferem entre si ao nível de significância 5%, segundo médias avaliadas por regressão polinomial. Esse resultado abrange todos os parâmetros monitorados.

O coeficiente de variação foi, de forma geral mais baixo, exceto para cor que fica em torno de 44%. Nesse caso específico (Quadro 16) foram realizadas apenas duas repetições. Estima-se que o aumento das repetições poderá favorecer os resultados como um todo, traduzindo expressiva diminuição nos valores de variabilidade encontrados.

Quadro 16 - Avaliação da influência de diferentes condições de aplicabilidade das mantas para remoção de Turbidez, Cor, Fe e Mn e Coliformes totais à taxa de filtração de 3 m³/m². dia e 30 cm de camada de areia

Tratamento	Parâmetro avaliado				
	turbidez (UT)	cor (UC)	ferro e manganês (mg/l)	coliformes totais (NMP/100ml)	nº de repetições
sem manta	7.47 A ¹	30.95 A	0.60 A	757 A	2
1 M3 e 1 M5	7.32 A	31.30 A	0.58 A	759 A	2
2M3 e 1M5	7.90 A	32.70 A	0.63 A	753 A	2
Média geral	7.37	31.65	0.60	756.17	-
CV ²	30.12%	44.07%	13.45%	3.64%	-

¹ Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si ao nível de significância 5%

² Coeficiente de Variação

Encontra-se, para os parâmetros Fe e Mn e coliformes totais, um CV baixo, indicando que na comparação entre resultados de filtração lenta as variações de pico da qualidade da água realmente influenciam de forma considerável.

A avaliação para comparação entre diferentes taxas de filtração torna-se importante, quando percebemos que ao nível de significância 5%, não diferiram as taxas de filtração de 3, 6, 9 e 12 m³/m².dia para a remoção dos parâmetros em questão, usando 2 camadas de M3 e uma camada de M5 e camada de areia de 30 cm (Quadro 17).

As diferentes taxas de filtração não apresentando diferenças significativas entre si, ao nível 5% de significância, indicam que esse fator não influencia na remoção dos parâmetros avaliados. Entretanto os maiores valores médios de remoção observados, foram na operação com taxa de 6 m³/m².dia. Todavia, esse fato pode estar sendo afetado pela qualidade afluente.

A variabilidade pode ser explicada, parcialmente, em função de se ter adotado números diferentes de repetições. Tem duas repetições para a taxa de filtração de 3 m³/m².dia e, para as demais taxas três repetições. Normalmente, não há problema em se adotar números de repetições diferentes. Contudo, para a avaliação em questão, onde ainda não se tem tradição no uso de metodologias estatísticas, aplicadas à análise de resultados de operação com filtração lenta, indica-se adotar o maior número possível de repetições e, se possível um número igual de repetições (efeito estável de comparação).

Quadro 17 - Avaliação de diferentes taxas de filtração para remoção de Turbidez, Cor, Fe e Mn e Coliformes totais em condição fixa de 2 M3 e 1 M5 com 30 cm de camada de areia

Tratamento	Parâmetro avaliado				
	turbidez (UT)	cor (UC)	ferro e manganês (mg/l)	coliformes totais (NMP/100ml)	nº de repetições
3	7.89 A ¹	32.70 A	0.63 A	752.5 A	2
6	9.81 A	39.87 A	1.22 A	1389.67 A	3
9	8.06 A	26.10 A	0.93 A	703.67 A	3
12	7.67 A	24.93 A	0.82 A	690.00 A	3
Média geral	8.40	30.74	0.92	895.91	-
CV ²	22.30%	32.23%	27.55%	57.96%	-

¹ Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si ao nível de significância 5%

² Coeficiente de Variação

Outra sugestão é, sempre que possível, tentar operar os filtros lentos com um afluente com qualidade a mais homogênea (constante) possível, isso permitirá verificar se a

variabilidade dos dados se atribui à variação da qualidade efluente, ao número de repetições ou, se essa é uma tendência inerente aos problemas referentes à filtração lenta.

As análises referentes à comparação estatística dos diferentes tempos de funcionamento para diferentes condições de operação dos filtros lentos são mostradas nos Quadros 18 a 23.

Quadro 18 - Avaliação dos tempos de funcionamento dos filtros verificados para diferentes espessuras de camadas de areia

Tratamento	Médias de tempo de funcionamento dos filtros (horas)	nº de repetições
30 cm	447 A	5
60 cm	443 A	5
80 cm	453 A	5
Média geral	449	
CV	6.45%	

¹ Médias seguidas de mesma letra, por colunas, não diferem entre si ao nível de significância 5%.

² Coeficiente de Variação

De acordo com o Quadro 18 avaliou-se o efeito da utilização de diferentes camadas de areia em relação ao tempo de funcionamento dos filtros, verificando que não houve diferença significativa ao nível de significância 5% para a variável “tempo”, ou seja, as diferentes camadas de areia não afetam a duração da carreira de filtração. Esse resultado combinado à não significância das mesmas diferentes camadas, na remoção dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos, sugere uma verdadeira otimização da camada de areia de 80cm para 30cm. Vale ressaltar a confiabilidade mostrada por essa análise, que indica um coeficiente de variação abaixo de 7%.

O mesmo não foi observado para a avaliação do comportamento de diferentes combinações das mantas frente ao tempo de funcionamento com camada de 30 cm de areia e taxa de 6 m³/m².dia, conforme mostrado no Quadro 19. Todas as situações com utilização de mantas apresentaram-se melhores que a condição “sem manta”. A melhor média para o tempo de funcionamento dos filtros foi com a utilização de 2 camadas de M3 que apresenta diferença significativa ao nível de significância 5% em relação ao tratamento “sem manta”.

Para as mesmas condições estatísticas, todas as situações com utilização de mantas não diferiram entre si.

