

2551 95FI



ORGANIZAÇÃO PANAMERICANA DA SAÚDE



SCRITÓRIO REGIONAL DA
ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE

FILTRAÇÃO DINÂMICA

Felipe Solsona

SERIE

BRASIL, SAÚDE E AMBIENTE

Documento Técnico S-2

Representação do Brasil
Brasília, 1995

255-1-95Fi-18125



ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE



ESCRITÓRIO REGIONAL DA
ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE

FILTRAÇÃO DINÂMICA

LIBRARY IRC
PO Box 93190, 2509 AD THE HAGUE
Tel.: +31 70 30 689 80
Fax: +31 70 35 899 64

BARCODE: 18125
LO: 255.1 95 F1

SÉRIE
BRASIL, SAÚDE E AMBIENTE
Documento Técnico S-2

Representação do Brasil
Brasília, 1995

© - Organização Pan-Americana da Saúde,

As denominações empregadas na presente publicação e a forma em que são apresentados os dados na mesma contidos não implicam, por parte da Organização Pan-Americana de Saúde, juízo algum sobre a condição Jurídica de qualquer país, território, cidade ou zona citada, sobre suas autoridades, nem sobre a delimitação de suas fronteiras.

As opiniões emitidas na presente publicação são de exclusiva responsabilidade dos autores.

O material contido nesta publicação pode citar-se ou reproduzir sem restrições, sempre que se indique a fonte e se faça referência ao número do documento. Deverá remeter-se à Representação da OPAS/OMS no Brasil um exemplar da publicação em que apareça o material citado ou reproduzido.

SOLSONA, FELIPE

Filtração Dinâmica/Felipe Solsona
Tradução de Flávio Villas Bôas, OPAS, 1995

102 p. (Série Brasil, Saúde e Ambiente –
Documento Técnico S-2)

Traduzido de: Dynamic Filtration, 1993

1. Filtração dinâmica- 2. Filtração-
3. Água potável- 4. Abatecimento de água-
5. Sistemas de água potável rural.

Ficha Catalográfica

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE/
ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE

FILTRAÇÃO DINÂMICA

Autor

Felipe Solsona

Tradutor

Flávio Villas Bôas

PRODUÇÃO:

O Autor:

* Felipe Solsona

Engenheiro Sanitário
Assessor OPAS/OMS em Saúde Ambiental

Título da obra original:

* DYNAMIC FILTRATION

Produzida por:

* Council for Scientific and Industrial Research -
- CSIR - Pretoria, Africa do Sul, 1993

Tradução:

* Arq. Flávio Villas Bôas

Revisão:

* Funcionários da Fundação Nacional de Saúde,
Ministério da Saúde

OPAS/OMS:

Representante:

* Dr Armando Lopez Scavino

Coordenador da Série Brasil, Ambiente e Saúde:

* Eng Felipe Solsona

REPRESENTAÇÃO DO BRASIL
BRASÍLIA, 1995

RESUMO

A filtração dinâmica é um tipo especial de filtração lenta por areia. Ainda que originada na Rússia, foram os engenheiros argentinos que desenvolveram a tecnologia, com a instalação de não menos que cinquenta filtros no final da década de setenta. A maioria desses filtros estão, ainda, em operação, provendo água de excelentes características.

O autor reuniu toda a informação disponível, a partir de uma viagem por várias províncias argentinas, e, instalou em 1992/93 uma unidade experimental em Pretória, África do Sul, onde se encontrava desenvolvendo pesquisas em tecnologia apropriada. O produto final de seu trabalho, foi um Guia Técnico (Dynamic Filtration), publicada pelo CSIR da África do Sul. Uma tradução deste documento é aqui apresentada, sob autorização do CSIR.

Este documento está destinado a engenheiros, para que conheçam o estado da arte e para que contem com os parâmetros básicos de desenho. O documento lhes permitirá desenhar, operar e manter filtros dinâmicos, que se mostraram confiáveis, econômicos e simples para a provisão de água de beber de boa qualidade a comunidades rurais.

ABSTRACT

Dynamic filtration is a special type of slow sand filtration. Although originally from Russia, Argentine engineers developed the technology, with the installation of not less than fifty filters by the late seventies. Most of these filters are still in operation, providing water of excellent quality.

The author compiled all the available information after a tour through several Argentine provinces, and installed an experimental unit in Pretoria, South Africa, in 1992/93, where he was developing research on appropriate technology. The final product of his work was a technical guide (Dynamic Filtration) published by the South African CSIR in 1993. A translation of that document is presented here by special authorization of the CSIR .

This document is intended for engineers, in order to present them with the state of the art, and with the basic design parameters. The document will allow them to design, build and operate dynamic filters, which have proved to be reliable, economical and simple, while providing drinking water of good quality to rural communities.

RESUMEN

La filtración dinámica, es un tipo especial de filtración lenta por arena. Si bien originada en Rusia, fueron ingenieros argentinos que desarrollaron la tecnología, con la instalación de no menos de cincuenta filtros al final de la década del setenta. La mayoría de esos filtros están aún en operación, proveyendo agua de excelentes características.

El autor, reunió toda la información disponible, luego de un viaje por varias provincias argentinas, e instaló en 1992/93 una unidad experimental en Pretoria, Sud Africa, en donde se hallaba desarrollando investigaciones en tecnología apropiada. El producto final de su trabajo, fue una guía técnica (Dynamic Filtration), publicada por el CSIR de Sud Africa. Una traducción de tal documento se presenta aquí, bajo especial autorización del CSIR.

Este documento está destinado a ingenieros, para que conozcan el estado del arte y para que cuenten con los parámetros básicos de diseño. El documento les permitirá diseñar, operar y mantener filtros dinámicos, los que han demostrado ser confiables, económicos y simples para la provisión de agua de bebida de buena calidad a comunidades rurales.

ÍNDICE

1	O MOTIVO DESTE GUIA TÉCNICO	9
2	INTRODUÇÃO	10
3	HISTÓRIA.....	12
4	O OBJETIVO DESTE GUIA TÉCNICO.....	15
5	DESCRIÇÃO GERAL	16
6	O MANANCIAL	17
7	OS LIMITES DE QUALIDADE DA ÁGUA BRUTA – Pré-tratamento	18
8	A TOMADA	22
9	O CONDUTO DE ENTRADA	22
10	CONTROLE E MEDIÇÃO DE VAZÃO	23
11	A CÂMARA DE DISSIPACÃO	24
12.	O FILTRO	25
12.1	AS COMPORTAS	25
12.2	A CÂMARA DE RECUPERAÇÃO DE AREIA	27
12.3	A CAIXA DO FILTRO	27
12.4	O SISTEMA DE DRENAGEM.....	29
12.5	O CONDUTO DE TRANSBORDE	30
12.6	O SISTEMA DE CONTROLE DA ÁGUA FILTRADA	31
13	O LEITO FILTRANTE	32
13.1	O LEITO DE SUPORTE.....	32
13.2	O LEITO FILTRANTE DE AREIA.....	33
14	O RESERVATÓRIO	34
15	A DESINFECÇÃO	35
16	OS ELEMENTOS DE PROJETO	36
16.1	O NÚMERO DE PESSOAS SERVIDAS	36
16.2	A DEMANDA DE ÁGUA.....	37
16.3	O VOLUME DE ÁGUA A SER FILTRADO – A VAZÃO DIÁRIA	38
16.4	A TAXA DE FILTRAÇÃO	39

16.5	A TAXA: FLUXO CRUZADO/FLUXO DE FILTRAÇÃO	40
16.6	O NÚMERO DE FILTROS	41
16.7	A ÁREA TOTAL DO FILTRO	41
16.8	A ÁREA DE FILTRO DE CADA UNIDADE.....	41
16.9	A VAZÃO DO FILTRO.....	41
16.10	A VAZÃO TOTAL.....	42
16.11	A VAZÃO DE PROJETO.....	42
16.12	RELAÇÕES HIDRÁULICAS IMPORTANTES	43
16.13	O CANAL DE ENTRADA	45
16.14	CONDUÇÃO POR TUBULAÇÃO	46
16.15	AS CARACTERÍSTICAS DA CAIXA DO FILTRO	47
16.16	A CÂMARA DE DISSIPACÃO	50
16.17	O COMPRIMENTO DA ESTRUTURA	50
16.18	AS CARACTERÍSTICAS DA CAIXA DE ÁGUA FILTRADA.....	51
16.19	O CONTROLADOR DE ÁGUA FILTRADA	51
16.20	VÁLVULAS	52
17	EXERCÍCIO DE PROJETO	52
18	OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	59
18.1	INSPECIONANDO O SISTEMA.....	59
18.2	LIMPANDO O FILTRO.....	60
19	PARÂMETROS DE PROJETO	62
20	GLOSSÁRIO	65
21	BIBLIOGRAFIA	69
22	FIGURAS.....	71
23	AGRADECIMENTOS	73

1. O MOTIVO DESTE GUIA TÉCNICO

De 1975 a 1986 o autor deste guia trabalhou como diretor de um serviço de proteção do meio-ambiente na província argentina de Chubut.

Uma das tarefas deste serviço era a de monitorar a qualidade da água produzida e distribuída pelas estações rurais de tratamento de água na sua área.

Dentre os diversos sistemas em operação, havia alguns filtros dinâmicos. O seu desempenho, cuidadosamente controlado por mais de uma década, mostrou que esta era uma tecnologia muito simples, altamente confiável e muito apropriada para áreas rurais de países do terceiro mundo.

O contato com autoridades argentinas, na área de saneamento, que tinham a ver com o desenvolvimento inicial desta tecnologia, assim como o contato com outros engenheiros que controlavam ou trabalhavam com filtros dinâmicos nas províncias vizinhas, o convenceram de que esta era uma tecnologia importante e que merecia mais conhecimento, estudo e promoção.

Durante aquela década, os poucos testes conduzidos por técnicos não foram suficientes para que se adquirisse um conhecimento extensivo de suas características e possibilidades. A única certeza que se tinha era que os filtros sempre operavam de forma confiável. Muito pouco foi feito em termos de qualquer outra pesquisa, como vai ser explicado na próxima parte.

Ano após ano, os filtros construídos na Argentina continuavam a funcionar, produzindo milhões de litros de boa água potável. O centro de colaboração do International Reference Center (IRC) da Organização Mundial de Saúde (OMS), com sede em The Hague, deu destaque a essa tecnologia em um de seus relatórios anuais.

Entretanto, não havia registros claros de nenhuma pesquisa ou acompanhamentos recentes feitos no sentido de: a) coletar dados disponíveis na Argentina depois de mais de vinte anos de operação; b) tentar compreender a tecnologia; c) encontrar novas maneiras de melhorar esta tecnologia; d) produzir um documento que, pelo menos, apresentasse os critérios básicos de projeto para auxiliar engenheiros na construção desse tipo de unidade, a qual, como vai ser explicado mais tarde, é adequada a áreas rurais montanhosas.

É um tanto irônico que o autor tenha encontrado apoio para fazer a pesquisa mencionada em um outro continente e em um país onde montanhas não são abundantes. (ver parte 3.)

2. INTRODUÇÃO

A filtração lenta em areia é uma das tecnologias mais simples, apesar de complexa no que diz respeito à interrelação entre parâmetros físicos diferentes, à hidráulica que governa o processo como um todo e ao mecanismo biológico inerente. Provavelmente é uma das tecnologias mais nobres e confiáveis.

Um filtro lento de areia é elementar. O filtro é, simplesmente, um leito de areia apoiado por outro leito de cascalho, contidos em uma caixa, com uma entrada para água bruta e uma saída para água tratada.

A filtração lenta em areia é a opção que está sendo usada, cada vez mais, em áreas rurais de países em desenvolvimento.

Esta antiga tecnologia (o primeiro filtro para abastecimento de uma cidade de que se tem conhecimento foi construído em 1829, em Londres, pela Chelsea Water Company) oferece várias vantagens.

Filtros lentos de areia removem matéria orgânica e organismos patogênicos da água bruta de turbidez relativamente baixa. Ainda assim, uma eficiência de até 75% pode ser esperada com o uso de elementos para redução de turbidez.

As importantes vantagens adicionais, quando instalados em áreas rurais de países em desenvolvimento, são as seguintes:

- Custo de construção baixo.
- Projeto simples e construção fácil.
- Pouca tubulação, poucos equipamentos e instrumentos auxiliares necessários à instalação.
- Operação e manutenção muito simples.
- Pouco tempo necessário para o procedimento de tais operações.
- Nenhum equipamento especial necessário para operação e manutenção.
- Não há partes móveis no sistema.
- Não são necessários produtos químicos.

- Pode acompanhar mudanças na qualidade da água (até um certo ponto).
- Não necessita água limpa para retrolavagem.
- Nenhum requisito de energia elétrica.

Este documento se refere a **FILTRAÇÃO DINÂMICA** e a **FILTROS DINÂMICOS**, sendo um **filtro dinâmico (fd)** um tipo diferente de **filtro lento de areia (fla)**.

Da mesma forma que a profundidade do meio filtrante e as características genéricas dos leitos são as mesmas, os sistemas de drenagem, os controladores de água filtrada e a maioria dos parâmetros operacionais como a taxa de filtração, o princípio do biofilme, etc., são semelhantes. A grande diferença entre esses tipos de filtros é a maneira pela qual a água bruta é alimentada na unidade.

Em vez do padrão de um metro de pressão estática de água em cima da última camada de areia, do típico fla, o fd terá um fluxo de água, proveniente de um rio ou ribeirão, correndo com uma pressão estática de alguns milímetros.

O efeito deste **fluxo cruzado** é o de puxar as partículas mais pesadas, suspensas sobre um vertedouro no final do filtro e, então, retornar ao rio.

Parte do fluxo percola através do leito de areia, para dentro do sistema de subdrenagem e é carregado para um depósito. Esta ação é semelhante à de um fla.

Se uma das desvantagens do fd é a necessidade de imensas quantidades de água de alimentação (a maior parte da água transbordará e será desperdiçada como água não usada), o maior benefício é a simplicidade da limpeza.

A desvantagem mencionada, a dos grandes volumes de água necessários, reduz a aplicabilidade destes filtros a áreas montanhosas, onde os rios têm gradientes positivos e não há necessidade de bombeamento. A água em excesso transborda de volta para o rio de onde foi tomada.

No caso de um fla, o procedimento de limpeza está relacionado com a quantidade de turbidez que o fitro pode suportar. Apesar de um fla típico poder ser usado com água de até 30-40 Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT), ele opera melhor com uma turbidez de menos de 10 UNT. Se a turbidez é alta, a carreira (o período entre as limpezas) é muito curta. Limpar um fla significa interromper seu funcionamento e drená-lo. Depois, alguns

centímetros da parte superior da areia devem ser raspados e removidos. A unidade precisa então ser lentamente enchida com água e colocada em operação novamente. É necessário tempo para o desenvolvimento de todo o processo e para a espera, até que o biofilme seja novamente formado nas novas camadas superiores de areia.

Um filtro dinâmico, ao contrário, é relativamente independente da carreira, uma vez que a limpeza normal é feita passando-se um rodo de madeira ou raspador, na sua superfície. Esta é uma operação que leva somente alguns minutos e que deverá ser feita, segundo recomendação, diariamente.

Água bruta com uma turbidez de 50 UNT pode ser filtrada por um fd. Vantagens, desvantagens e procedimentos de limpeza serão discutidos com mais detalhe adiante. Entretanto, e somente para terminar esta curta introdução inicial sobre a descrição geral de um fd, pode ser afirmado que se a operação e a manutenção de um fla são simples e apropriadas para populações rurais de países do terceiro mundo, a operação e a manutenção de um fd são muito menos complicadas e demandam menos tempo ainda. O segredo e o grande valor desta tecnologia estão nisto.