Quadro 19 - Avaliação dos tempos de funcionamento dos filtros verificados para diferentes condições de utilização das mantas com espessura de 30 cm de areia e taxa de filtração de 6 m³/m².dia

Tratamento	Médias de tempo de funcionamento dos filtros (horas)	Número de repetições
2 M3	520 A	3
1 M3	446 AB	3
2 M3 e 1 M5	440 AB	3
1 M3 e 1 M5	406 AB	3
sem manta	256 B	3
Média geral	414	
CV	10.18%	

¹ Médias seguidas de mesma letra, por colunas, não diferem entre si ao nível de significância 5%

² Coeficiente de Variação

No Quadro 20 é apresentado o resultado estatístico para a análise de diferentes condições de utilização de mantas, camada de 30 cm de areia e taxa de 9 m³/m².dia, comparando-se o tempo de funcionamento dos filtros. Essa etapa não apresenta significância ao nível de 5% para os tratamentos “sem manta” e 2 M3 e 1 M5 quanto ao período de funcionamento dos filtros.

Quadro 20 - Avaliação dos tempos de funcionamento dos filtros verificados para diferentes condições de utilização das mantas com espessura de 30 cm de areia e taxa de filtração de 9 m³/m².dia

Tratamento	Médias de tempo de funcionamento dos filtros (horas)	Número de repetições
2 M3 e 1 M5	409 A	3
sem manta	323 A	3
Média geral	366	
CV	8.46%	

¹ Médias seguidas de mesma letra, por colunas, não diferem entre si ao nível de significância 5%

² Coeficiente de Variação

O mesmo acontece para as semelhantes condições apresentadas e taxa de filtração de $12 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ (Quadro 21). Em ambos os casos o coeficiente de variação apresentou-se baixo, por assim indicando pouca variabilidade nos dados.

Quadro 21 - Avaliação dos tempos de funcionamento dos filtros verificados para diferentes condições de utilização das mantas com espessura de 30 cm de areia e taxa de filtração de $12 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$

Tratamento	Médias de tempo de funcionamento dos filtros (horas)	Número de repetições
2 M3 e 1 M5	304 A	3
sem manta	216 A	3
Média geral	260	
CV	8.54%	

¹ Médias seguidas de mesma letra, por colunas, não diferem entre si ao nível de significância 5%

² Coeficiente de Variação

A comparação realizada entre três situações de uso das mantas são apresentados no Quadro 22. Percebe-se que, com um CV muito baixo todos os tratamentos adotados diferem entre si ao nível de significância 5%, avaliando-se o tempo de funcionamento dos filtros. O maior tempo de funcionamento dos filtros é quantificado quando se utiliza duas camadas de M3 e 1 M5, seguido de 1 M3 e 1 M5, obtendo-se menor tempo de funcionamento para a condição “sem manta”.

Quadro 22 - Avaliação dos tempos de funcionamento dos filtros verificados para diferentes condições de utilização das mantas com espessura de 30 cm de areia e taxa de filtração de $9 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$

Tratamento	Médias de tempo de funcionamento dos filtros (horas)	Número de repetições
2 M3 e 1 M5	1350 A	2
1 M3 e 1 M5	876 B	2
sem manta	545 C	2
Média geral	924	
CV	4.25%	

¹ Médias seguidas de mesma letra, por colunas, não diferem entre si ao nível de significância 5%

² Coeficiente de Variação

As análises realizadas para verificação do tempo de funcionamento dos filtros, indicam para todos os casos de avaliação de condições de uso das mantas, que essa situação obteve melhores resultados. Em todas as situações, a condição “sem manta” implica em diminuição do tempo de funcionamento dos filtros.

Finalizando, descreve-se os resultados estatísticos para diferentes taxas de filtração utilizadas. Essa análise foi realizada com o objetivo de comprovar-se que quanto mais elevadas as taxas de filtração, menor o tempo de funcionamento dos filtros. Esse fator que, parece-nos óbvio, tem o respaldo da estatística para fins afirmativo.

No Quadro 23, tem-se que o tempo de funcionamento apresenta-se maior para a taxa de 3 m³/m².dia que difere-se das demais ao nível de significância 5%, em condições de filtração com uma camada de 30 cm de areia e 2 camadas de M3 e uma camada de M5.

Por outro lado, o crescente aumento das taxas de filtração, representado por valores de 6, 9 e 12 m³/m².dia, não apresentam entre si diferença a um nível de significância 5% se relacionado ao tempo de funcionamento dos filtros.

Quadro 23 - Avaliação dos tempos de funcionamento dos filtros verificados para diferentes taxas de filtração e camada de 30 cm de areia combinada à 2 M3 e 1 M5

Tratamento	Médias de tempo de funcionamento dos filtros (horas)	Número de repetições
3	1350 A ¹	2
6	440 B	3
9	409 B	3
12	304 B	3
Média geral	626	
CV ²	6.49%	

¹ Médias seguidas de mesma letra, por colunas, não diferem entre si ao nível de significância 5%

² Coeficiente de Variação

Sabendo que, o uso das taxas de filtração avaliadas não mostrou-se significativamente diferente na remoção dos parâmetros turbidez, cor, Fe e Mn e coliformes totais, pode-se associar essa análise ao tempo de funcionamento dos filtros. Essa observação nos leva a concluir que, aumentando-se a taxa de filtração, mantêm-se a qualidade efluente, entretanto, detecta-se uma diminuição no tempo de funcionamento dos filtros, mesmo obtendo-se um maior volume de água “tratada” por unidade de tempo. Assim,

estatisticamente, um aumento ou redução da taxa de filtração, não implicará consideravelmente em vantagens, uma vez que não se alterará significativamente e para melhor a qualidade do efluente tratado, nem a duração da carreira de filtração.

A taxa de $3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ (Quadro 23) pode parecer mais vantajosa se comparada às de 6, 9 e $12 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, no que se refere ao tempo de funcionamento dos filtros. Contudo, as taxas de 6, 9 e $12 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ por não diferirem significativamente entre si (em ambas as variáveis: qualidade e funcionamento) pode-se otimizar a taxa tendo-se mesmos valores de remoção e mesmo tempo de funcionamento dos filtros ao nível de significância 5%, conforme mostra a estatística. Assim, atribue-se maior vantagem à taxa de $12 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ por produzir maior volume de água tratada por unidade de tempo.

A rigor, a análise dos resultados permite chegar à várias conclusões importantes, quanto ao comportamento experimental da filtração lenta combinada ao uso de mantas sintéticas não tecidas. Essas conclusões variam desde o uso de diferentes camadas de areia, como a utilização de várias combinações das mantas sintéticas, extensivo à análise do comportamento de diferentes taxas de filtração e tempo de funcionamento dos filtros. Resultados esses, apresentados conclusivamente no capítulo seqüente.

Entretanto, a análise dos resultados em sua essência, conduz a um universo muito mais amplo. Consolida-se com esse trabalho, a importância em se utilizar procedimentos estatísticos para ampliar e fundamentar as inferências em estudos no âmbito do saneamento.

Faz-se necessário instalar experimentos em tratamento de água, nos mais variados segmentos de alternativas, combinando-as, mas mais que isso, recomenda-se oferecer subsídios mais concretos para efeito de projeto e implantação desses sistemas. É indiscutível a necessidade de realizar-se inferências concretas, que podem ser obtidas utilizando-se a estatística como ferramenta.

No caso em questão, tem-se resultados “preliminares”, sob a ótica da estatística, para estudos mais detalhados do comportamento experimental da filtração lenta combinada às mantas sintéticas não tecidas. Estabelece-se com essa investigação, a retomada pelo uso da filtração lenta, como alternativa viável para comunidades rurais e pequenas estruturas populacionais, vinculando à essa tecnologia, indiscutivelmente, a utilização de metodologias estatísticas, como forma final de caracterizar a situação ideal de aplicação da mesma.

Intensificam-se as pesquisas com filtração lenta, dentro de um novo contexto metodológico, onde a otimização de materiais alternativos utilizados no processo deve ser priorizada, buscando-se resultados apurados e mais refinados através da estatística, como forma de adequar a filtração lenta, do ponto de vista operacional e econômico.

Os resultados das análises estatísticas permitiram a realização de inferências reais e mais abrangentes, comparando-se com os resultados obtidos por PATERNIANI (1991). Como forma de ampliar a discussão dos dados obtidos em filtração lenta tratados estatisticamente, observa-se segundo o trabalho de doutorado realizado por PATERNIANI (1991) as seguintes conclusões de interesse para essa pesquisa, acompanhadas de uma consideração comparativa:

(a) O uso de mantas sintéticas não tecidas na filtração lenta proporciona um aumento de até 3 vezes na duração da carreira de filtração.

Consideração: Conforme verificado anteriormente, através das análises estatísticas, percebe-se uma variação quanto ao uso de mantas em diferentes combinações e ausência das mesmas para a duração da carreira de filtração. Essa conclusão gera uma interpretação muito ampla se vista isoladamente sem o uso da estatística.

(b) A utilização de mantas na filtração lenta não interferiu na qualidade físico-química e bacteriológica do efluente produzido.

Consideração: Chegou-se a essa conclusão, sem o uso da estatística, avaliando-se somente uma faixa próxima dos valores verificados experimentalmente. No presente trabalho pode-se verificar que não só o uso de mantas não interferiu na qualidade físico-química e bacteriológica, como também não houve interferência pela ausência das mesmas para as taxas de 3, 6, 9 e 12 m³/m².dia. Tanto quanto pode-se analisar o comportamento experimental frente o uso de mantas, tendo uma estimativa da variabilidade dos dados, como efeito de comparação para trabalhos futuros.

(c) É possível reduzir a espessura da camada de areia para até 30 cm com instalação de mantas no topo desta camada, sem prejuízo da qualidade do efluente filtrado.

Consideração: Essa conclusão, pela mesma forma, foi elaborada analisando-se os resultados do efluente filtrado, que apresentaram valores próximos. Entretanto, confirma-se essa conclusão previamente elaborada, com o uso da estatística.

(d) Com as mantas, pode-se empregar taxas de filtração mais elevadas, em torno de 9 e 12 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{dia}$, resultando em carreiras de filtração de duração razoável, embora com a ocorrência de penetração de impurezas na camada de areia.

Consideração: Conclusão fundamentada somente na observação experimental. O uso da estatística elimina dúvidas, permitindo inferências dentro das reais condições adotadas para funcionamento dos filtros. No presente trabalho, a comparação entre taxas de filtração foi realizada somente para a condição fixa, com uso de 2 camadas de manta M3 e 1 camada de manta M5. Os dados experimentais não eram suficientes quanto à repetições e iguais condições operacionais adotadas, para que se pudesse realizar essa comparação via estatística. Essa situação comprova a necessidade clara do planejamento experimental, com o propósito de avaliar objetivos pré-estabelecidos.

As demais conclusões obtidas por PATERNIANI (1991) referem-se à penetração de impurezas na camada de areia, comparações entre superfície específica das mantas e duração das carreiras de filtração, durabilidade das mantas ao longo dos anos e recomendações. Portanto, as conclusões apresentadas na seqüência só foram possíveis para esse trabalho experimental, que já havia sido realizado, por ter se adotado a estatística como ferramenta.

6.1. Considerações finais

Os dados experimentais utilizados nessa pesquisa, foram compilados segundo trabalho desenvolvido por PATERNIANI (1991). Para tanto, o delineamento experimental aqui proposto foi adequado para dados já existentes, avaliando-se dentro das possibilidades impostas por esse fator, as condições operacionais de um sistema de filtração lenta com mantas sintéticas não tecidas.