3. HISTÓRIA

No final dos anos 50 e no começo dos anos 60 os engenheiros sanitaristas russos alcançaram alguns sucessos através de pesquisa aplicada na área de tratamento de água. Dentre as diversas linhas de desenvolvimento, as tecnologias de filtração constituíram uma parte importante de seu trabalho.

A manipulação cuidadosa de parâmetros de projeto da filtração lenta em areia, os filtros de fluxo ascendente, o trabalho em leitos mistos e os filtros de fluxo duplo foram desenvolvimentos práticos, típicos daqueles dias, que encontraram rápida aceitação pelo mundo.

Não há, entretanto, muita evidência de que a filtração dinâmica tivesse sido mais do que um exercício teórico, atribuído a engenheiros motivados e espirituosos, ou mais do que uma simples primeira etapa de uma linha de pesquisa que não tivesse alcançado o nível necessário de completa compreensão para que fosse amplamente divulgada.

Depois que um trabalho russo foi apresentado em um seminário local, a teoria passou a ser amplamente aceita na América Latina.

Y. Ayrapetov, um engenheiro russo que ensinava em uma universidade de um estado do norte da Argentina, traduziu um trabalho sobre o tema para o espanhol. Engenheiros e autoridades do Servicio Nacional del Agua Potable (Serviço Nacional de Água Potável) –SNAP–, a organização argentina que lidava com o abastecimento de água de comunidades rurais com menos de 2000 pessoas, se interessaram pela tecnologia.

O conceito de filtração dinâmica se disseminou rapidamente em um ambiente onde a engenharia sanitária estava liderando no continente e, depois de um pequeno período de discussões teóricas, o primeiro filtro dinâmico foi construído e entrou em funcionamento. Isto aconteceu em Anillaco, La Rioja, no ano de 1969.

Depois disto outros seguiram. Além da província de La Rioja, outros estados argentinos como Catamarca, Chubut, Córdoba, Mendoza, San Juan e Tucumán contruíram várias unidades para servir vilas rurais e pequenas cidades. Hoje, apesar de não existirem números precisos, acredita-se que, no país, aproximadamente 50 filtros estavam em completa operação no final dos anos 70.

Além destas unidades construídas na Argentina e dos experimentos iniciais desenvolvidos lá, somente o Equador, o Brasil e o Chile desenvolveram uma perícia limitada através desta tecnologia.

Como é típico em países em desenvolvimento, a idéia original se disseminou rapidamente e muitos estudos teóricos foram feitos no sentido de serem fornecidos critérios para projeto. Formulações complicadas e considerações ideais foram desenvolvidas e publicadas em forma de artigos ou de relatórios: Perez Farrás (1); Arboleda (2); Rodriguez (3); Aguilar y Fernández (4).

Como também é típico em países em desenvolvimento, poucas avaliações práticas foram feitas no sentido de serem obtidos parâmetros apropriados para critérios de projeto.

O motivo disto foi a falta de apoio suficiente para estes pesquisadores. Para se compreender a tecnologia de filtração foram necessários, além da disponibilidade de pesquisadores dedicados e inteligentes, o apoio adequado em termos de infraestrutura e de recursos, os quais, no caso discutido, não estavam abundantemente disponíveis.

A Organização Pan Americana de Saúde / Organização Mundial de Saúde (OPAS / OMS) designou então, J. Perez, um de seus engenheiros lotados

no Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente - CEPIS— em Lima, Peru, para pesquisar os desenvolvimentos mais recentes desta tecnologia. Perez elaborou um relatório técnico datado em 4/4/77 (5). Ele não somente compilou a informação disponível naquele tempo como também propôs um programa de avaliação a ser executado na Argentina. Dois anos depois, em 1979, um programa de pesquisa foi estabelecido entre o SNAP, o Serviço de Água Potável da província de La Rioja e a Universidade do Estado.

Filtros com características especiais foram construídos perto da capital da província de La Rioja e colocados em operação. Entretanto, não se obteve qualquer sucesso à partir deste empreendimento, na medida que um corte nos recursos financeiros e humanos paralisou os trabalhos ficando assim, totalmente irrelevantes os dados já coletados.

O resultado da totalidade da experiência da América Latina, como descrita neste apanhado histórico, é que muito pouco foi feito no sentido de se compreender a operação dos filtros dinâmicos e de se produzir um manual com critérios de projeto, apesar de terem sido estes os objetivos daqueles grupos de engenheiros altamente capacitados e interessados.

Ainda, é intrigante notar que uma tecnologia que teve algum tipo de exposição, (os engenheiros sanitaristas da América Latina têm boas conexões e excelentes relacionamentos com seus pares em outras regiões do continente; a OPAS fez ampla publicidade das realizações dos argentinos, dos destaques mencionados como os do IRC e de diversas citações e descrições destes filtros; etc.), nunca tenha despertado o interesse de outros centros de pesquisa do Primeiro Mundo no sentido de que se desse continuidade aos estudos sobre este assunto.

Isto significa que a tecnologia não era suficientemente boa ou confiável? É possível que problemas de operação e/ou de manutenção tenham desencorajado engenheiros para desenvolver mais filtros? Esta tecnologia era inferior ou mais problemática que a filtração lenta em areia padrão? Eram os custos de construção e de operação maiores do que aqueles do flauta?

A resposta a estas perguntas é um NÃO inequívoco.

Há um fato notável que apoia esta resposta: os filtros construídos na Argentina há mais de 20 anos ainda operam sem nenhuma dificuldade,

produzindo água de excelente qualidade e não apresentam nenhum problema em particular.

Foi na tentativa de se redescobrir o potencial desta tecnologia que o Council for Scientific and Industrial Research – CSIR – (o mais importante centro de pesquisas da África) e o Water Research Commission da África do Sul apoiaram uma viagem à Argentina e, conseqüentemente, a pesquisa que resultou neste guia técnico.

Em janeiro de 1993 o autor deste trabalho, como pesquisador do CSIR, fez uma viagem a La Rioja e Catamarca (províncias argentinas). Visitando serviços com filtração dinâmica em 15 comunidades e conversando com autoridades das províncias e do SNAP, este autor coletou informação prática através da efetiva operação dos filtros e através das experiências dos operadores.

Em 1992 um filtro dinâmico foi construído nas instalações da Division of Water Technology do CSIR em Daspoort, Pretoria. A água foi tomada do rio Apies e vários testes foram feitos comparando-se este filtro com um filtro lento de areia padrão, que funcionou como uma unidade de referência.

Os dados coletados na viagem à Argentina e na pesquisa em Daspoort permitiram a elaboração deste guia técnico.

4. O OBJETIVO DESTA GUIA TÉCNICO.

Como foi claramente explicado na parte anterior, não há uma compreensão definitiva da tecnologia de filtração dinâmica. Os testes e experimentos feitos em Daspoort forneceram dados muito bons, mas esta informação, juntamente com a experiência argentina, não são suficientes para que seja escrito um manual definitivo sobre critérios de projeto para filtração dinâmica. Muitos parâmetros estão envolvidos nesta tecnologia e, conseqüentemente, muito mais tempo seria necessário para que fosse alcançada aquela completa compreensão.

Uma compilação bem sucedida de tal documento (manual) demandará esforços muito maiores em termos de força de trabalho, de tempo e de financiamento.

Entretanto é importante ressaltar que, de qualquer forma, há informação suficiente disponível, obtida através das tarefas desenvolvidas, para que sejam providos **critérios básicos de projeto** e para que seja facilitada a correta compreensão dos parâmetros básicos necessários ao projeto e à construção de filtros dinâmicos.

Este guia técnico fornecerá ao engenheiro informação suficiente e completa para o projeto de um filtro dinâmico. Isto deve ser razão suficiente para justificar este documento.

A explanação apropriada sobre os parâmetros mais importantes e sobre os critérios para os valores e/ou limites escolhidos, juntamente com a sessão sobre projeto e com o exercício para planejar um filtro específico, baseado em condições reais, darão um grande apoio ao engenheiro responsável pelo projeto de uma destas unidades.

Mesmo que este guia forneça informação útil e suficiente, ele deverá ser complementado com todos os dados adicionais que desenvolvimentos, pesquisas e experiências com novos filtros venham a trazer. Há a intenção de que este guia técnico seja continuamente atualizado e realçado com estas novas informações.

5. DESCRIÇÃO GERAL

O sistema fd consiste em uma tomada (normalmente uma estrutura em um rio de montanha), de um conduto adutor que traz a água do rio para o sítio do filtro, de um pré-tratamento (se necessário), de vertedouros de medição de vazão, de uma entrada para dissipar energia através da qual a água vai acessar o filtro, do filtro em si com uma câmara de recuperação de areia, de uma caixa para água filtrada e de um conduto de transborde que retorna a água não usada para o rio.

A desinfecção deve ser considerada uma opção importante, assim como um tanque ou reservatório para a distribuição de água para os usuários.

Um layout típico pode ser visto na **Fig. 1**

6. O MANANCIAL

Um fd é um sistema que obtém água de um rio ou riacho de montanha. Por isto é importante que se tenha tanta informação quanto possível sobre o curso que servirá como alimentação contínua para a unidade.

Antes da construção de um fd, devem ser coletados dados de determinações diretas da instituição que administra o rio como recurso, das organizações que trabalham na área, dos comitês locais ou de vizinhos e de residentes das vilas. Estas informações devem incluir: vazões, variações dessas vazões durante o ano, registros dos níveis máximos e mínimos em estações distintas ao longo de alguns anos. Também devem ser determinados os usos genéricos das águas à montante e à jusante, o direito de acesso ao rio, se outros usam o rio, os usos genéricos à montante e à jusante, a possibilidade de serem cercadas as unidades, a possibilidade de vândalos danificarem os filtros, etc.

As enchentes constituem uma parte importante desta investigação. É comum este rio transbordar? As enchentes são previsíveis? As inundações são violentas? Qual é o nível máximo a que a água chega durante estas enchentes? Quais materiais que estas inundações arrastam no seu caminho rio abaixo?

No que diz respeito à qualidade da água é necessário se saber valores máximos e mínimos de parâmetros diversos durante diferentes épocas do ano. As pesquisas microbiológicas e biológicas devem ser as mais importantes destas considerações.

Uma inspeção completa para que sejam detectados quaisquer outros usos possíveis, tanto "naturais" (como água para gado) como industriais (receptor de efluentes), deve ser considerada. Se um efluente industrial for lançado no rio, é da maior importância se saber as características de tal efluente e os parâmetros que possam ser prejudiciais à saúde humana ou animal.

A permissão para que seja construída a unidade e para que seja utilizada água do rio deve ser obtida das instituições que administram o uso do rio. Várias reuniões devem ser feitas com vizinhos que usam a água à jusante (o uso da água para beber pode diminuir a quantidade de água que outros usuários possam ter à jusante).

Finalmente, gradientes devem ser investigados para que sejam detectadas as diferenças apropriadas nos níveis da tomada, da locação do filtro e do retorno da água não utilizada.

7. OS LIMITES DE QUALIDADE DA ÁGUA BRUTA – PRÉ-TRATAMENTO

Uma vez obtida a informação necessária, é importante avaliar a eficiência do filtro, no que diz respeito à remoção de impurezas, e compará-la com o problema que a contaminação da água bruta venha a trazer.

Como foi dito, um fd é um sistema usado para abastecer de água potável grupos rurais. Espera-se que essas comunidades/grupos (uma vila, uma escola, um grupo de famílias, etc.) sejam isolados e que seja improvável a existência de fábricas ou de atividade industrial na área de locação do filtro.

Por esta razão, os únicos problemas que a água bruta deve de fato apresentar são a turbidez e/ou a contaminação orgânica, tanto em forma microbiológica como biológica.

É importante, então, ter-se uma idéia das limitações que um filtro lento de areia possa ter na remoção de tais impurezas.

Como foi mencionado na parte introdutória, um filtro lento de areia operará eficientemente com níveis de turbidez menores que 10 UTNs.

Se a turbidez estiver na faixa de 30 a 40 UTNs, um filtro lento de areia aceitará somente por um período muito reduzido de tempo. Mas se a água bruta for consistentemente turva, com valores acima do nível de 25 UTNs, então é recomendado que seja feito um pré-tratamento.

Não há muita informação disponível sobre a tolerância de um filtro dinâmico à alta turbidez, exceto aquela obtida através da pesquisa do CSIR. Não há um limite superior considerado como o "máximo permitido", ou melhor, "o nível máximo de turbidez no qual o filtro operará sem interrupção".

De qualquer forma, o procedimento de limpeza de um fd é tão simples, que o limite de turbidez deve ser fixado de tal forma que ele interrompa a operação de filtração antes do tempo geralmente especificado para que se proceda uma limpeza de rotina, isto é, 24 horas.

Em outras palavras: o operador deve limpar o filtro diariamente durante os períodos "normais" de operação. Durante o período de 24 horas a taxa de filtração poderá diminuir devido à formação de um bolo de lama na superfície do filtro. Se esta diminuição for inaceitável para a necessidade de consumo (ou para a produção esperada daquele filtro em particular), então a turbidez que a causou deve ser considerada como o limite operacional supracitado.

De qualquer forma, a pesquisa feita pelo CSIR tornou possível a operação diária de um fd, sem problemas, com água bruta apresentando uma turbidez de até 50 UNTs (nenhuma experiência foi realizada com água mais turva do que esta). Seria sensato, entretanto, instalar-se um sistema de pré-tratamento caso haja a probabilidade de que a água bruta venha a apresentar turbidez acima de 50 UNTs por períodos de tempo prolongados.

O pré-tratamento típico deve ser feito através de bacias de sedimentação, de filtração pelo leito do rio ou de pré-filtração por cascalho. A análise da água deverá fornecer informação sobre os parâmetros básicos para o projeto adequado de qualquer uma dessas unidades.

Neste ponto, entretanto, é importante notar que o CEPIS/OPAS (Centro Pan-Americano de Engenharia Sanitária e Ciências do Ambiente da OPAS), considera que em caso de requerer-se a pré-filtração, não seria recomendável utilizar a filtração dinâmica, já que se estaria devolvendo ao rio a maior parte da água tratada por aquela pré-filtração.

A análise seguinte esclarecerá sobre as possibilidades que os filtros lentos de areia típicos têm de remover matéria orgânica, como também sobre o que pode ser esperado de um fd.

Como foi dito, a presença de um biofilme, também chamado de "schmutzdecke" (um termo alemão para "camada suja"), parece ser o principal fator responsável pela remoção de contaminação orgânica viva presente na água bruta. O schmutzdecke é um tipo de zoogléia que recobre os grãos de areia que ocupam as camadas superiores (ou os primeiros centímetros de cima) da mesma. Este zoogléia é formado por uma grande quantidade de organismos como plâncton, protozoários, rotíferos, bactérias, etc. Nesta camada a atividade biológica está no seu pico e estes organismos irão capturar e digerir a matéria orgânica contida na água que passa. Sais inorgânicos são formados no processo e compostos carbônicos são desmembrados e oxidados para formas mais estáveis.

Entretanto, este biofilme não é instantaneamente formado em um flóculo e algum tempo é necessário para o que é chamado de "amadurecimento" ou "maturação" do filtro. Quanto tempo isto levará dependerá de diferentes fatores como a qualidade da água bruta, a taxa de filtração, o pH, a temperatura, etc., mas levará de alguns dias a poucas semanas. A remoção de bactérias poderá ser baixa até o schmutzdecke se formar.

Tem sido observado que, vinculado ao desenvolvimento do schmutzdecke, também ocorre o que tem sido chamado de "maturação do leito de areia".