Entretanto, fundamentando-se em PIMENTEL (1976), COSTA NETO (1977) e, VIEIRA e HOFFMAM (1989), o procedimento adequado para a situação aqui pesquisada

seria, operar um filtro respectivamente para cada tratamento a ser avaliado em correspondência respectiva a cada repetição (Figura 36).

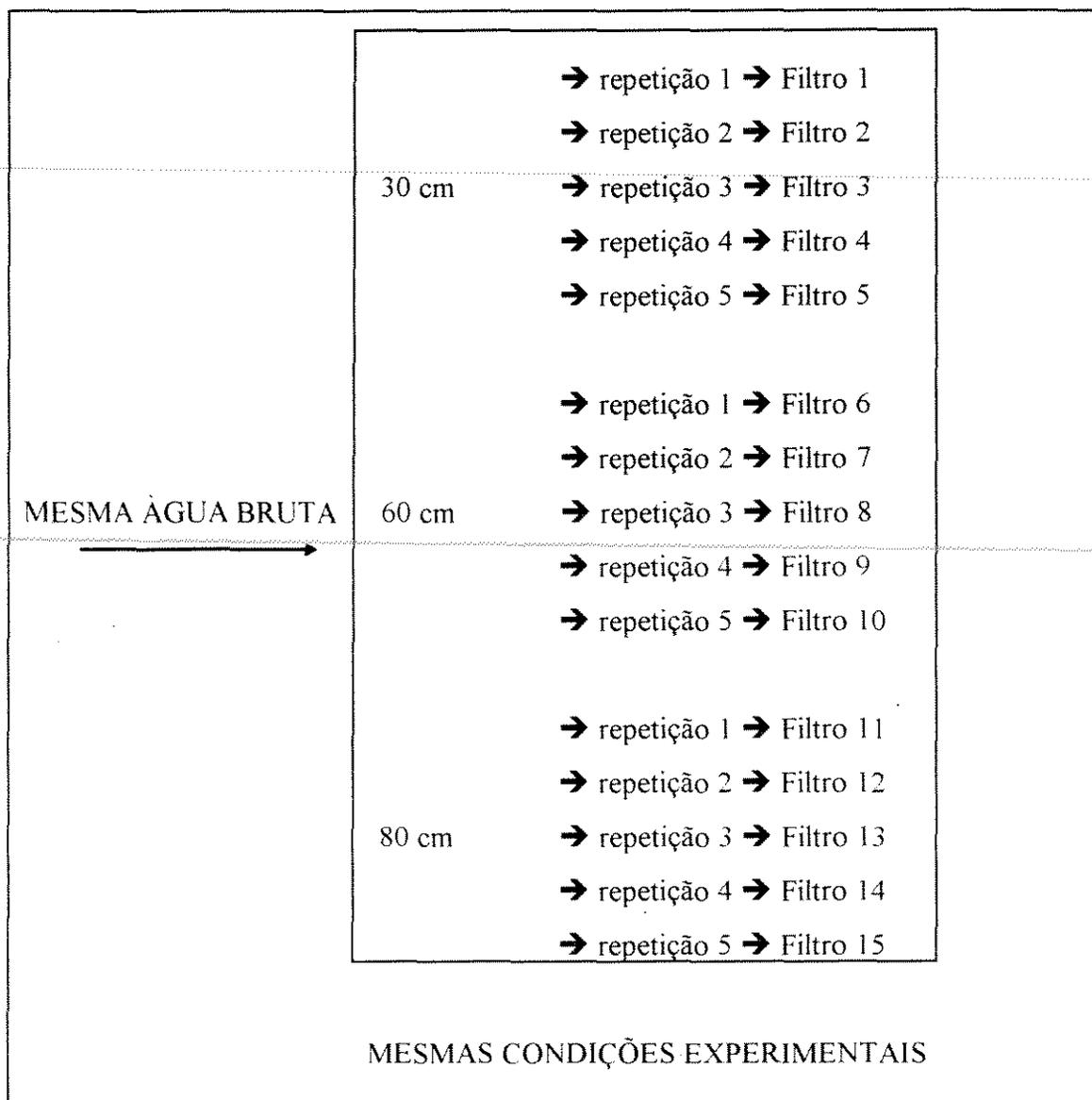


Figura 36 - Simulação de planejamento ideal para avaliação da influência de diferentes camadas de areia em sistemas de filtração lenta (exemplo aplicável a outros tratamentos).

Como os projetos experimentais esbarram na viabilidade econômica, sugere-se elaborar um sistema de filtração compartimentado, aproveitando-se ao máximo o uso de materiais construtivos. Ressalta-se ainda, que é fundamental que os filtros a serem operados sejam igualmente construídos.

Tendo-se os filtros construídos, procede-se a uma segunda etapa, que é a determinação dos tratamentos a serem utilizados, em função dos objetivos experimentais.

Recomenda-se ainda, utilizar a mesma estrutura de filtração para avaliar vários tratamentos diferentes, situações que poderiam ser realizadas em etapas e, em diferentes épocas do ano.

O controle de funcionamento é de extrema importância, cuidando sempre para que, a mesma água bruta esteja abastecendo os filtros, bem como monitorar a qualidade da mesma, identificando possíveis picos de determinados parâmetros físico-químicos e bacteriológicos.

Também é uma recomendação, sempre anotar as condições ambientais diárias. Possíveis variações bruscas podem influenciar no comportamento de alguns parâmetros a serem avaliados. Sugere-se elaborar planilhas detalhadas, com espaços para anotações dos valores medidos e observações gerais.

A parte analítica de quantificação dos valores para os parâmetros estabelecidos, deve ser criteriosa e rigorosamente cumprida, tendo-se a preocupação de, na amostragem, coletar quantidades de água suficientes para repetir, quando for o caso, alguma medida.

Nesse termos, como recomendação final, indica-se, à medida que for realizando-se a experimentação, proceder-se às análises estatísticas, monitorando o coeficiente de variação. Caso se faça necessário, aumenta-se o número de repetições. Ou o contrário, tendo-se resultados viáveis estaticamente, diminui-se o número de repetições.

Finalizando, sugere-se a aplicação da estatística para dados gerais, obtidos em experimentação com filtração lenta, como efeito de comparação dos resultados aqui discutidos, ampliando-se o conhecimento do comportamento experimental desse sistema e, dessa forma, caminhando para a elaboração de um projeto ideal para atender as comunidades rurais.

VII. CONCLUSÕES

✓ Estatisticamente, pode-se otimizar a espessura da camada de areia em filtros lentos, com utilização das mantas sintéticas caracterizadas, visando a remoção de turbidez, cor, fe e mn e coliformes totais - não detectou-se diferenças significativas ao nível significância 5% para as espessuras 30, 60 e 80 cm de areia;

✓ Não encontrou-se diferença significativa ao nível de significância 5% quanto à remoção de turbidez, cor, fe e mn e coliformes totais, para as diferentes condições de aplicação das mantas sintéticas não tecidas: sem manta, 1 camada de M3, 2 camadas de M3, 1 camada de M3 e uma de M5 e 2 camadas de M3 e 1 de M5. Isso expressa, que mesmo não havendo diferenças entre as condições de operação dos filtros com e sem manta, o uso das mesmas é recomendado como fator relevante na limpeza dos filtros;

✓ Para as condições experimentais onde se utilizou 30 cm de areia e taxa de filtração $9 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$, os diferentes tratamentos “sem manta” e “2 camadas de M3 e 1 camada de M5” não diferiram entre si ao nível de significância 5%. Ressalta-se que a análise estatística referente a essa condição de operação teve um número baixo de repetições não permitindo uma conclusão com margem ampla de confiabilidade;

✓ Os tempos de funcionamento dos filtros não diferiram entre si ao nível de significância 5% para as seguintes situações: diferentes camadas de areia - 30, 60 e 80 cm e

diferentes condições de utilização das mantas (“sem manta” e 2 M3 e 1 M5) combinadas a uma camada de 30 cm de areia e taxas de filtração 9 e 12 m³/m².dia;

✓ Encontrou-se diferença significativa ao nível de significância 5% avaliando-se tempos de funcionamento dos filtros entre as condições 2 camadas de M3 (melhor condição) e “sem manta” combinadas a uma camada de 30 cm de areia e taxa de filtração 6 m³/m².dia. Para a taxa de 9 m³/m².dia todos os tratamentos diferiram entre si, apresentando melhores resultados, respectivamente, 2 camadas de M3 e 1 camada de M5, 1 M3 e 1 M5 e “sem manta”, mostrando que o uso de mantas sintéticas não tecidas implica no aumento do tempo de funcionamento dos filtros;

✓ As taxa de filtração 3 m³/m².dia apresentou diferença significativa ao nível de significância 5% quando comparada às taxas de 6, 9 e 12 m³/m².dia, com utilização de camada de areia de 30 cm e 2 camadas de M3 e uma camada de M5. Como essas mesmas taxas não diferiram entre si, quando considerou-se a variável “remoção”, conclui-se que a taxa de 12 m³/m².dia é mais viável, ocasionando por consequência, um aumento no volume de água “tratada” por unidade de tempo;

✓ Para as condições experimentais avaliadas no presente trabalho, destaca-se em caráter conclusivo, a importância da realização de um planejamento estatístico, antes de se proceder à experimentação. O acompanhamento de diversos fatores externos, mesmo que não tenham influência direta na experimentação, devem ser monitoradas com o objetivo de identificar eventuais anormalidades que possam ser detectadas estatisticamente nos resultados finais;

✓ No decorrer do experimento, tendo posse de um número mínimo de repetições (duas), sugere proceder-se às análises estatísticas com a intenção de acompanhar os resultados finais, podendo assim, aumentar o número de repetições quando se fizer necessário;

✓ O uso de uma metodologia estatística para tratamento de dados obtidos na experimentação em engenharia sanitária, permite realizar inferências mais abrangentes. Possibilita referenciar os parâmetros avaliados, associando a eficiência do sistema à situações de projeto, assim como, simulações de sistemas críticos e projeções futuras com maior segurança.

VIII. EPÍLOGO

A filtração lenta desponta como a tecnologia do passado e tendência do futuro, principalmente se vista dentro do contexto brasileiro, que com uma extensa área rural, está totalmente desprovido de tecnologias de tratamento de águas para consumo humano, em comunidades e propriedades agrícolas. Claro, a adequação desse processo à realidades regionais se fará necessário. Porém, oportunamente, precisamos conhecer o comportamento experimental da filtração lenta como um todo, buscando a seguridade para associar as diversas variáveis de interferência, atingindo a elaboração de um projeto ideal, dentro da simplicidade necessária para se atender as áreas rurais.

Encontra-se mais uma ferramenta de ajuda: “a estatística”. Este trabalho, como um primeiro, foi realizado com a preocupação em contribuir para o conhecimento pleno do comportamento experimental da filtração lenta e, apresenta uma proposta metodológica associada à utilização de materiais alternativos como as mantas sintéticas não tecidas.

Os resultados aqui apresentados, são um indicativo concreto, de que em diferentes avaliações, a estatística contribui como recurso viável para tomada de decisões em experimentos e projetos. Esse fato, nos leva a adotar as análises realizadas, entre novas análises, para se chegar a um projeto em filtração lenta, adequado, simples e exequível.

Ainda, infelizmente, a aplicação de uma metodologia estatística em experimentos com filtração lenta é muito incipiente. Certamente novos trabalhos surgirão, com a preocupação em se estabelecer inicialmente um planejamento experimental e desenvolvimento de comparações via estatística, o que realmente contribuirá para a continuidade e aplicação desta proposta metodológica e linha de pesquisa.