Isto, de fato, significa a possível extensão do biofilme para camadas mais profundas onde outros tipos de organismos predominam. Apesar da atividade nas camadas mais profundas parecer não ser tão forte como nas superiores, é evidente que, depois da remoção da porção superior de areia no fla (para limpar o filtro), ele demanda menos tempo para começar a purificar a água do que quando o filtro é inicialmente posto em operação. A biomassa, que ainda existe nas camadas mais profundas, ajuda a destruir os microorganismos na água que percola e também ajuda no desenvolvimento mais rápido do novo schmutzdecke nas novas camadas de cima.

Uma descrição completa deste mecanismo é de vital importância para que se possa entender como ele opera em um fla e a diferença deste processo em um fla e em um fd.

Percebe-se que o desenvolvimento do schmutzdecke é muito mais rápido em um fd do que em um fla.

Testes desenvolvidos no CSIR mostraram que o tempo gasto não é o mesmo para se reduzir o conteúdo de E. Coli em um fd e em um fla com as mesmas características e alimentados com a mesma água.

Foi gasto um dia em um fd e dois dias em um fla para se reduzir a contagem inicial de bactérias por um fator de 10^2 . Para se reduzir esta mesma contagem inicial por um fator de 10^3 , foram gastos dois dias no filtro dinâmico e três dias no filtro lento de areia.

É claro que a razão para isto é a formação mais rápida de um schmutzdecke mais forte em um fd. Isto também foi observado por engenheiros argentinos. Estes, em geral, mencionam biofilmes ativos que se desenvolvem em até 24 horas.

Na procura de uma justificativa para este desenvolvimento mais rápido, pode se supor que: a) o fluxo de água, muito fino e ativo, correndo sobre a superfície do filtro pode, possivelmente, incorporar oxigênio de uma forma que não é possível em um fla, uma vez que a água sobre a sua superfície é estática. b) a ação solar mais forte, (causada por uma altura da lâmina de água muito fina sobre a areia), pode ter um efeito positivo no crescimento do biofilme.

Esta explicação, como também o fato de que a maturação do leite parece ocorrer muito rapidamente, assegura duas coisas importantes para o fd.

Primeiramente, assegura que o filtro vai produzir água livre da maioria dos microorganismos logo depois de sua limpeza. Em segundo lugar, assegura que a operação normal (a limpeza diária dos grãos de areia do filtro com um rodo, com a destruição hipotética do schmutzdecke) de fato não se processa desta forma. Ou os grãos, apesar de muita agitação e atrito, não perdem suas membranas de zoogléia, ou a maturação do leito dá conta da contaminação enquanto o schmutzdecke se recupera e se reimplanta rapidamente, nos grãos das camadas superiores de areia.

Testes feitos com flas têm mostrado que a redução de E. Coli por fatores de 100 a 1000 pode ser esperada. Os testes realizados no CSIR indicaram que os fatores de redução de E. Coli em um fd podem alcançar quase 10.000.

Não existem experiências relacionadas à remoção de outros constituintes por um fd mas se espera que eles sejam removidos, pelo menos, com a mesma eficiência de um fla.

A tabela 1, extraída do Manual of Design for Slow Sand Filtration (6), dá uma idéia das possibilidades de remoção de um fd.

TABELA 1. DIRETRIZES SOBRE A QUALIDADE PARA SELEÇÃO DE UM FD

CONSTITUINTE	REMOÇÃO (%)	DIRETRIZES (NÍVEIS MÁXIMOS)
Turbidez	75	< 50 UTN > 50 UTN com pre-tratamento
Cor	25	5 – 10 Pt – Co
Carbono Orgânico Total	25	Nenhuma
Bactérias Coliformes	99-99.99	Nenhuma
Cisto de Giardia	99.9-99.99	10 – 50 cistos/m ³

8. A TOMADA

A forma mais simples para a tomada, consta de uma pequena proteção para a instalação de um tubo ou para o começo de um canal. Pouca informação sobre este assunto será fornecida ao projetista, uma vez que a melhor estrutura dependerá, basicamente, das condições particulares do rio e do ponto específico da tomada.

De qualquer forma, é muito relevante que o projetista considere a importância, a frequência e a força de enchentes eventuais. A estrutura deve ser suficientemente forte para resistir às piores condições de cheias.

Os níveis mínimos devem ser muito bem definidos para todas as estações e condições, uma vez que a água deve estar sempre disponível no local da tomada.

A topografia e os níveis da água devem ser levantados para que seja assegurada a diferença de nível, na forma em que foi calculada no projeto do canal de entrada, o qual leva a água que entra no filtro.

Proteção contra os animais é um outro aspecto à ser considerado.

Finalmente, deve-se ter um grande cuidado se o rio arrasta lixo em abundância. Canais com grades, devem ser instalados para se prevenir o entupimento da tomada.

9. O CONDUTO DE ENTRADA.

É recomendado que seja construído um canal ao invés de ser assentada uma tubulação. Com o canal, limpeza e inspeção tornam-se mais fáceis. Os problemas poderão então ser detectados através de observação direta e a qualidade da água poderá até ser determinada sem que se vá ao rio (se o mesmo não for suficientemente próximo).

A instalação da tubulação é, em contrapartida, mais simples, mais barata e consome menos tempo.

O projetista optará por um destes sistemas, dependendo das condições locais, das possibilidades de mão-de-obra, de recursos e de possíveis

problemas com vandalismo (o canal é mais vulnerável do que tubulação enterrada), etc.

Na parte sobre projeto de um fd, há previsão de cálculo de ambos os sistemas.

10. CONTROLE E MEDIÇÃO DE VAZÃO

Dois tipos principais de vazão devem ser controlados e dimensionados. Primeiro, a vazão total (a vazão que vai ser tomada do rio) e segundo, a vazão da água filtrada (a água que vai abastecer à comunidade).

Uma vez que os valores destes fluxos tenham sido determinados, eles devem ser administrados, controlados e medidos.

Com relação à primeira vazão, a que é tomada do rio, há duas possibilidades.

Se o projeto determina que o conduto de entrada é um canal, a melhor maneira de se regular esta vazão é através de uma comporta de controle.

Uma comporta de controle é uma placa que pode ser levantada ou abaixada de forma a permitir, somente, a passagem da quantidade de água necessária.

Deve haver uma comporta, no começo do canal de entrada. Isto permitirá uma regulação grosseira da vazão.

Uma regulação fina será feita por um vertedouro, colocado muito perto da entrada do filtro.

Ligado a aquela comporta, deve haver um conduto de transborde (um tubo ou outro pequeno canal) que levará a água em excesso. Este pequeno condutor deve ser conectado ao conduto de transborde que serve para o retorno da água não utilizada ao rio, após a mesma ter transbordado sobre o filtro. Veja a **Fig. 2**

Se o projeto determina o uso de tubulação, a vazão deve ser controlada por uma válvula colocada no conduto de entrada principal (controle grosseiro) e outra próxima ao filtro (regulação fina).

A maneira mais fácil e melhor de se medir a vazão, seja em um canal seja em um tubo, é utilizando-se um vertedouro independente. Se um tubo for usado, ele deve ser aberto para um canal em um ponto anterior ao da entrada da água no filtro. É neste canal que o vertedouro deve ser instalado.

O melhor vertedouro, é o vertedouro com chanfro em V. Este é uma placa com um chanfro em V de 60 graus, colocada perpendicular ao fluxo e à jusante do vertedouro de controle de vazão. A vazão é determinada usando-se uma régua para medir a profundidade da água que transborda o chanfro (medida em centímetros). A Fig. 3 ilustra o vertedouro, e uma curva de calibragem para se obter a vazão. Esta também pode ser obtida utilizando-se a equação matemática que está incluída na mesma figura.

Para a segunda vazão (a vazão do filtro), deve haver em ambos, um medidor de vazão instantâneo e outro volumétrico. Há vários tipos destes aparelhos e qualquer um deles é recomendado.

11. A ENTRADA E CÂMARA DE DISSIPACÃO

Apesar de alguns filtros terem sido construídos na Argentina com uma caixa com chicana antes do próprio filtro, a maioria das unidades foram baseadas no projeto original que permite a entrada de água no filtro através de áreas diferentes: o canal de entrada, depois uma transição e, finalmente, uma zona de dissipação de energia.

Este lay-out típico pode ser visto na Fig. 4. A idéia é de se dissipar a energia e de se permitir uma distribuição de água muito homogênea quando esta começa a lavar a superfície de areia.

A pesquisa do CSIR determinou que este sistema elaborado é menos eficiente do que o primeiro descrito, isto é, o da câmara com a chicana dentro, chamado de caixa com chicana ou de **câmara de dissipação**, a qual pode ser visto na Fig. 5.

Esta caixa com chicana, é mais simples de se projetar e de se construir e pesquisas provaram seu grande valor como difusor de energia. Além destas, há outra vantagem importante quando se usa esta caixa. Ela funciona como uma bacia de sedimentação, ajudando a prevenir o entupimento rápido do filtro (por esta razão, deve ser prevista a possibilidade de que os sedimentos

venham a ser descarregados através de uma saída na parte de baixo, controlada por uma válvula).

A profundidade e a largura da câmara são as mesmas do filtro. O comprimento deve ser $1/5$ do comprimento do filtro e esta caixa deve ter uma chicana vertical oposta à direção do fluxo.

A chicana deve ser colocada a $2/5$ do comprimento total da caixa (medindo-se a partir do ponto em que a água entra na unidade).

A mesma deve ter uma abertura na parte inferior para que a água passe por baixo dela. Esta passagem livre deve ser $1/3$ da altura do leito do filtro.

Qualquer material pode ser usado na confecção da chicana, por exemplo, uma prancha ou uma placa de asbestos corrugada, etc. Entretanto, se a mesma for contruída com tijolos e argamassa, provavelmente terá uma vida útil maior e terá menor necessidade de proteção ou de reposição.

12. O FILTRO

Os diferentes elementos que constituem o filtro vão ser tratados separadamente. Eles são: os vertedouros, a câmara de recuperação de areia, a caixa, o sistema de drenagem, o conduto de água transbordada e o sistema de controle da água filtrada.

12.1. OS VERTEDOUROS

Os vertedouros são muito importantes por duas razões. Primeiramente, o vertedouro de entrada será responsável pela distribuição e por um fluxo homogêneo no leito filtrante. Em segundo lugar, a diferença de altura entre o vertedouro de entrada e o que fica no final do filtro determinará a inclinação do leito filtrante.

A areia deve então ser nivelada pela altura destes dois vertedouros. A diferença entre os dois, em algumas ocasiões, será de poucos milímetros.

Para que se evite a perda de areia, como vai ser explicado a seguir, há uma câmara ou uma caixa que interceptará toda a areia que venha a escapar do filtro. Somente depois de passar por esta câmara é que a água que transborda finalmente sairá da caixa do filtro.

Três vertedouros devem ser colocados então: um na própria entrada, um no final do leito filtrante e entre este e a área de recuperação de areia (vertedouro de controle de nível), e, finalmente, o terceiro onde a água sai da caixa d'água (vertedouro de transborde). Ver **Fig. 6**.

Os vertedouros são muito fáceis de serem feitos, instalados e manipulados. Apesar de haver várias maneiras de fazer isto, a mais prática é a seguinte:

O vertedouro de entrada deve ser fixado na parede da câmara de dissipação. Ele deve ser colocado na parede que separa a câmara de dissipação da caixa do filtro. A referida parede deve ter 5 centímetros a menos na altura do que o nível esperado para o leito de areia.

O vertedouro deve, obviamente, correr na largura do filtro, de lado a lado.

O vertedouro de entrada deve ser colocado de forma que 25 centímetros fiquem dentro da areia. Ver **Fig. 7**. Isto permitirá que ele seja facilmente levantado, abaixado e nivelado, simplesmente puxando-o ou empurrando-o por cima. O nivelamento deste vertedouro é muito importante e, para tal, a sua superfície deve ser tão reta e homogênea quanto possível. O melhor material para que se consiga isto é o aço. Aço, anti-oxidante, pintado, com 3 a 7 milímetros de espessura é o material recomendado para a confecção de todos os vertedouros.

O segundo vertedouro (o de controle de nível), juntamente com o de entrada, irá controlar a inclinação do leito filtrante, e, como foi dito, é colocado na frente da área de recuperação de areia.

A área de recuperação de areia deve ser um tipo de caixa, colocada na última parte do filtro. Como no caso do vertedouro de entrada, a parte de cima da parede desta caixa deve estar a, aproximadamente, 5 centímetros abaixo do nível do leito de areia.

O vertedouro, neste caso, deve ser inserido dentro da areia, obviamente no lado do filtro. Este deve ter as mesmas características do de entrada.

Por razões práticas, a altura da parede entre a câmara de dissipação e o filtro, e a altura da parede entre a última parte do filtro e a caixa de recuperação de areia, podem ser a mesma. A inclinação do filtro, que é determinada pela diferença de níveis de altura, pode ser manipulada pelas alturas que venham a ser dadas aos vertedouros.

O último vertedouro (o vertedouro de transborde) deve ser feito do mesmo material e deve ter as mesmas dimensões dos outros dois. Este vertedouro, por outro lado, não vai ser inserido na areia, mas fixado na parede de saída do filtro, com parafusos e porcas.

Ele deve ter duas aberturas de cada lado para que possa ser nivelado, sendo esta característica a única diferença entre este e os outros dois. Ver **Fig. 8**.

A altura adotada para o vertedouro de transborde é, aproximadamente, 10 centímetros menor do que a do vertedouro de controle. Isto é importante no caso de haver necessidade de se agitar a água para retirar a areia da câmara de recuperação de areia. Desta forma, a turbulência que venha a ser iniciada não criará distúrbio no leito filtrante.

12.2. A CÂMARA DE RECUPERAÇÃO DE AREIA

Pelo fato do nível da areia ser quase o mesmo do vertedouro, é comum perder-se alguma areia no final da superfície do filtro, ou pela capacidade da água de carrear ou quando são procedidas a limpezas.

Para se resolver este problema, uma “**área de recuperação de areia**” é introduzida na última parte do filtro. A areia que passa pelo vertedouro de controle de nível e que normalmente se perderia, é acumulada nesta área e pode ser facilmente coletada através de uma simples válvula.

Esta área de recuperação é, na realidade, uma vala com um comprimento de $1/5$ do comprimento do filtro e com uma profundidade de 0,5 metros.

Deve haver previsão para um pequena área de coleta perto do filtro e na saída de drenagem desta câmara. A areia pode ser coletada ali enquanto a água é drenada.

12.3. A CAIXA DO FILTRO

A caixa do filtro contém o meio filtrante. Apesar desta ser a alma do sistema, é o elemento mais simples de todos.

A caixa deve ter altura suficiente para o sistema de drenagem, para o leito filtrante e para a altura de água sobre o leito (carga hidráulica). A borda livre deve ter 0.2 metros.

A maneira de limpar um fd é bastante diferente da maneira de limpar um fla. Num fla, as camadas superiores de areia são raspadas e retiradas, diminuindo-se assim a altura total do leito. No caso de um fd, a limpeza é feita somente passando-se um rodo na superfície e assim não deverá ocorrer perda alguma. Se alguma areia for perdida, ela será prontamente coletada na caixa de recuperação de areia e será então recolocada no leito filtrante. De qualquer forma, as variações dos níveis de areia em um fd são muito pequenas. Por razões práticas, a altura de projeto para a areia deve ser sempre considerada como constante. Esta é outra vantagem quando comparado aos flas, uma vez que as raspagens da areia suja vão reduzir a altura do leito de um fla em até 0.6 metros. Tais filtros devem ser, pelo menos, 0.6 metros mais altos do que um fd normal.

O primeiro parâmetro de projeto deve ser a razão comprimento/largura. Na literatura original uma razão de 5:1 foi fixada.

O motivo para isto foi que, se o filtro tinha a configuração de um canal, uma distribuição mais homogênea do fluxo cruzado da água (isto é óbvio uma vez que a altura da água sobre o leito filtrante é muito pequena) e menos curto-circuitos deveriam ser esperados. Outro motivo para isto foi que, com a razão de 5:1, qualquer filtro seria suficientemente estreito para que qualquer parte de sua superfície fosse de fácil alcance de ambos os lados.