IX. BIBLIOGRAFIA

AZEVEDO NETTO J.M.; HESPANHOL, I. Filtração lenta. In: Técnicas de Abastecimento e Tratamento de Água. CETESB, 2ª ed.. São Paulo, 1979, v. 2, cap. 23. p. 869-882.

BANCO MUNDIAL, Documento do Banco Mundial: Água Potable para poblados. Ed. Banco Mundial. Washigton, EUA, 1976. 117p.

BATALHA, B. L. e PARLATORE, A. C. Controle da qualidade da água para consumo humano. CETESB. São Paulo, 1977. 198 p.

BELLAMY, W.D. et al. Slow sand filtration: influences of selected process variables. Journal A.W.W.A, 77 (12). December, 1985. p.62-66.

BOLLER, M. Journal Water SRT - AQUA - Trends in Water Filtration Technology. Switzerland, 1994. p. 65-75.

BRANCO, S. M. Poluição: a morte de nossos rios. ASCETESB. São Paulo, 1983. 155p.

BRANDÃO, C. C. S.; WIECHETECK, G. K. ; MELLO, O. M. T. A experiência da UnB com a utilização da FiME no tratamento de água com presença de algas. In: Seminário Internacional sobre filtração em múltiplas etapas. São Carlos - SP, Dezembro, 1997.

BRIDGES, G. The use of fabrics in slow sand filters. Msc Thesis University of London-England, 1985.

CAMPOS, J. R. Alternativas para tratamento de esgotos - Pré-tratamento de águas para abastecimento. ASSEMAE. Americana, 1994. 112p.

CARRION, J.M.P. et al. Informe preliminar de la investigacion sobre pré-filtro de grava. CEPIS - OPS. Lima, Peru, Mayo, 1985.

CLEASBY, J.L. et al. Slow sand and direct in-line filtration of surface water. Journal A.W.W.A, 76 (12). December, 1984. p.44-55.

COSTA, R.H. Estudos comparativos da eficiência de filtros lentos de areia convencional e de fluxo ascendente. (Dissert. Mest. Hidr. San.) Escola de Engenharia de São Carlos - USP. São Carlos, 1980. 169p.

COSTA NETO, P.L.O. Estatística. Ed. Edgard Blücher. São Paulo, 1977.

CULLEN, T.R.; LETERMAN, R.D. The effect of slow sand filter maintenance on water quality. Journal A.W.W.A, 77(12). December, 1985. p. 48-55.

DI BERNARDO, L. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. ABES. Rio de Janeiro, 1993. 498p.

DI BERNARDO, L. ; RUGNO, O. R. & BRESAOLA JR., R. Anais: 14º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES. São Paulo, 1987.p. 351-364.

DI BERNARDO, L. ; RUGNO, O.R. Considerações sobre o uso da pré-filtração em pedregulho para remoção de impurezas das águas de abastecimento. Anais: XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. São Paulo, Setembro, 1987.

DI BERNARDO, L. Filtração lenta e pré-filtração de águas de abastecimento. Apostila, Escola de Engenharia de São Carlos - USP. São Carlos - SP, 1989.

DI BERNARDO, L.; GRAHAM, N.J.D.; PATERNIANI, J.E.S. Caracterização de mantas sintéticas não tecidas utilizadas na filtração lenta de águas de abastecimento. Anais: XXIII Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental. San Juan, Puerto Rico, Setembro, 1990. 13p.

DI BERNARDO, L.; PATERNIANI, J.E.S.; GRAHAM, N.J.D. Investigação experimental sobre o desempenho de mantas sintéticas na filtração lenta de águas de abastecimento. Anais: XXIII Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental. San Juan, Puerto Rico, Setembro, 1990. 18p.

FARIA, D. M. Avaliação contingente em projetos de abastecimento de água. Ministério do Planejamento e Orçamento, SPU - IPEA. Brasília, 1995.

FAROOQ, B. S. & AL-YOUSSEF, A. K. Slow sand filtration of secondary effluent. Journal of Environmental Engineering, vol. 119, n. 4. Saudi Arabia, 1994.

FONSECA, F. C. e BARROS, C. A. Sistema simplificado para desinfecção em pequenas comunidades. Anais: XXII Assembléia Nacional da ASSEMAE - Exposição de experiências municipais na área de saneamento. Belo Horizonte, 1996. p. 1-2.

FOX, K.R. Pilot plant studies of slow rate filtration. Journal A.W.W.A, 76 (12). December, 1984. p. 62-68.

FRANCISCO, W. "Estatística Básica". Editora UNIMEP. Piracicaba, 1995. 220p.

GOMES, F.P. Curso de Estatística Experimental. Ed. Livraria Nobel, S.A., 6ª ed, ESALQ/USP. Piracicaba, 1976. 468p.

GRAHAM, N.J.D. Investigations concerning the use of synthetic non-woven fabrics with slow sand filtration. Final Report, March, 1987 (não publicado).

HAMMER, M. J. Sistemas de abastecimento de água e esgotos. Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro, 1979.

HESPANHOL, I. Investigação sobre o comportamento e aplicabilidade de filtros lentos no Brasil. (Tese Dout. Hig. Saúde Pública), Faculdade de Higiene e Saúde Pública - USP. São Paulo, 1969. 163p.

HUISMAN, L. Research and demonstration project on slow sand filtration. Reprinted for the AIDIS Congress Health in Panama. Panama, August, 1982. 105p.

IVES, K.J.; RAJAPAKSE, J.P. Pre-treatment with pebble matrix filtration. In: Slow Sand Filtration - Recent Developments in Water Treatment Thecnogy. Ed. N.J.D. Graham. London, England, 1988.

LEME, F. P. Engenharia do Saneamento Ambiental. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.. Rio de Janeiro, 1982. 355p.

LIMA, A. C. VEJA, Revista. Edição 1464, Editora Abril S.A.. São Paulo, 1996. p. 70-71.