Experiências práticas na Argentina têm mostrado que filtros com razões de 3:1 podem funcionar adequadamente. Entretanto, este deve ser o limite, uma vez que uma superfície mais quadrada inevitavelmente levará a um curto-circuito na água.

Tentativas também foram feitas no sentido de ser aumentada a razão, chegando-se até mesmo a 9:1. Isto também não é recomendado, uma vez que os detritos e as partículas em suspensão teriam então que ser empurradas por uma distância muito grande.

Quando filtros foram construídos em canais muito longos, com razões acima de 6:1, ficou nítido que as primeiras partes do filtro ficavam muito sujas quando comparadas às últimas. (Em outras palavras, as primeiras partes ficam sujas mais rapidamente do que as últimas).

Por estes motivos a razão comprimento/largura recomendada deve ser:

Razão comprimento/largura para o filtro 3:1 a 6:1

A escolha deve ser feita de forma a permitir que o rodo alcance o centro do filtro de ambos os lados.

O material para a confecção desta caixa deve ser alvenaria de pedra ou tijolo e concreto armado. Aço pintado pode ser usado para os tanques menores.

12.4. O SISTEMA DE DRENAGEM

O sistema de drenagem tem a finalidade de suportar o leito filtrante sem a perda do meio. Ele deve permitir a passagem da água sem a menor perda de carga.

Existem 3 tipos diferentes de drenos para estes filtros rurais. O primeiro sistema é feito com tubos, o segundo com tijolos ou blocos e o terceiro, feito diretamente com brita ou cascalho.

Os três sistemas são descritos da seguinte forma:

Dependendo do tamanho do filtro, vários arranjos podem ser feitos com tubulação de PVC ou de polietileno. A forma mais simples consta de um coletor principal ou manifold, com fendas ou furos nas suas laterais, correndo ao longo do filtro na mesma direção do fluxo cruzado. A **Fig. 9** mostra este arranjo. As laterais devem ser suficientemente longas para alcançar a parede lateral do filtro. As fendas devem cobrir metade do tubo. Há duas possibilidades para a colocação das fendas e furos: ou por cima (virados para cima) ou por baixo (virados para baixo). A experiência tem mostrado que qualquer destas soluções é apropriada, permitindo o funcionamento adequado.

As sugestões práticas para o projeto destes sistemas são as seguintes:

As laterais devem ser homogeneamente espaçadas ao longo do comprimento do filtro e, como foi dito, devem ter furos ou fendas.

Distância entre as laterais	0.5 – 1.5 m
Diâmetro dos furos	2 – 3 mm
Largura das fendas	1 mm
Velocidade nos furos ou fendas	0.3 – 1 m/s

O último parâmetro se refere à velocidade que a água deve ter ao passar pelo SOMATÓRIO das áreas de furos ou fendas. A vazão que passa através deles deve ter o mesmo valor obtido com a taxa máxima de filtração (taxa

de filtração como teoricamente calculada ou taxa de filtração com o filtro limpo, que significam a mesma coisa).

O número de laterais e o seu espaçamento, assim como o número de fendas ou furos, deve ser obtido jogando-se com estes parâmetros (ver exercício).

O tubo de drenagem deve ser coberto com cascalho.

O lay-out é muito simples quando são usados blocos ou tijolos. A base pode ser feita com tijolos empilhados, lajes de concreto, blocos ou concreto poroso. Os tijolos ou blocos devem ser colocados de maneira que o espaço entre tijolos adjacentes não seja maior do que o tamanho do meio de suporte imediatamente acima deles. A estrutura de suporte é uma série de fileiras do mesmo material, no caso de tijolos ou blocos, assentados de forma que sejam obtidos dutos laterais de drenagem que conduzam a um grande coletor central. Estas fileiras devem ser espaçadas de forma a sustentar os tijolos ou blocos em cima delas. O coletor é geralmente conectado à câmara de água filtrada através de um orifício ou tubo. Não há necessidade de cálculo se a área por onde a água for correr for suficientemente extensa.

Para o terceiro tipo de dreno, isto é, quando se usa brita ou cascalho, há somente a necessidade de se colocar um destes materiais como camada de fundo. A área máxima sugerida para um filtro que se utilize deste sistema de drenagem é de 25 m².

As características do meio devem ser:

Diâmetro do cascalho ou pedra	25	–	50	mm
Altura do leito de cascalho ou pedra			0.15	m

12.5. O CONDUITO DE TRANSBORDE

O fluxo cruzado não utilizado deixa a superfície do filtro transbordando pelo último vertedouro e retorna ao rio, de onde foi obtido.

Pode-se permitir que este transbordamento escorra livremente pelas paredes do filtro. Isto significa uma queda de aproximadamente um metro (a carga da superfície de areia até o fundo do filtro). Se houver gradiente suficiente para que a água facilmente retorne ao rio, esta é a opção melhor e mais barata.

Se não houver gradiente suficiente, o fluxo de transborde deve ser descarregado em um canal, colocado a aproximadamente 0.2 m abaixo do último vertedouro. O canal, estando em um nível mais alto do que o fundo do filtro, perde somente 0.2 m – 0.3 m de carga hidráulica.

A água retornará ao rio por este canal, o qual é similar ao canal de entrada.

Isto deve ser calculado da mesma forma como foi feito no caso do canal de entrada.

12.6. O SISTEMA DE CONTROLE DA ÁGUA FILTRADA

Aqui são recomendadas duas maneiras de controlar-se a água filtrada (isto é, a água que deixa o filtro pelo sistema de drenagem).

A primeira consta de conectar-se diretamente o dreno a um tubo que conduz o efluente até um reservatório.

Se não houver limpeza, um bolo de lama se acumula no filtro e a perda de carga aumenta. A taxa de filtração diminui e por esta razão este tipo de arranjo é chamado de filtração com taxa decrescente.

Algum tipo de medidor de vazão deve ser colocado neste conduto para o monitoramento da diminuição da taxa de filtração. Uma válvula ou registro de amostragem também deve ser instalado neste conduto.

A taxa de filtração deve se recuperar após cada limpeza e as suas variações devem ser praticamente desprezíveis se o filtro for operado adequadamente com limpezas diárias.

A segunda maneira consta de construir-se uma pequena caixa fixando-a ao filtro. Esta caixa coleta a água que vem pelo sistema de drenagem após passar por um regulador de vazão.

O regulador de vazão mantém a taxa de filtração, absorvendo a perda de carga. Em essência, este regulador é uma bóia com um orifício ou entrada. Esta entrada tem uma carga constante a qual é a distância entre a superfície da água e o orifício. A medida que a altura da água na caixa cai lentamente, a carga do filtro decresce, fazendo com que a bóia baixe de nível. Entretanto, a distância entre a superfície da água e o orifício permanece a mesma.

A **Fig. 10** mostra um regulador deste tipo (Veja também a parte de fotografias).

Pela experiência do CEPIS, este tipo de regulador não é o mais adequado já que nem sempre funciona corretamente e os técnicos dessa organização o acham "vulnerável no meio rural".

Pode-se somar a isto a experiência pessoal do autor, que também detectou problemas com esses reguladores de bóia.

Entretanto, este manual concentra, em sua maior parte, a experiência argentina e se estes reguladores foram incluídos no documento, isso é devido a que, dos 15 serviços visitados nos estados de Catamarca e La Rioja, somente um dos reguladores estudados "podia travar-se ocasionalmente", segundo o operador da ETA. Em todos os outros casos os reguladores haviam operado por anos sem nenhum inconveniente. Evidentemente no desenho e construção adequados está a chave de seu êxito e funcionalidade.

13. O LEITO FILTRANTE

É importante notar que se as camadas de suporte e de filtragem forem selecionadas adequadamente, a qualidade da água será boa. Isto também impedirá que substâncias afundem até um nível onde não possam ser facilmente removidas através de uma limpeza normal do filtro.

Várias teorias podem ser utilizadas para se determinar o tipo de leito a ser usado. Entre elas, a de Hazen, a de Bellamy e a de Huisman-Wood são as mais conhecidas. De qualquer forma, por razões práticas, algumas aproximações podem ser feitas em áreas rurais sem que se perca muito da precisão no resultado final. Estas aproximações devem, basicamente, serem feitas nas camadas de suporte.

13.1. O LEITO DE SUPORTE

"Suporte" refere-se a diferentes materiais que são colocados abaixo do elemento filtrante efetivo, o qual é o meio mais fino, onde partículas são retidas e microorganismos destruídos.

Por razões práticas, o meio de suporte pode ser feito com quatro camadas de cascalho e de areia grossa com as características mostradas na Tabela 2.

TABELA 2. CARACTERÍSTICAS DO LEITO DE SUPORTE

CAMADA	TIPO	DIÂMETRO DA PARTÍCULA (mm)	ESPESSURA DA CAMADA (mm)
Superior	Areia grossa	1 - 2	50
Segunda	Cascalho fino	2 - 5	50
Terceira	Cascalho	5 - 10	50
Inferior	Cascalho grosso	10 - 25	150
TOTAL			300

13.2. O LEITO FILTRANTE DE AREIA

A sugestão deste guia técnico é que, quando se tratar do leito filtrante, a seleção adequada da areia deve ser feita através de uma análise de peneira. Esta, por ser eficiente, deve ser feita todas as vezes que as condições locais e os custos permitirem. (Uma alternativa seria adotar-se uma abordagem mais informal e utilizar a areia do rio, disponível no local, sem peneirá-la. Isto tem sido feito frequentemente).

Para se explicar a extensão da análise de peneira recomendada, é necessário se discutir a teoria de Hazen. Em 1913 este cientista se propôs a estudar as características da areia como um meio filtrante. Havia a necessidade de individualizar e especificar os parâmetros que eram responsáveis pelo funcionamento adequado do filtro.

O primeiro conceito com o qual ele lidou foi o da distribuição dos tamanhos dos grãos. Numa amostra de areia há grãos de tamanhos diferentes e a análise da distribuição dos tamanhos é feita passando-se a amostra através de uma série de peneiras padronizadas. Isto permite o pesquisador desenhar uma curva com a distribuição dos diferentes diâmetros na amostra. Esta curva é desenhada em papel logarítmico, o eixo-x representando o tamanho da peneira (tamanho do grão) e o eixo-y a percentagem (peso) dos grãos que passam através daquele tamanho de peneira específico.

O segundo conceito é o de **tamanho efetivo (d_{10})**

Da curva mencionada acima, é obtido o tamanho da abertura da peneira (diâmetro do grão) através do qual somente 10% da areia (em peso) passa.

O terceiro conceito é o de **coeficiente de uniformidade (CU)**, o qual é a razão entre o tamanho do grão que tem 60% da amostra mais fina do que ele mesmo e o tamanho do grão que tem 10% da amostra mais fina do que ele mesmo. Isto quer dizer a razão: d_{60} / d_{10} .

Um exemplo disto pode ser visto no gráfico da **Fig 11**.

A **Fig. 12** apresenta uma forma limpa de gráfico de uma análise de peneira que pode ser usado na determinação da qualidade da areia disponível.

No que diz respeito ao projeto de um fd, os valores recomendados para os dois parâmetros são:

Tamanho efetivo d_{10}	0.15 – 0.45 mm
Coeficiente de uniformidade CU	1.5 – 4.0

Finalmente, o último parâmetro necessário para o projeto do leito filtrante é a profundidade. (ver documento (6)).

Profundidade do meio filtrante	0.5 – 0.7 m
--------------------------------	-------------

14. O RESERVATÓRIO

Pouco vai ser dito sobre o reservatório. Este guia técnico lida com o fd. Reservatórios e tanques de água são simplesmente considerados como sistemas auxiliares.

Há muitas publicações que explicam como reservatórios são construídos.

Apesar do sistema projetado poder não prever um destes elementos, se sugere, de qualquer forma, que um reservatório seja colocado entre o fitro e o sistema de distribuição.

O reservatório funcionará como um “pulmão”, permitindo que se projete o fitro com um valor de consumo médio no lugar de um valor de consumo de pico.

Além disto, se a desinfecção for feita usando-se um composto de cloro, o reservatório propiciará o tempo de retenção necessário.

Há uma teoria relativamente simples que trata do valor para o volume do reservatório. Esta considera os padrões de consumo, os volumes acumulados, etc.

Uma abordagem ainda mais prática e menos complicada, usada em muitos países do terceiro mundo, é a proposta pelo IRC's Technical Document No 11 (7). Esta mesma abordagem é sugerida aqui. Ela é a seguinte:

"O volume do reservatório deve ser 50% do volume diário de produção de água filtrada".

15. A DESINFECÇÃO

Se um filtro dinâmico for adequadamente projetado, construído e operado, pode ser esperado que a redução do conteúdo de bactérias e de vírus seja suficiente para propiciar uma boa margem de segurança para os usuários.

Milhares de flas operam em áreas rurais de países em desenvolvimento sem qualquer desinfecção posterior.

Entretanto, é da maior importância notar que a possibilidade de ocorrer uma grande contaminação ocasional, uma operação descuidada ou até uma contaminação posterior à filtragem, indica fortemente a necessidade de desinfecção, mesmo que feita simplesmente como um procedimento preventivo.

Se o filtro apresenta problemas de contaminação relacionados à operação e à manutenção inadequadas, não é provável que qualquer prática de desinfecção venha a ser desenvolvida de forma diferente, isto é, que venha a ser feita adequadamente.

Entretanto, este guia sugere que seja previsto, sempre que possível, um bom sistema de desinfecção.

Há alguns métodos que podem ser utilizados em áreas rurais, ou com o uso de compostos de cloro ou, melhor ainda, sem usá-los.

Produção de hipoclorito na própria área, sistemas MOGGOD e radiação UV são considerados hoje, como muito adequados ao meio rural. Eles são

simples, confiáveis, têm o custo baixo e não requerem quaisquer produtos químicos.

Para informações sobre sistemas e técnicas detalhadas de desinfecção de água em áreas rurais, recomenda-se consultar qualquer guia técnico sobre o assunto. Por exemplo (8).

16. OS ELEMENTOS DE PROJETO

Nesta parte, alguns conceitos básicos são descritos. A teoria da hidráulica elementar, a qual é necessária para o projeto de um fd, também é discutida.

Esta parte complementa as descrições e explicações das seções anteriores e dá suporte teórico, matemático e de engenharia ao exercício de projeto.

Esta seção também apresenta mais alguns parâmetros de projeto que ainda faltam. O quadro completo somente aparece na seção de exercício de projeto, a qual é uma aplicação prática, que serve como exemplo para o usuário deste guia.

16.1. O NÚMERO DE PESSOAS SERVIDAS.

Esta seção e a seguinte trazem informações necessárias ao cálculo da demanda diária de água de uma dada comunidade.

Os cálculos utilizados para se determinar a demanda de água de uma vila são baseados na população futura. A vida útil de um sistema de abastecimento de água para uma comunidade deve ser de 10 a 25 anos. A escolha da vida útil para o sistema depende dos critérios do projetista sobre o futuro desenvolvimento da vila. Para uma área remota é melhor se calcular uma vida útil de 25 anos. Se crescimentos eminentes são esperados, um período mais curto deve ser usado. A razão para isto é a imprevisibilidade do futuro da população.

A projeção da população é o número de habitantes que a comunidade terá no futuro, considerando-se a taxa de crescimento daquela área em particular.

A taxa de crescimento ou a taxa média de crescimento anual, deve ser obtida através das autoridades locais, de trabalhadores locais da área social, etc.

A Tabela 3 mostra crescimentos da população em percentual referentes a taxas de crescimento diferentes.

TABELA 3. PROJEÇÃO DE CRESCIMENTO DA POPULAÇÃO.

TAXA DE CRESCIMENTO MÉDIO ANUAL	AUMENTO PERCENTUAL ANOS (FATOR DE CRESCIMENTO)			
	ANOS			
	10	15	20	25
1.0	1.11	1.17	1.23	1.30
1.3	1.13	1.20	1.28	1.36
1.6	1.18	1.27	1.38	1.48
2.0	1.22	1.35	1.49	1.58
3.0	1.34	1.56	1.81	1.99

A escolha de critério do projetista levará a uma estimativa da população da vila no último ano do período escolhido como vida útil. O número de habitantes vai ser chamado de população de projeto ou de população futura.

A **população futura** é a população atual mais o aumento percentual no período de anos escolhido.

$$\text{População futura} = \text{População atual} \times \text{Fator de Crescimento} \quad (1)$$

16.2. A DEMANDA DE ÁGUA.

É difícil de se ter certeza da quantidade exata de água que a população de uma vila em particular usará se nos basearmos no **consumo diário individual**.

Se as pessoas tiverem que pegar água de uma fonte próxima, localizada a 50 m da casa, o consumo diário individual provavelmente será de 25 a 50 litros.

Entretanto, se houver uma maneira de se facilitar o acesso à água, o consumo diário deverá aumentar.

Se a distribuição for por ligação domiciliar, admite-se um consumo entre 100 e 120 litros/habitante x dia.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde, se não houver um valor para uma área em particular, um consumo individual diário de 45 litros de água deverá ser considerado.

O projetista deve ter em mente que fatores como as condições locais, os usos, as expectativas, etc., podem levar a outros valores para este consumo diário e que, portanto, devem ser considerados.

Além disto, também deve ser dada atenção às **necessidades especiais** provenientes de instalações adicionais da vila, tais como escolas, clínicas, etc. A Tabela 4 mostra valores típicos para diferentes usos no meio rural.

TABELA 4. NECESSIDADE DE ÁGUA EM ÁREAS RURAIS

INSTALAÇÃO	USO TÍPICO DE ÁGUA	
Escola	10 – 30	l/estudante x dia
Escola com internato	40 – 80	l/estudante x dia
Centro de Saúde (sem leitos)	2500	l/dia
Hospital	200 – 300	l/leito
Estação de trem e ônibus	15 – 20	l/usuário x dia
Animais		
Gado	25 – 35	l/cabeça x dia
Cavalo	20 – 25	l/cabeça x dia
Porco	10 – 20	l/cabeça x dia
Carneiro	10 – 25	l/cabeça x dia
Galinhas	15 – 25	l/100 x dia

16.3. O VOLUME DE ÁGUA A SER FILTRADO – A VAZÃO DIÁRIA

O filtro deve ser capaz de produzir a quantidade de água que será necessária no final da vida útil do sistema.

A necessidade diária total de água da vila é então o somatório da demanda diária da população futura com a demanda de necessidades especiais, como projetadas para o final do período de projeto.

O volume de água que o filtro tem que produzir por dia é chamado de **vazão diária**.

$$\text{Vazão diária} = \text{População futura} \times \text{Consumo diário individual} + \text{Necessidades individuais} \quad (2)$$

Vazão Diária	= m ³ /dia
População futura	= Número de pessoas
Consumo diário individual	= m ³ /pessoa x dia
Necessidades Especiais	= m ³ /dia

A vazão diária dividida por 24 é a **vazão total do filtro** que é expressa em m³/hora.

16.4. A TAXA DE FILTRAÇÃO

Para se determinar a superfície do filtro é necessário, primeiramente, se decidir em relação à taxa de filtração.

A **taxa de filtração** (ou **velocidade de filtração**) é a vazão de água a ser filtrada por unidade de área. Os valores que este parâmetro pode adotar têm sido amplamente estudados e foram perfeitamente determinados. A taxa de filtração abrange uma faixa estreita. Filtros lentos de areia podem filtrar água com uma taxa que varia de 0.1 a 0.35 m³/m² x hora (ou m/h).

Estes valores correspondem a uma boa e confiável operação do filtro o que, por sua vez, significa que o filtro destruirá microorganismos e reterá partículas que causam a turbidez. Valores mais altos podem não permitir a desinfecção apropriada. É possível se usar valores mais baixos, mas, obviamente, eles não trariam nenhum benefício adicional e aumentariam o custo da construção, uma vez que os filtros teriam que ser maiores para filtrar a mesma quantidade de água.

Os valores citados acima também se aplicam a um filtro dinâmico. Sugere-se, entretanto, que o limite superior (máximo) seja reduzido para 0.3 m/hora. Isto assegura um desempenho ótimo e propicia uma margem de segurança extra.

$$\text{Taxa de Filtração} = 0.1 - 0.3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{hora}$$

16.5. TAXA: FLUXO CRUZADO / FLUXO DE FILTRAÇÃO

É neste ponto que um parâmetro importante deve ser discutido. Este é a razão entre o fluxo cruzado e o fluxo de filtração.

Os trabalhos russos e argentinos originais estipularam esta razão em 10:1.

A idéia inicial era que o fluxo cruzado fosse suficientemente forte para empurrar as partículas para o lado oposto a entrada, e então jogá-las no transborde que voltaria para o rio. Também estava incluído aqui o conceito de que a limpeza deveria ser feita quando a perda de carga fosse máxima, possivelmente de 0.4 a 0.6 m. Pensava-se que isto seria alcançado depois de várias semanas ou meses, como no caso do fla.

Pelo contrário, a experiência prática mostra que a limpeza feita passando-se um rodo na superfície é uma operação muito simples, que não demanda muito tempo. Ela pode ser feita diariamente sem nenhum problema.

A afirmação de “esperar até que a perda de carga máxima fosse alcançada” não tem mais sentido e, na prática, com uma limpeza diária ou de dois em dois dias, a carga inicial é reestabelecida e a taxa de filtração é recuperada diariamente.

Esta nova visão da operação permite razões menos rigorosas, uma vez que a superfície estará sempre limpa. Além disto, se percebe que a velocidade da água é mais importante do que esta razão e que é possível se obter a velocidade necessária com fluxos cruzados ainda menores.

Para efeito de projeto, o limite inferior para a razão mencionada é determinado em 5:1. Se houver água suficiente, como no caso de muitos rios de montanhas ou se houver um gradiente suficientemente acentuado, então não haverá motivo para limitar-se a vazão que pode ser usada para o fluxo cruzado. A decisão sobre onde estabelecer o limite deve ser baseada mais em questões logísticas (o tamanho do canal de entrada, os custos das comportas, vertedouros maiores, etc.) do que em qualquer outro parâmetro específico.

Por outro lado, se houver a possibilidade de serem usadas vazões maiores, então será possível se jogar com outros parâmetros como a inclinação e a velocidade. Estudos desenvolvidos pelo CSIR indicam que um limite superior de 15:1 (para a razão fluxo cruzado / fluxo de filtração) pode ser permitido. Então:

Razão fluxo cruzado / fluxo de filtração = 5:1 a 15:1

16.6. O NÚMERO DE FILTROS

É a prática padrão que um sistema de filtração lenta em areia tenha pelo menos duas unidades em paralelo. Isto permitirá a continuidade do abastecimento de água mesmo que um dos filtros tenha qualquer problema em particular.

Então:

Número mínimo de filtros = 2 unidades.

16.7. A ÁREA TOTAL DO FILTRO

A área do filtro pode ser obtida da vazão da água (em m³/hora) e da taxa de filtração.

$$\text{Área Total do Filtro} = \frac{\text{Vazão Total do Filtro}}{\text{Taxa de Filtração}} \quad (3)$$

Área Total do Filtro = m²
Vazão = m³/hora
Taxa de Filtração = m³/m² x hora

16.8. A ÁREA DE FILTRO DE CADA UNIDADE

É importante individualizar a **área de filtro de cada unidade (A_f)** uma vez que estes filtros serão projetados como elementos unitários.

$$A_f = \text{Área de Filtro de cada Unidade} = \frac{\text{Área total do Filtro}}{\text{Número de Filtros}} \quad (4)$$

A_f = m²

16.9. A VAZÃO DO FILTRO

A **vazão do filtro** é a vazão com a qual cada filtro vai trabalhar individualmente. Juntamente com a área do filtro de cada unidade, esta é uma ferramenta

útil pois, apesar dos filtros serem exatamente os mesmos, eles são projetados individualmente.

$$\text{Vazão do Filtro} = \frac{\text{Vazão Total do Filtro}}{\text{Número de Filtros}} \quad (5)$$

Vazão do Filtro = m³/hora

Vazão Total do Filtro = m³/hora

16.10. VAZÃO TOTAL

A **vazão total (Q_a)** é a quantidade total de água que vai ser tomada do rio.

Conhecendo-se o fluxo diário, tendo sido escolhida a razão fluxo cruzado/fluxo de filtração adequada e tendo-se decidido sobre o número de filtros que o sistema terá (o qual normalmente é 2), a vazão total pode ser facilmente obtida.

$$Q_a = \text{Vazão Total} = \text{Vazão Diária} + R \times \text{Vazão Diária} \quad (6)$$

R = Razão fluxo cruzado / fluxo de filtração
(se a razão for 8:1 então R=8)

Fluxo Total = m³/dia

Fluxo Diário = m³/dia

Como foi definido, o fluxo total é expresso em m³/dia mas, quando dividido por 24 será expresso em m³/hora.

16.11. A VAZÃO DE PROJETO

A **vazão de projeto** é o valor de vazão que é usado para se fazer todos os cálculos dos projetos de cada unidade de filtro (individualmente).

$$\text{Vazão do Projeto} = \frac{\text{Vazão Total}}{\text{Número de Filtros}} \quad (7)$$

As unidades da vazão de projeto dependem das unidades usadas para a vazão total. Elas são expressas em m³/dia ou m³/hora.

16.12. RELAÇÕES HIDRÁULICAS IMPORTANTES

Neste ponto, uma pequena discussão sobre hidráulica básica faz-se necessária para que sejam definidos vários parâmetros que serão úteis no projeto de diferentes elementos do sistema.

A velocidade da água, a carga hidráulica na superfície do filtro ou em um canal e a inclinação da superfície do leito filtrante ou do fundo do canal, são discutidas nesta seção.

Várias fórmulas descrevem o comportamento da vazão da água em um canal. A fórmula de Manning será utilizada aqui, uma vez que é a mais usada genericamente.

Esta fórmula começa com a definição de **velocidade** da água em um canal e pode ser usada tanto no projeto do canal de entrada quanto no projeto do filtro, uma vez que a superfície de areia e a borda livre do filtro podem ser considerados como um canal com fundo e paredes ásperos.

$$V = R_h^{2/3} \times I^{1/2} \quad (8)$$

v= velocidade da Água = m/seg.
n= coeficiente = 0.03 (Para um canal com paredes verticais e feito com argamassa. Este valor também vai ser utilizado para o canal que forma o próprio filtro.)

R_h= raio hidráulico = m
I= inclinação = (m/m) = adimensional

O **raio hidráulico (R_h)** é o quociente entre a área vertical ao longo da qual a água flui (A) e o contorno do canal que está em contato com a água (isto é chamado de perímetro molhado).

$$R_h = \frac{A}{P} \quad (9)$$

A = m²
p = m

O **perímetro molhado** é o segmento abef na **Fig. 13** ou:

$$p = W + 2 \times h \quad (10)$$

$$W = m$$

$$h = m$$

Também na **Fig. 13**, o raio hidráulico é:

$$Rh = \frac{W \times h}{W + 2 \times h} \quad (11)$$

Usando-se aquelas definições, a velocidade será:

$$v = \frac{1}{n} \left(\frac{W \times h}{W + 2 \times h} \right)^{2/3} l^{1/2} \quad (12)$$

$$v = \text{m/seg.}$$

$$n = 0.03$$

$$W = m$$

$$h = m$$

$$l = \text{adimensional}$$

Mudando-se os termos, a inclinação pode ser expressa como:

$$l = \frac{v^2 \times n^2}{\left(\frac{W \times h}{W + 2 \times h} \right)^{4/3}} \quad (13)$$

Os valores extremos para a velocidade (**v**) para a inclinação (**l**) e para a carga hidráulica (**h**), na superfície do filtro, que podem ser tolerados no projeto de um fd, serão mencionados à seguir. Estes valores são, de alguma forma, diferentes dos originais e são baseados na experiência adquirida pelo CSIR durante a fase de pesquisa que levou à publicação deste guia. Além disto, os valores da velocidade são estimados para areia com as características específicas aqui recomendadas.

$$0.05 \text{ m/seg} < v < 0.20 \text{ m/seg}$$

$$0.1 \% < l < 2.5 \%$$

$$h \geq 10 \text{ mm}$$

16.13. O CANAL DE ENTRADA

Como foi dito na seção 9 (O Conduto de Entrada), a melhor maneira de se tomar água do rio é através de um canal.

Com o valor da Vazão Total (a quantidade máxima de água a ser tomada do rio), o raciocínio é o seguinte:

Se:

$$Q_a = \text{Vazão Total}$$

Primeiramente, qualquer valor (**b**) é escolhido para a largura do canal.

Então: **b** = Largura do Canal

A velocidade da água no canal (v_c) deve ser:

$$6.0 \text{ m/seg} > v_c > 0.5 \text{ m/seg}$$

Acima de 6 m/s alguma erosão pode ser esperada em um canal de concreto, Kennedy (9). Abaixo de 0.5 m/s é provável que ocorra sedimentação.

A carga hidráulica no canal (h_w) deve ser:

$$h_w = \frac{Q_a}{V_c \times b} \quad (14)$$

(Por favor considere as conversões de unidades!)

A borda livre do canal deve estar aproximadamente 40% acima da carga de água.

A altura total da parede do canal (h_c) é:

$$h_c = h_w + 0.4 \times h_w = 1.4 \times h_w \quad (15)$$

A equação (13) pode ser usada para se calcular a inclinação do canal.

O valor para a inclinação num canal de concreto, pode ter os seguintes valores:

$$0.1 \% < I < 20 \%$$

É possível se deduzir o comprimento do canal (L_c) de acordo com a locação da tomada e do filtro (a distância entre estes elementos).

Uma vez que estas locações tenham sido determinadas, a altura relativa de ambas deve ser medida e a elevação vertical ou diferença de nível, determinada a partir daí.

A diferença de nível entre estes dois pontos é Z

$$Z = H_i - H_f \quad (16)$$

Z = diferença de nível entre a tomada e o filtro = m

H_i = nível da tomada = m

H_f = nível da entrada do filtro = m

Quando o valor da inclinação for usado, então:

$$Z = I - L_c \quad (17)$$

L_c = comprimento do canal = m

16.14. CONDUÇÃO POR TUBULAÇÃO

Se uma tubulação for escolhida como elemento condutor da água para o filtro, então a maneira de se projetar o diâmetro desta tubulação é a seguinte:

A velocidade (v_p) em um tubo de plástico deve ser:

$$3.0 \text{ m/seg} < v_p < 0.7 \text{ m/seg}$$

O cálculo é muito simples, uma vez que a tubulação é relativamente curta e que a água é descarregada livremente na atmosfera. A vazão que ocorre dentro do tubo é chamada de "vazão natural" e é a vazão máxima que pode se mover por gravidade. A vazão natural pode ser controlada pela seleção dos diâmetros da tubulação.

O valor da vazão é o mesmo do caso anterior: a vazão total (Q_a)

O procedimento é o seguinte: Primeiro se determina a inclinação (I). A inclinação pode ser obtida da elevação vertical entre a tomada e o filtro (Z) e do comprimento do tubo (L_p).

$$I = \frac{Z}{L_p} \quad (18)$$

I = (m/m) adimensional

Z = m

L_p = m

O tubo introduzirá um fator de fricção o qual, por sua vez, produzirá uma perda de carga, neste caso chamada de perda de carga por fricção ou fator natural de fricção (K).