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. London, 1987. p.46-50.

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 Treatment Technology. Ed. N.J.D. Graham. London, England, 1988.

MBWETTE, T.S.A.; GRAHAM, N.J.D. Performance of fabric protected slow sand filters treating lowland surface water. Journal of the Institution of Water and Environmental Management. London, England, 1989.

MELLANBY, K. Biologia da poluição. Editora Pedagógica e Universitária. São Paulo, 1982.

NETO, P. L. O. C. Estatística. Editora Edgard Blücher Ltda.. São Paulo, 1977.

PATERNIANI, J.E.S. Utilização de Mantas sintéticas não tecidas na Filtração lenta em Areia de Águas de Abastecimento. Tese de Doutorado, EESC/USP. São Carlos - SP, 1991. 245 p.

PEREIRA, D.S.P. e BALTAR, L. A. A. Projeto de Modernização do Setor Saneamento. Secretaria de Política Urbana, IPEA. Brasília, 1995.

PESCOD, O.B. et al. Slow sand filtration. In: A Slow Cost Treatment for Water Supplies in Developing Countries. WHO-IRC, 1985.

POCASANAGRE, A.E.A. Pré-filtração em pedregulho e areia grossa de fluxo ascendente e fluxo descendente como pré-tratamento de filtros lentos de areia. (Dissert. Mestr.Hidr. San.), Escola de Engenharia de São Carlos- USP. São Carlos, 1990. 170p.

POVINELLI, J. & BOLLMAN, H. A. Anais: 4º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES. São Paulo, 1987. p 334-350.

RICHTER, C. A. & NETTO, J. M. A. Tratamento de Água - Tecnologia Atualizada. Ed. Edgard Blücher. São Paulo, 1991. 332p.

RUIZ BOJORGE, C. Utilização de Mantas sintéticas não tecidas na Pré-Filtração de Águas de Abastecimento. Tese de Mestrado, EESC/USP. São Carlos - SP, 1996. 183 p.

TIMMS, S.; SLAD, J. S. & FRICKER, C. R. Removal of Cryptosporidium by slow sand filtration. Revista Water Science Technology, Vol. 31, nº 5-6. Great Britain, 1995. p. 81-84.

SPERLING, M. C. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. DESA - UFMG. Belo Horizonte, 1995. 240p.

STACCIARINI, R.; MANSOR, M. T. C.; ROSTON, D. M.; PATERNIANI, J. E. S. Metodologia para caracterização das condições de saneamento básico em área rural. In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Foz do Iguaçu - PR, Setembro, 1997.

VIEIRA, S. e HOFFMAM, R. Estatística Experimental. Editora Atlas. São Paulo, 1989.

VISSCHER, J.T.; GALVIS, G. La filtracion lenta en arena retoma su papel en la potabilizacion del agua. In: Curso de Actualizacion en Filtracion Lenta-Seminario sobre Filtracion lenta, Tecnologia para potabilizacion del agua. Curitiba - PR, Outubro, 1987.

WEGELIN, M. Horizontal - flow roughing filtration: an appropriate pre- treatment for slow sand filters in developing countries. WHO-ARCWD News. (International Reference Center for Waste Disposal), n° 20. Duebenfort - Switzerland, August, 1984. p. 1-8.

WEGELIN, M. A pre-treatment for slow sand filters. In: Developing World Water. Grosvenor Press International. Hong Kong, 1987. p. 187-189.

ANEXOS

Segue, todos os dados experimentais adotados para esta pesquisa, agrupados e apresentados em Tabelas, divididas por séries, respectivas às análises estatísticas realizadas.

SÉRIE I

OBJETIVO: Avaliação da Influência das espessuras 30, 60 e 80cm de areia com 1 M3 à taxa de filtração de 6 m3/dia aplicada a parâmetros físico-químicos e bacteriológicos

Tabela 1 - Valores médios* de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos observados em diferentes camadas de areia com 1 M3 e vazão fixa de 6 m3/h

Espessura da camada de areia (cm)	Nº Ensaio (repetições)	Parâmetros Avaliados				
		Turbidez (UT)	Cor (UC)	Fe e Mg (mg/l)	Coliformes (NMP/100ml)	Tempo (h)
30	1	7.8	37.7	1.78	1350	406
	2	6.8	32.7	1.11	451	402
	3	3.9	22.3	1.03	1099	426
	4	7.8	38.1	1.33	1253	475
	5	4.9	14.7	1.26	112	531
60	1	7.7	36.2	1.43	1321	412
	2	6.3	32.9	1.12	377	381
	3	3.2	22.0	0.86	1116	465
	4	8.1	38.2	1.26	1250	480
	5	5.1	13.6	0.97	118	482
80	1	7.7	36.5	1.36	1352	393
	2	6.5	32.9	1.17	436	396
	3	2.9	21.9	1.06	1150	443
	4	8.6	38.6	1.45	1245	474
	5	5.3	13.8	0.80	118	571

*Os valores médios foram obtidos pela diferença entre a média do afluente e média do efluente, expressas por observações mínimas e máximas dos respectivos parâmetros avaliados.