K é definido como:

$$K = I \times 100$$

K = m/100 m de tubulação

Com o ábaco apresentado na **Fig. 14** (extraído de (10)), conectando o valor obtido da vazão, da coluna correspondente, com o valor da perda de carga, se obterá o valor do diâmetro interno, devendo-se verificar se o valor da velocidade está dentro dos valores estipulados.

O ábaco também permite que seja verificada a velocidade da água na tubulação.

16.15. AS CARACTERÍSTICAS DA CAIXA DO FILTRO

Como foi dito anteriormente, cada unidade é projetada individualmente. O comprimento (L) e a largura (W) são obtidos da seguinte maneira:

Primeiramente o projetista escolhe a relação L/W que é chamada de "N".

$$N = \frac{L}{W} \quad (20)$$

L = m

W = m

A área de cada filtro já é conhecida e foi chamada de “área de filtro de cada unidade” (A_f) (veja eq 4).

O seguinte pode ser usado para se obter L e W:

$$A_f = N \times W \qquad L = N \times W \qquad A_f = N \times W^2$$

$$W = \left(\frac{A_f}{N} \right)^{1/2} \qquad (21)$$

É importante notar aqui que o valor da caixa de recuperação de areia (que deve ser 1/5 (20%) do comprimento do filtro, como foi explicado em 12.2) deve ser somado ao valor de L (obtido na equação anterior). O comprimento total da caixa do filtro é então:

$$L_r = L \times 1.2 \qquad (22)$$

L_r = comprimento total da caixa do filtro = m

A parede da caixa do filtro terá a seguinte altura:

$$H_r = H_{is} + H_{if} + H_{bl} \qquad (23)$$

H_r	= altura da parede da caixa	= m
H_{is}	= altura do leito de suporte (inclui o sistema de drenagem)	= 0.3 m
H_{if}	= altura do leito de areia	= m
H_{bl}	= altura da borda livre	= 0.2 m

Estes são os parâmetros básicos para o projeto da caixa do filtro. Considerando-se os valores máximos e mínimos que o leito de areia pode adotar (0.5m – 0.7m), a altura total da parede da caixa deve estar entre 1.0m e 1.2m e a carga hidráulica de água da caixa do filtro entre 0.8m e 1.0m.

Esta caixa pode ser construída no nível do solo ou sobre uma plataforma. Nenhuma das duas soluções implicará em maiores problemas estruturais devido a sua altura limitada.

Por esta razão, ela pode ser construída de alvenaria de tijolo ou pedra. Uma parede simples e fácil de ser construída, chamada de “muro de gravidade”, é mostrada na **Fig. 15**. Esta parede é engrossada na parte de baixo e o seu peso próprio suporta a pressão exercida pela água sobre a mesma.

Jordan (10) propõe uma tabela (Tabela 5) para este tipo de parede considerando a carga de água no filtro. (Ver também Fig. 15).

TABELA 5. DIMENSÕES DO MURO DE GRAVIDADE

CARGA DE ÁGUA	ALVENARIA DE PEDRA			ALVENARIA DE TIJOLO		
	H	A	B	C	A	B
80	65	15	—	60	20	—
85	65	20	—	60	25	—
90	65	25	—	60	30	—
95	65	30	—	55	25	15
100	65	25	15	60	25	15

(todas as unidades em cm.)

Uma laje simples, com ou sem armação, pode ser usada como a base do filtro.

Paredes de concreto são o tipo de estrutura que apresentará menos problemas ao longo do tempo. Apesar de serem mais caras e de necessitarem de mão-de-obra especializada, elas são as mais confiáveis.

Há uma série de publicações que podem auxiliar no projeto estrutural, no tipo de argamassa a ser utilizada, no tipo de cura e em outros elementos de cálculo de um filtro de concreto. (11), (12).

Estruturas de concreto armado são uma outra alternativa possível para uma caixa de filtro. A bibliografia apropriada para este assunto é (13) e (14).

Finalmente, caixas de aço são adequadas para pequenas unidades. Elas podem ser mais caras, mas se forem pintadas com tintas anti-oxidantes, têm a grande vantagem de estarem prontas para uso tão logo saiam da oficina. Canaletas, chicanas, conexões, válvulas e vertedouros podem ser facilmente trabalhados e conectados à caixa. Os tamanhos máximos ficam limitados às possibilidades de transporte.

A caixa do filtro deve estar conectada com o exterior no nível do solo. Neste ponto deve ser colocada uma válvula que pode ser usada para encher o filtro

(de baixo para cima) de forma a deslocar o ar preso na areia ou para ajudar a drenar o filtro.

16.16. A CÂMARA DE DISSIPAÇÃO

O projeto desta câmara é muito simples e está vinculado às dimensões do próprio filtro. A sua largura é a mesma do filtro e o seu comprimento, como já foi dito, deve ser 1/5 do comprimento do filtro.

Repetindo-se o que já foi dito na seção pertinente, a única chicana deve ser colocada a 2/5 do comprimento da câmara (a partir da entrada da água) e a abertura da parte de baixo deve estar a 1/3 da carga de água.

16.17. O COMPRIMENTO DA ESTRUTURA

O comprimento da câmara de dissipação não é incluído no projeto da caixa do filtro e portanto **deve ser somado** ao seu comprimento total.

É importante se ter isto em mente uma vez que a estrutura será construída como uma única peça, mesmo sendo a câmara de dissipação, de fato, um elemento distinto da unidade.

O **comprimento total da estrutura** é então o comprimento total da caixa do filtro mais o comprimento correspondente à câmara de dissipação. Como este comprimento é igual ao da câmara de recuperação de areia (1/5 ou 0.2), o comprimento total da estrutura será:

$$L_{est} = L_f + 0.2 \times L \quad \text{ou} \quad L_{est} = L \times 1.4 \quad (24)$$

L	= comprimento do filtro	= m
L _f	= comprimento total da caixa do filtro	= m
L _{est}	= comprimento total da estrutura	= m

Nota: para o comprimento total da estrutura, deverão também, se considerar as espessuras das paredes internas, que serão variáveis segundo o material utilizado.

16.18. AS CARACTERÍSTICAS DA CAIXA DE ÁGUA FILTRADA

A água filtrada pode ser distribuída diretamente do filtro (isto é, da saída do sistema de drenagem – o manifold -) para o reservatório ou para os usuários.

Se a limpeza não for feita nem adequadamente nem diariamente, então a taxa de filtração poderá diminuir, uma vez que o bolo de lama ficará cada vez mais espesso e mais compacto. A perda de carga hidráulica aumentará e, como resultado, a taxa de filtração diminuirá.

Para se evitar que isto eventualmente venha a ser um problema e para lidar com a perda de carga real que ocorrerá a longo prazo (veja a seção sobre operação e manutenção), uma caixa para água filtrada com um controlador de vazão deve ser construída.

Esta caixa é um recipiente simples, colocado próximo ao filtro, tendo uma parede em comum com o mesmo.

A sua altura deve ser a mesma altura do filtro.

Deve ser quadrada e cada lado deve ter aproximadamente 0.80m – 1.00m.

O material deve ser o mesmo da caixa do filtro.

A caixa deve ter duas conexões na parte de baixo. Uma será conectada ao sistema de drenagem do filtro e a outra ao controlador de água filtrada (por dentro) à saída do sistema (por fora). Refira-se novamente à **Fig. 10**.

16.19. O CONTROLADOR DE ÁGUA FILTRADA

Um controlador de vazão deve ser usado para que seja mantida uma vazão constante de água filtrada.

Vários tipos de aparelhos podem ser usados para esta finalidade mas o mostrado na **Fig.10** é mais eficiente e mais fácil de ser feito.

O controlador é uma bóia ou flutuante conectada a um pedaço de tubo de PVC. As bóias mostradas nos desenhos e nas fotografias são feitas de acessórios de PVC. De qualquer forma, qualquer outra bóia que não enferruje com facilidade pode ser usada.

A bóia é conectada ao tubo de PVC por qualquer meio. Deve haver um espaço de 0.15 m a 0.25 m entre a bóia e o começo do tubo. Este espaço será a carga hidráulica que a água terá na abertura do tubo.

O tubo deve deslizar por fora ou por dentro de outro tubo semelhante, que por sua vez, deve ser ligeiramente maior ou menor. Este segundo tubo é fixado no fundo da caixa e é conectado ao exterior. Ele é a saída para a água filtrada.

A taxa do filtro será controlada pela carga de água no tubo deslizante e por uma válvula na saída.

Uma segunda válvula deve ser colocada imediatamente depois da válvula de regulagem. Aquela é uma válvula de fechamento usada para isolar o filtro do resto do sistema.

16.20. VÁLVULAS

Várias válvulas devem ser colocadas em diferentes partes do sistema.

Além das válvulas já descritas neste guia, outras devem ser instaladas para que se opere o sistema.

Válvulas extras devem ser incluídas para isolar o filtro do restante do sistema e para amostragem.

A **Fig. 16** mostra um conjunto completo de válvulas e indica as suas funções. (regulagem, fechamento e amostragem).

17. EXERCÍCIO DE PROJETO

Para orientar o projetista em um cálculo real, um exemplo de uma comunidade rural é apresentado com as seguintes características:

A população atual da vila é de 500 habitantes com uma taxa média de crescimento anual de 1.6. Há uma escola na comunidade com uma frequência de 200 alunos diários e a vila vai ser provida de filtros dinâmicos que usarão a água de um rio próximo. As análises que foram feitas com esta água demonstraram que ela é aceitável para esta finalidade.

Esta é uma população realmente rural e a forma tradicional de se obter água (a dona de casa pega dois recipientes de água do rio por dia) implica em um consumo per capita muito baixo.

Devido a este fato e à falta de recursos abundantes, é estimado que o consumo individual diário será de 25 litros. Isto foi discutido com a comunidade e seus membros aprovaram este parâmetro. A comunidade também está satisfeita com uma vida útil de 20 anos para o sistema.

O cálculo começa com as populações atual e futura.

População atual 500 habitantes

Vida Útil 20 anos

Taxa média de crescimento anual 1.6

Da tabela 3:

Fator de crescimento da população em 20 anos 1.38

Consumo individual diário 25 l/hab x dia

Com estes dados iniciais, o cálculo pode ser iniciado.

População futura:

(eq 1) $500 \text{ hab} \times 1.38 = 690 \text{ hab.}$

Necessidades especiais:

1 escola = 200 alunos

População futura da escola (isto é somente uma aproximação, uma vez que escolas não crescem como populações, elas o fazem em etapas). De qualquer forma, é melhor que se inclua algum tipo de previsão do que não seja feita nenhuma consideração.

(eq 1) $200 \text{ alunos} \times 1.38 = 276 \text{ alunos}$

Consumo de água por aluno = 20 l/dia

Necessidade futura:

$276 \text{ alunos} \times 20 \text{ l/aluno} \times \text{dia} = 5.5 \text{ m}^3/\text{dia}$

Vazão diária (volume que o sistema produzirá/dia):

(eq 2)

$$690 \text{ hab} \times 0.025 \text{ m}^3/\text{hab} \times \text{dia} + 5.5 \text{ m}^3/\text{dia} = 22.8 \text{ m}^3/\text{dia}$$

A vazão diária a ser adotada é: $24 \text{ m}^3/\text{dia}$

Vazão total do filtro (volume que o sistema produzirá por hora)

Vazão total do filtro $1 \text{ m}^3/\text{hora}$

Taxa de filtração assumida $0.1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{hora}$

Razão fluxo cruzado/fluxo de filtração adotada $10:1$

Número mínimo de filtros 2

Área total do filtro (área da superfície de filtragem do sistema):

$$(eq 3) \quad 1 \text{ m}^3/\text{hora} \div 0.1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{hora} = 10 \text{ m}^2$$

Área de filtro para cada unidade (área da superfície de cada filtro):

$$(eq 4) \quad 10 \text{ m}^2 \div 2 = 5 \text{ m}^2$$

Vazão do filtro (a vazão que cada filtro processará)

$$(eq 5) \quad 1 \text{ m}^3/\text{hora} \div 2 \text{ filtros} = 0.5 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Vazão total (quantidade total de água a ser obtida do rio)

$$(eq 6) \quad 24 \text{ m}^3/\text{dia} + 10 \times 24 \text{ m}^3/\text{dia} = 264 \text{ m}^3/\text{dia} \\ = 11 \text{ m}^3/\text{hora} \\ = 3 \text{ l/seg}$$

Vazão de projeto (esta é a vazão estipulada para se fazer os cálculos)

$$(eq 7) \quad 264 \text{ m}^3/\text{dia} \div 2 = 132 \text{ m}^3/\text{dia} \\ = 5.5 \text{ m}^3/\text{hora} \\ = 1.5 \text{ l/seg}$$

Caixa do filtro

Lhe será dada uma razão de $LW = 5$

$$(eq 21) \quad LW = 5 ; \quad W = (5 \text{ m}^2/5)^{1/2} = 1 \text{ m}$$

Então: $L = 5 \text{ m}$
 $W = 1 \text{ m}$

As dimensões da caixa e da estrutura do filtro serão:

Câmara de recuperação de areia

Comprimento $5\text{m} \times 0.2 = 1 \text{ m}$

Comprimento total da caixa do filtro

$L_f = 5\text{m} \times 1.2 = 6 \text{ m}$

Câmara de dissipação

Comprimento $5\text{m} \times 0.2 = 1 \text{ m}$

Comprimento total da estrutura

O comprimento total da estrutura (comprimento que inclui a câmara de dissipação e a câmara de recuperação de areia) pode ser obtido tanto pelo somatório dos comprimentos dos diferentes elementos

$$5\text{m} + 1\text{m} + 1\text{m} = 7 \text{ m}$$

quanto através da (eq 24)

$$L_{est} = 5\text{m} \times 1.4 = 7 \text{ m}$$

A altura da caixa pode ser obtida:

Altura do leito de suporte 0.3 m

Altura do leito de areia (adotada) 0.6 m

Altura da borda livre 0.2 m

Altura da parede da caixa 1.1 m

Relações hidráulicas

O valor adotado para a carga de água na superfície do filtro é:

Carga na superfície do filtro = 15 mm

Perímetro molhado
(eq 10) $p = 1\text{ m} + 2 \times 0.015\text{ m} = 1.03\text{ m}$

Área molhada $W \times h = 1\text{ m} \times 0.015\text{ m} = 0.015\text{ m}^2$

Raio hidráulico
(eq 9) $R_h = 0.015\text{ m}^2 \div 1.03\text{ m} = 0.0146\text{ m}$

Uma inclinação de 1 % é assumida em toda a superfície do filtro

Inclinação da superfície do filtro = 0.01

A velocidade é:

(eq 12) $v = (1 + 0.03) \times (0.0146)^{2/3} \times 0.01^{1/2} = 0.2\text{ m/seg}$

A qual está dentro da faixa permitida para velocidades

A diferença de altura entre o vertedouro de entrada e o vertedouro de controle de nível é:

(eq 17) $Z = 0.01 \times 5\text{ m} = 0.05\text{ m}$

Sistemas relacionados:

Canal de distribuição:

Vazão total = $Q_a = 11\text{ m}^3/\text{hora}$

O canal tem uma largura de:
 $b = 0.1\text{ m}$

e uma velocidade da água de:
 $v_c = 2\text{ m/seg}$

A carga hidráulica de água no canal é

(eq 14) $h_w = 11\text{ m}^3/\text{hora} \div 2\text{ m/seg} \times 0.1\text{ m} = 0.015\text{ m}$
(Lembre-se de considerar as conversões das unidades)

A borda livre deve ser 40% mais alta do que a carga de água no canal, mas como o valor obtido para h_w é baixo (somente 1.5 cm), a parede do canal terá 0.15 m. Isto é arbitrado para a conveniência da construção.