Fonte: PATERNIANI (1991)

SÉRIE II

OBJETIVO: Avaliação do efeito da Manta Sintética Não Tecida e suas combinações para camada de 30cm de areia, à taxa de filtração de 6 m³/m².dia sobre parâmetros físico-químicos e bacteriológicos

Tabela 2 - Valores médios* de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos observados em diferentes condições de aplicabilidade das mantas sintéticas não tecidas, para camada de 30cm de areia e vazão fixa de 6 m³/ m².dia

Condição e disposição das mantas	Ensaio N° (repetições)	Parâmetros Avaliados				Tempo de Funcionamento (h)
		Turbidez (UT)	Cor (UC)	Fe e Mg (mg/l)	Coliformes NMP/100ml	
Sem manta	1	9.72	35.3	1.14	1373	253
	2	10.48	34.2	1.08	1762.93	322
	3	4.87	30.6	1.19	872	201
1 M3	1	9.76	36.6	1.19	1411	340
	2	11.13	36.7	1.27	1761.48	483
	3	8.27	44.4	1.22	901.48	527
2 M3	1	9.88	37.5	1.19	1357	413
	2	11.6	39.8	1.23	1748.16	579
	3	8.73	44.7	1.29	922.56	577
1 M3 e 1 M5	1	9.87	36.4	1.19	1480.2	351
	2	12.26	40.2	1.37	1739.2	482
	3	6.59	41.3	1.25	880.85	389
2 M3 e 1 M5	1	8.82	36.6	1.15	1492.6	343
	2	11.8	39.5	1.22	1760.26	508
	3	8.8	43.5	1.29	916.1	478

*Os valores médios foram obtidos pela diferença entre a média do afluente e média do efluente, expressas por observações mínimas e máximas dos respectivos parâmetros avaliados.

Fonte: PATERNIANI (1991)

SÉRIE III

III - A Objetivo: Avaliação das condições “sem manta” e “2 M3 e 1 M5” para camada de 30cm de areia à taxa de filtração de 9 m³/m².dia sobre remoção de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos

Tabela 3 - Valores médios de remoção para diferentes condições de uso das mantas sintéticas não tecidas, em espessura de 30cm de areia à taxa de filtração de 9 m³/m².dia

Condição e disposição das mantas	Ensaio N° (repetições)	Parâmetros Avaliados				Tempo de Funcionamento (h)
		Turbidez (UT)	Cor (UC)	Fe e Mg (mg/l)	Coliformes NMP/100ml	
Sem manta	1	6.25	35	1.21	907.4	309
	2	7.01	22.8	0.8	1158.1	405
	3	10.28	16.8	0.74	144.2	264
2 M3 e 1 M5	1	6.52	37.6	1.27	944.8	364
	2	7.38	23.7	0.84	1165.6	458
	3	10.27	17	0.67	-	407

*Os valores médios foram obtidos pela diferença entre a média do afluente e média do efluente, expressas por observações mínimas e máximas dos respectivos parâmetros avaliados.

Fonte: PATERNIANI (1991)

III - B Objetivo: Avaliação das condições “sem manta” e “2 M3 e 1 M5” para camada de 30cm de areia à taxa de filtração de 12 m³/m².dia sobre remoção de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos

Tabela 4 - Valores médios de remoção para diferentes condições de uso das mantas sintéticas não tecidas, em espessura de 30cm de areia à taxa de filtração de 12 m³/m².dia

Condição e disposição das mantas	Ensaio N° (repetições)	Parâmetros Avaliados				Tempo de Funcionamento (h)
		Turbidez (UT)	Cor (UC)	Fe e Mg (mg/l)	Coliformes NMP/100ml	
Sem manta	1	5.19	33.3	1.09	593.9	170
	2	6.33	18.2	0.55	1161	263
	3	9.71	16.58	0.63	-	219
2 M3 e 1 M5	1	5.88	36.4	1.23	907.73	263
	2	7.17	21.1	0.62	1161.83	338
	3	9.95	17.3	0.62	-	313

*Os valores médios foram obtidos pela diferença entre a média do afluente e média do efluente, expressas por observações mínimas e máximas dos respectivos parâmetros avaliados.

Fonte: PATERNIANI (1991)

SÉRIE IV

Objetivo: Avaliar o efeito das condições “sem manta”, “1 M3 e 1 M5” e “2 M3 e 1 M5” para espessura de 30cm de areia à taxa de filtração fixa em 3 m³/m².dia

Tabela 5 - Valores médios de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos para diferentes condições de aplicabilidade de mantas sintéticas não tecidas, em espessura de 30cm de areia à taxa de filtração de 3 m³/m².dia

Condição e disposição das mantas	Ensaio N° (repetições)	Parâmetros Avaliados				Tempo de Funcionamento (h)
		Turbidez (UT)	Cor (UC)	Fe e Mg (mg/l)	Coliformes NMP/100ml	
Sem manta	1	5.93	21.7	0.51	738.2	579
	2	9.01	40.2	0.68	775.7	512
1 M3 e 1 M5	1	6.76	21.95	0.57	754.7	951
	2	7.87	40.65	0.59	762.5	804
2 M3 e 1 M5	1	6.84	21.8	0.58	725	1306
	2	8.95	43.6	0.68	779.57	1395

*Os valores médios foram obtidos pela diferença entre a média do afluente e média do efluente, expressas por observações mínimas e máximas dos respectivos parâmetros avaliados.

Fonte: PATERNIANI (1991)

SÉRIE V

Objetivo: Avaliar a influência das diferentes taxas de filtração 3, 6, 9, e 12 m³/m².dia, para duas camadas de manta M3 e uma camada de manta M5 e espessura de 30cm de areia

Tabela 6 - Valores médios de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos, obtidos para avaliação de diferentes taxas de filtração em camada de 30cm de areia e fixa 2 M3 e 1 M5

Taxa de Filtração (m ³ /m ² .dia)	Ensaio N° (repetições)	Parâmetros Avaliados				Tempo de Funcionamento (h)
		Turbidez (UT)	Cor (UC)	Fe e Mg (mg/l)	Coliformes NMP/100ml	
3	1	6.84	21.8	0.58	725	1306
	2	8.95	43.6	0.68	779.57	1395
6	1	8.82	36.6	1.15	1492.6	343
	2	11.8	39.5	1.22	1760.26	508
	3	8.8	43.5	1.29	916.1	478
9	1	6.52	37.6	1.27	944.8	364
	2	7.38	23.7	0.84	1165.6	458
	3	10.27	17	0.67	-	407
12	1	5.88	36.4	1.23	907.73	263
	2	7.17	21.1	0.62	1161.83	338
	3	9.95	17.3	0.62	-	313