Para se calcular a inclinação no canal, primeiramente a eq 11 deve ser usada para se conseguir o raio hidráulico e em seguida a eq 13.

$$(eq\ 11)\ R_h = (0.1 \times 0.015) + (0.1 + 2 \times 0.015) = 0.011\ m$$

$$(eq\ 13)\ I = (2^2 \times 0.03^2) + (0.011)^{4/3} = 1.45$$

A inclinação excede os limites sugeridos e, portanto, não é aceitável.

Uma segunda tentativa deve ser feita trocando-se, por exemplo, a velocidade. A nova velocidade assumida será menor.

$$v_c = 0.5\ m/seg$$

$$b = 0.1\ m$$

$$(eq\ 14)\ h_w = 11\ m^3/hora + (0.5\ m/seg \times 0.1\ m) = 0.06\ m$$

$$(eq\ 11)\ R_h = (0.1 \times 0.06) + (0.1 + 2 \times 0.06) = 0.027\ m$$

$$(eq\ 13)\ I = (0.5^2 \times 0.03^2) + (0.027)^{4/3} = 0.027$$

$$= 2.7\ \%$$

A qual é razoável

Agora vamos assumir que a distância entre a tomada e o filtro seja de 30m.

É importante verificar a diferença entre as alturas das locações da tomada e do filtro para se saber se a locação escolhida é adequada ao sistema.

A diferença de nível entre estes dois pontos pode ser obtida através da eq 17.

$$(eq\ 17)\ Z = 0.027 \times 30\ m = 0.81\ m$$

A diferença de nível entre os dois pontos mencionados deve ser então, pelo menos, de 81 cm.

Se esta diferença tivesse sido maior, ela aumentaria a inclinação, o que não é problemático uma vez que o valor obtido para este parâmetro (2.7%) não é excessivo. Um valor mais alto para a inclinação, por sua vez, teria aumentado o valor da velocidade. Mas isto também não é um problema, uma vez que o valor escolhido para a velocidade está em uma faixa baixa. De qualquer forma, o projetista deverá jogar com os valores reais de maneira que todos estes parâmetros fiquem dentro dos limites sugeridos.

Um raciocínio semelhante deve ser seguido para o canal que leva a água não utilizada de volta ao rio.

Sistema de drenagem:

As dimensões da caixa do filtro foram estabelecidas assim:

L	5	m
W	1	m

O sistema de drenagem é composto de um distribuidor e de laterais. Estas laterais têm orifícios.

As laterais devem ter um afastamento de 1 m. Assim temos:

Número de laterais em cada lado 6

Número total de laterais 12

Se cada lateral tiver 10 orifícios com 2mm de diâmetro cada, então:

Área de 1 orifício 0.0000031 m²

Área de 10 orifícios (1 lateral) 0.000031 m²

Área de todos os orifícios (12 laterais) 0.00038 m²

Vazão do filtro = 0.5 m³/hora = 0.000139 m³/seg

Velocidade na área total de orifícios:

Vazão do filtro ÷ Área Total =
 $0.000139 \text{ m}^3/\text{seg} \div 0.00038 \text{ m}^2 = 0.37 \text{ m}/\text{seg}$
 a qual está dentro da faixa sugerida.

18. OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

A operação de um filtro dinâmico é muito simples. Alguns minutos por dia são suficientes para se providenciar tudo que um fd necessita para ficar “saudável” (i.e. fornecer água limpa e segura na taxa de produção esperada).

Duas atividades devem ser desenvolvidas pelo operador, a inspeção sanitária e a operação de limpeza.

18.1. INSPECIONANDO O SISTEMA

O operador deve proceder a inspeção sanitária no entorno.

O conceito de “inspeção sanitária” foi desenvolvido há mais de uma década e, desde então, tem sido sustentado por especialistas associados à Organização Mundial da Saúde. Descobriu-se que inspeções sanitárias eram a maneira rápida, eficiente, simples e barata de se prevenir problemas quando se tratava de programas de controle da qualidade da água. Uma boa inspeção sanitária pode detectar problemas antes que eles venham a causar danos ou a deteriorar o produto final: a água potável.

É necessário muito pouco para que se proceda uma inspeção deste tipo em um fd. Qualquer operador, com um mínimo de habilidade, pode desempenhar esta tarefa e descobrir qualquer problema em potencial ou de fato e providenciar a solução.

Durante a inspeção ele deve verificar o estado e a condição da tomada, dos canais, das válvulas e do filtro propriamente dito. Obstruções, danos, vazamentos ou qualquer outro problema devem ser corrigidos imediatamente. Se ele não puder resolvê-los por si, deverá relatá-los à autoridade mais próxima logo que possível.

É importante que ele leia os medidores e que anote a quantidade de água que está sendo produzida (leitura instantânea) e a quantidade que foi produzida (leitura volumétrica).

Se houver a possibilidade de analisar a água quanto à turbidez e quanto às bactérias Coli ele deverá colher as amostras correspondentes.

Todas estas avaliações devem ser anotadas nos formulários adequados, os quais, por sua vez, devem ser simples.

18.2. LIMPANDO O FILTRO

O filtro deve ser limpo de duas maneiras diferentes, limpeza diária e limpeza de temporada.

Limpando o filtro diariamente, o operador fará com que o mesmo retome a capacidade do dia anterior. Ele praticamente não notará diminuição na taxa de filtração.

Mesmo assim, acontecerá que alguma sujeira e partículas começarão a serem depositadas nas camadas mais baixas do filtro e a perda de carga começará a aparecer (isto dependerá da qualidade da água bruta e acontecerá mesmo que a limpeza diária seja feita devidamente).

Se o filtro tiver uma caixa de água filtrada, a perda de carga será vista no controlador de água filtrada. Se não houver um dispositivo deste tipo, o operador perceberá que a taxa de filtração decresce com o tempo e, para que seja mantida a mesma vazão de água filtrada, ele terá que abrir a válvula reguladora mais e mais até o ponto em que não seja mais alcançada a vazão original. Este fenômeno (que poderia ser chamado de carreira do filtro dinâmico) levará muito tempo para acontecer e neste ponto a limpeza será obrigatória. Esta carreira é bem mais longa do que a carreira de um fla convencional. Provavelmente será um fenômeno relacionado às estações do ano uma vez que este problema acontecerá na estação das chuvas, quando a água é mais turva. Espera-se que esta limpeza se faça necessária uma vez por ano.

O procedimento para a **limpeza diária do filtro** é o seguinte:

O operador deve fechar a válvula de saída da água filtrada (usando a válvula de fechamento e não a válvula de regulação!). A vazão de entrada não deve ser tocada! É importante deixar que o fluxo cruzado continue para que as partículas de impurezas sejam empurradas para frente. A única diferença entre este procedimento e a operação normal é que o filtro não estará filtrando água.

Usando um rodo de madeira o operador removerá a superfície do filtro tentando limpar as camadas superiores de areia (sem se aprofundar mais do que 5 cm da superfície).

Ele deve começar na parte mais próxima à câmara de dissipação e terminar na parte mais próxima à câmara de recuperação de areia.

Durante esta atividade a sujeira do bolo de lama estará se movendo da entrada para o final do filtro e a sua maior parte passará sobre a câmara de recuperação de areia. O operador deverá passar o rodo nesta última parte do filtro cuidadosamente porque, caso contrário, muita areia poderá passar sobre o vertedouro de controle de nível.

Apesar de existir uma câmara de recuperação para reter esta areia que escapa, é melhor que não se deixe muito dela escapar, posto que a mesma teria que ser recuperada, eventualmente lavada e recolocada na superfície do filtro.

Quando o filtro estiver limpo, o operador deverá abrir a válvula de água filtrada e recomeçar a operação do filtro.

Sugere-se que a limpeza seja feita diariamente. É possível, entretanto, que a operação de limpeza seja feita dentro de dois, três ou mais dias, dependendo das características da água e da operação do filtro. De qualquer forma, deve ser dito ao operador que execute esta tarefa todos os dias e, mais tarde, se as condições específicas de funcionamento do filtro permitirem, e somente então, um planejamento de limpezas mais folgado poderá ser aceito.

Quando areia demais começar a acumular na câmara de recuperação de areia (não há um parâmetro fixo para "demais"), esta câmara deverá ser drenada e a areia coletada. Se estiver limpa, ela deverá ser imediatamente recolocada no filtro. Se estiver muito suja, algum procedimento como a lavagem com água filtrada deverá ser introduzido. Isto dependerá das condições locais, do comportamento do filtro e do projeto do engenheiro.

A limpeza de temporada é consideravelmente mais importante e demanda mais tempo.

O filtro é interrompido, o fluxo cruzado de entrada fechado e a caixa drenada. Com o uso de uma pá, aproximadamente 20cm de areia devem ser removidos das camadas superiores, ao longo de toda a superfície do filtro. Ou a areia é substituída por areia nova e limpa ou a areia suja é lavada e, uma vez limpa, é recolocada no filtro. Apesar desta operação ser também muito simples, demandará um ou dois dias para que seja completada e para que o filtro seja posto em funcionamento novamente. Isto é equivalente à limpeza de um fla convencional, mas neste caso pode ser procedida com muito menos frequência.

O CEPIS aconselha utilizar o método de trincheira, isto é, juntamente com a capa de areia suja, tirar também outra capa mais profunda que pode estar semi-colmatada.

Ao repor a areia, coloca-se a limpa ou nova debaixo da semi-colmatada, que ficaria, então, na parte superior do leito. Isto, apesar de ser bem mais trabalhoso (e que poucas vezes é executado na prática) é o correto e assegura um funcionamento perfeito do filtro.

19. PARÂMETROS DE PROJETO

É sempre importante que se tenha todos os parâmetros de projeto em conjunto numa tabela ou seção específica.

Isto constitui uma ferramenta de referência rápida que ajuda o engenheiro projetista obter a informação necessária sem que tenha que passar por todo o documento.

O somatório de todos os parâmetros, como recomendados neste guia, é o seguinte:

Turbidez máxima permitida na água bruta: 50 UTN

Câmara de Dissipação:

profundidade e largura	= iguais as do filtro
comprimento	= 1/5 do comprimento do filtro
posição da chicana	= 2/5 do comprimento da caixa, medidos a partir da abertura de entrada
abertura na parte inferior da chicana	= 1/3 da altura do leito do filtro

Vertedouros:

material	= aço pintado com anti-oxidante, 3 – 7 mm de espessura
comprimento	o mesmo que a largura do filtro
largura	0,25 m

Filtro:
razão: comprimento/largura 3:1 – 6:1

comprimento extra para a área
de recuperação de areia 1/5 do comprimento do filtro

borda livre acima do nível da água 0.2 m

Caixa de recuperação de areia:
comprimento 1/5 do comprimento do filtro

largura largura do filtro

Dreno:
distância entre laterais 0.5 – 1.5 m

diâmetro dos orifícios 2 – 3 mm

largura das fendas 1 mm

velocidade nos orifícios ou fendas 0.3 – 0.5 m/seg

diâmetro do cascalho ou pedra 25 – 50 mm

altura do leito de cascalho ou pedra 0.15 m

Leito do meio de suporte

Camada	Tipo	Diâmetro da partícula (mm)	Espessura da camada (mm)
superior	areia grossa	1 – 2	50
segunda	cascalho fino	2 – 5	50
terceira	cascalho	5 – 10	50
inferior	cascalho grosso	10 – 25	150

Meio filtrante
tamanho efetivo, d_{10} 0.15 – 0.45 mm

coeficiente de uniformidade CU 1.5 – 4.0

altura do meio filtrante 0.5 – 0.7 m

Reservatório

volume do reservatório 50% da produção diária de água filtrada

Projeto:

vida útil do filtro	10 – 25 anos
consumo diário individual de água	25 – 120 litros/pessoa x dia
taxa de filtração	0.1 – 0.3 m ³ /m ² x hora
razão: fluxo cruzado/fluxo de filtração	5:1 – 15:1
número mínimo de filtros	2
velocidade da água em um fd	0.05 – 0.20 m/seg
velocidade da água no canal de entrada	6.0 – 0.5 m/seg
velocidade da água na tubulação de distribuição	3.0 – 0.7 m/seg
inclinação no fd	0.1 – 2.5 %
inclinação no canal de distribuição	0.1 – 20 %
carga hidráulica de água acima da superfície de areia em um fd	≥ 10 mm
coeficiente (Manning) para um fd	0.03
Calxa de água filtrada:	
altura	altura do filtro
lados (ambos iguais)	0.80 – 1.00 m

20. GLOSSÁRIO

AMADURECIMENTO = ver maturação.

ÁGUA BRUTA = água obtida do rio sem tratamento.

ÁGUA FILTRADA = água que passou pelo filtro e está pronta para a distribuição.

ÁREA DE FILTRAÇÃO = área total da superfície do sistema de filtragem.

ÁREA FILTRANTE DE CADA UNIDADE = área da superfície de cada filtro do sistema.

BOLO DE LAMA = partículas e impurezas que se acumulam na camada superior do filtro e que são responsáveis pela perda de carga.

BORDA LIVRE = parte da parede do canal ou da parede do filtro que está acima do nível máximo de água.

CAIXA COLETORA DE ÁGUA FILTRADA = pequena caixa localizada junto ao filtro que recebe a água filtrada. Nela está o regulador de vazão.

CAIXA DO FILTRO = estrutura (no formato de uma caixa) que contém o leito de suporte, o leito filtrante e o sistema de drenagem.

CÂMARA DE DISSIPAÇÃO = câmara de admissão que distribui a água na entrada do filtro e, mais importante, dissipa a energia que a água traz pelo canal de entrada.

CÂMARA DE RECUPERAÇÃO DE AREIA = caixa dentro da estrutura do filtro onde areia será coletada para ser recolocada no filtro.

CARGA HIDRÁULICA = altura da água acima de uma determinada superfície.

CARREIRA = período de tempo entre duas limpezas consecutivas do filtro.

CHICANA = placa colocada perpendicularmente ao fluxo de água com o propósito de dissipar energia.

COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE (CU) = razão d_{60}/d_{10} , que é a razão entre o tamanho da peneira através da qual 60% da areia passa e o tamanho através da qual 10% da areia passa.

COMPORTA REGULADORA DE VAZÃO = placa no canal que serve para controlar a vazão da água.

COMPRIMENTO TOTAL DA ESTRUTURA = comprimento da caixa do filtro mais o comprimento correspondente às câmaras de admissão e de recuperação de areia.

CONDUTO DE ENTRADA = canal ou tubulação que traz a água do rio para o filtro.

CONDUTO DE TRANSBORDE = canal que recebe a água do fluxo cruzado que abandona o filtro e a leva de volta ao rio.

CONSUMO DIÁRIO PER CAPITA = quantidade de água que uma pessoa consome por dia (todos os usos incluídos).

DIÂMETRO EFETIVO (d_{10}) = tamanho da abertura da peneira através do qual somente 10% (em peso) da areia passa.

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA = análise de amostra de areia que identifica quantidades diferentes (em peso) de partículas de determinado diâmetro. É desenhada em papel semi-logarítmico.

DRENO = sistema que consiste de tubos, tijolos, blocos ou até mesmo de pedras e cascalhos que permite a coleta da água filtrada e a sua condução até a saída do filtro.

E. COLI = bactérias indicadoras. Sua presença sugere contaminação por fezes humanas ou animais.

FATOR DE CRESCIMENTO = média da taxa de crescimento anual em uma dada região.

fd = filtro dinâmico

fla = filtro lento de areia.

FLUXO CRUZADO = fluxo de água bruta que corre através da superfície do filtro. Parte dele percola pelo leito filtrante e parte abandona a superfície do filtro por um vertedouro de transborde.

GRADIENTE = quantidade de inclinação entre dois pontos.

INCLINAÇÃO = diferença de altura entre dois pontos por unidade de comprimento.

LEITO = uma certa quantidade de cascalho e de areia colocada na caixa do filtro. O leito de areia é responsável pela ação de filtração. O leito é constituído pelo leito de suporte e o leito filtrante.

LEITO DE SUPORTE = parte inferior do leito sobre o qual assenta-se o leito filtrante. Este é composto por cascalho e areia grossa.

LEITO FILTRANTE = parte superior do leito. É responsável pela ação de filtração. Tem de 0.5 m a 0.7 m de altura e as características da areia que o compõe são uniformes.

MATURAÇÃO = processo biológico através do qual o leito filtrante desenvolve o biofilme ou schmutzdecke. **MOGGOD** = gases oxidantes misturados, gerados no local, usados na desinfecção. Uma nova tecnologia que produz cloro e compostos relacionados a ozônio a partir de sal de mesa e de eletricidade.

MURO DE GRAVIDADE = parede do filtro feita de tijolos ou pedras. Ela reage (neutraliza), com seu peso próprio, à pressão exercida pela água.

NECESSIDADES ESPECIAIS = quantidade de água consumida ou usada diariamente para finalidades distintas do consumo individual diretamente relacionado à habitação (escolas, clínicas, etc).

PENEIRA = instrumento que consiste de uma moldura e de uma malha de arame que é usado para separar partículas de areia de tamanhos diferentes.

PERDA DE CARGA = diferença na altura da água entre dois pontos que pertencem a partes diferentes de um elemento ou a elementos diferentes, causada pela perda de permeabilidade do meio e pelo aumento de resistência ao fluxo.

PERDA DE CARGA POR FRICÇÃO = fator que depende do material de que é feito o tubo. Dá uma idéia da perda de carga relativa àquele material.

PERÍMETRO MOLHADO = contorno de um canal ou tubo que está em contato com a água que passa por dentro dos mesmos.

POPULAÇÃO DE PROJETO = população atual mais o aumento percentual no período de anos escolhido como vida útil do sistema.

PRÉ-FILTRAÇÃO = filtração através de várias camadas de um meio grosso (cascalho) que tem como finalidade a redução da turbidez da água bruta.

RAIO HIDRÁULICO = quociente entre a área através da qual a água corre e o contorno do canal que está em contato com a água (o qual é chamado de perímetro molhado).

REGULADOR DE ÁGUA FILTRADA = ver regulador de vazão.

REGULADOR DE VAZÃO = dispositivo que mantém constante a vazão de água filtrada.

RODO DE MADEIRA = instrumento simples, feito com um pedaço reto de madeira, que é usado para limpar o filtro.

SCHMUTZDECKE = biofilme que cobre os grãos de areia e que é responsável pela eliminação da contaminação orgânica da água bruta.

TAXA DE FILTRAÇÃO = vazão de água a ser filtrada por unidade de área de filtro.

UTN = unidades de turbidez nefelométricas.

VAZÃO DE FILTRAÇÃO = vazão do filtro expressa em m³/hora.

VAZÃO DIÁRIA DE FILTRAÇÃO = volume de água que o filtro deve produzir por dia. É expresso em m³/dia.

VAZÃO NATURAL = vazão máxima que passa por gravidade por um tubo.

VAZÃO TOTAL = quantidade total de água que é obtida do rio expressa em m³/dia ou m³/hora.

VELOCIDADE = velocidade que a água tem em um condutor (tubo, canal) ou na superfície do filtro.

VELOCIDADE DE FILTRAÇÃO = outra denominação da Taxa de Filtração.

VERTEDOURO = placa no canal ou no filtro que serve para controlar a vazão e as declividades.

VERTEDOURO COM CHANFRO EM V = vertedouro com um chanfro em V a 60°, usado para medir a vazão em um canal.

21. BIBLIOGRAFIA

1. PERES, FARRAS L. Filtros dinamicos. Plan Nacional de Agua Potable rural, SNAP, Buenos Aires, Argentina, 1972. (em espanhol)
2. ARBOLEDA, J. Informe sobre visita al SNAP de Argentina, relatório para OPAS/OMS, Washington D.C., E.U.A., 1974. (em espanhol)
3. RODRIGUEZ, D. Análisis de la Eficiencia de Filtros Dinamicos para Tratamiento de Agua Potable, Universidade do Chile, Seção de Engenharia Sanitária, Santiago, Chile, 1977. (em espanhol)
4. AGUILAR, D. E FERNANDEZ, A. Investigacion de Filtros Dinamicos, Secretaria de Recursos Hidricos de La Rioja, La Rioja, Argentina, 1979. (em espanhol)
5. PEREZ, J. Informe Técnico 217: Evaluación de Filtros Lentos Dinamicos, OPAS/OMS Relatório No 217, Washington D.C., E.U.A., 1977. (em espanhol)
6. BARRET J. et al. Manual of Design for Slow Sand Filtration, AWWA, E.U.A., 1991. (em inglês)
7. VAN DIJK, J. et al. Slow Sand Filtration for Community Water Supply in Developing Countries, IRC, Documento Técnico No 11, Hague, Holanda, 1978. (em inglês)
8. SOLSONA, F. Disinfection for Small Water Supplies, Guia Técnico do CSIR, Pretoria, Africa do Sul, 1990. (em inglês)
9. KENNEDY, R. Hydraulics in channels, Instituto de Engenheiros Cívicos, vol.119. 1874-5 p.281.(em inglês)
10. JORDAN, T. A Handbook of Gravity-Flow Water Systems, Intermediate Technology Publications, 1984. (em inglês)
11. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, Manual of Concrete Practice, Detroit, E.U.A., 1974. (em inglês)

12. DANCY, H. A Manual on Building Construction, Intermediate Technology Publications Ltda., Londres, R.U., 1988. (em inglês)
13. WATT, S. Ferrocement Tanks: Their Construction and Use, Intermediate Technology Publications Ltd. Londres R.U. 1988. (em inglês)
14. SHARMA, P. et al. Ferrocement Water Tank, Inter. Ferrocement Information Centre, Bangkok, Tailândia, 1980. (em inglês)

22. FIGURAS

1. Lay-out típico de um sistema de filtração dinâmica
2. Controle de vazão em canal e em tubulação
3. Vertedouro com chanfro em V a 60° . Gráfico de vazão e fórmula
4. Lay-out original para um filtro dinâmico
5. Câmara de dissipação
6. Vertedouros
7. Vertedouro de entrada
8. Vertedouro de transborde. Fendas para o controle de níveis
9. Sistema de drenagem com tubos
10. Caixa de água filtrada e sistema de controle
11. Curva de distribuição granulométrica, d_{10} e CU
12. Modelo para gráfico de análise de peneira
13. Raio Hidráulico
14. Ábaco de vazão para tubos de plástico e ferro
15. Muros de gravidade para a caixa do filtro
16. Válvulas no Sistema

23. AGRADECIMENTOS

Eu gostaria de expressar a minha sincera gratidão às pessoas que tornaram possível a produção deste guia técnico. Minha idéia era a de produzir um documento que viesse a ser uma ferramenta útil na disseminação da tecnologia da filtração dinâmica. Mas, sem a ajuda de muitas pessoas, esta idéia não teria passado de uma boa intenção.

A ajuda de amigos e colegas de dois continentes foi o instrumento que levou a, o que eu espero que seja, um novo começo, um renascimento de uma tecnologia valiosa. Agradecimentos especiais a:

Water Research Commission e o **CSIR** sul-africanos, organizações que apoiaram a pesquisa desenvolvida na África do Sul, minha viagem à América Latina e a produção do guia técnico original e que permitiram a sua reprodução em forma de publicação da OPAS/OMS.

Arq. Flávio Villas Bôas, pela excelente e difícil tradução deste documento do inglês para o português.

Eng. Lidia Vargas de Canepa, do CEPIS/OPAS, pela avaliação técnica do documento e por suas acertadas sugestões.

Fundação Nacional de Saúde, Ministério da Saúde do Brasil, que colaborou com a edição portuguesa deste guia técnico.

Eng. I. Pearson, ex-colega da Divisão de Tecnologia de Água, CSIR, África do Sul, por sua sabedoria, pela revisão deste trabalho e pela inclusão de algumas sugestões importantes.

Eng. W. Kariuki, ex-colega da Divisão de Tecnologia de Água, CSIR, quem me auxiliou durante a construção e os testes da unidade de filtração dinâmica para pesquisa em Daspoort.

Arq. C. Bolsinger, Diretor da Associação Inter-Americana de Engenheiros Sanitaristas (AIDIS) e Gerente de Planejamento do COFAPYS de Buenos Aires, Argentina, foi quem fez contatos e viabilizou minha viagem às províncias de La Rioja e Catamarca naquele país.

Eng. E. Inhounds, Consultor Autônomo (HYTSA, Buenos Aires) e ex-diretor do SNAP argentino, pela documentação fornecida e por suas valiosas sugestões técnicas.

Eng. A. Fernandez, Engenheiro Chefe do Sistema de Águas de La Rioja, que me guiou durante a viagem de visita aos filtros dinâmicos rurais da província de La Rioja. Ele me relatou a respeito dos primeiros dias dos fds, que fizeram parte de sua história.

Eng. J.L. Strauss, da província do Sistema de Águas de Catamarca, foi quem me guiou durante a viagem de visita aos filtros dinâmicos de Catamarca.

Todos os operadores de sistemas de água rurais contatados durante minha visita à Argentina. Por sua cooperação, por sua vasta experiência adquirida através da dedicação a um trabalho que é, algumas vezes, duro e mal remunerado. Por suas sugestões e a sabedoria que demonstraram. Essa colaboração é uma parte importante do know-how e sucesso eventual deste guia técnico.

Felipe Solsona
Brasília, D.F., Brasil,
Agosto 1995.

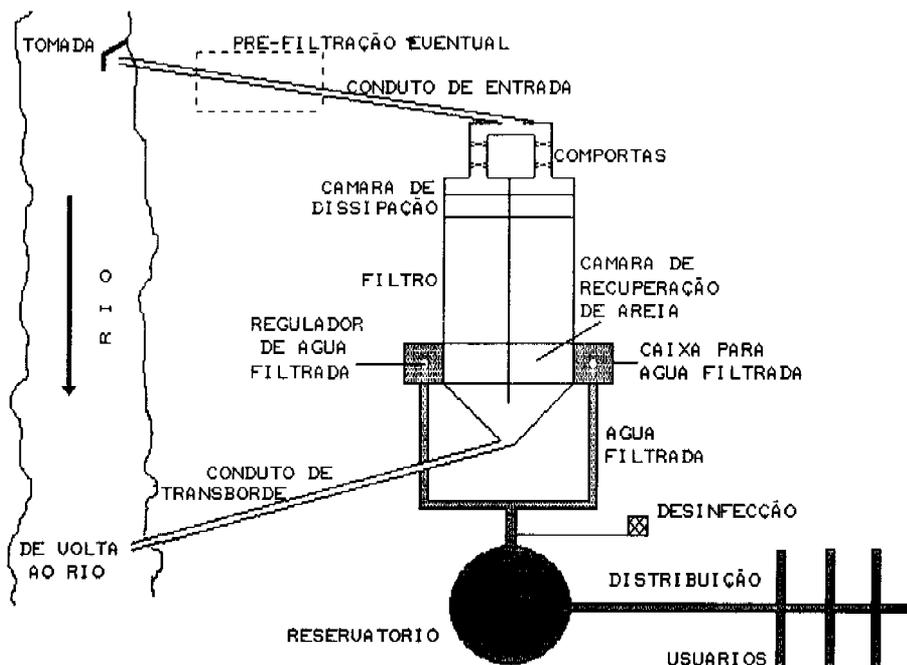


FIG.1 - LAY-OUT TÍPICO DE UM SISTEMA DE FILTRAÇÃO DINÂMICA

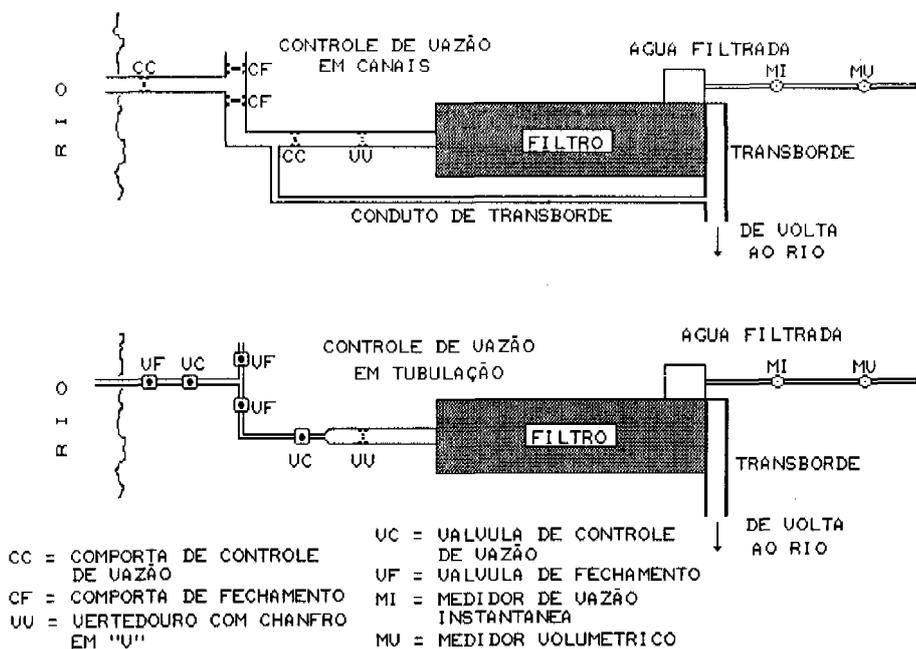
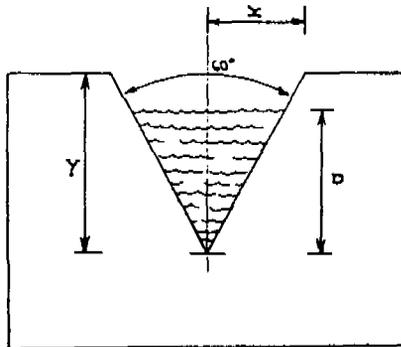
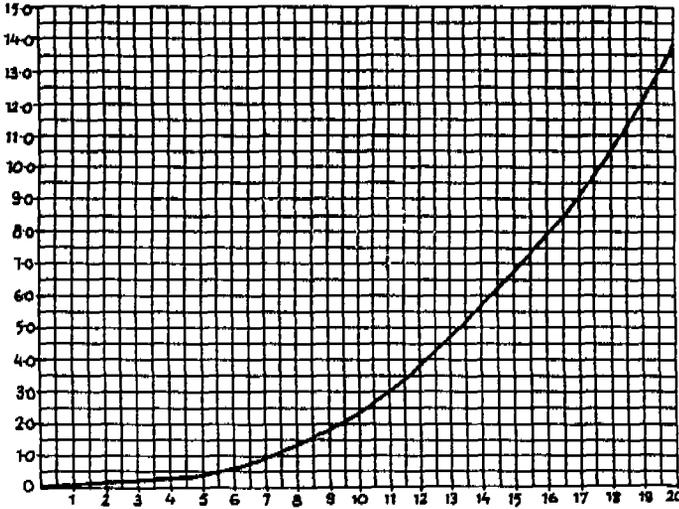


FIG.2 - CONTROLE DE VAZÃO EM CANAL E EM TUBULAÇÃO

$$Q = 775 \cdot h^{2.47}$$

$$[Q] = \text{l/seg}$$

$$[h] = \text{m}$$



$$\frac{X}{Y} = \frac{1}{1.73}$$

FIG.3 - VERTEDOURO COM CHANFRO EM V

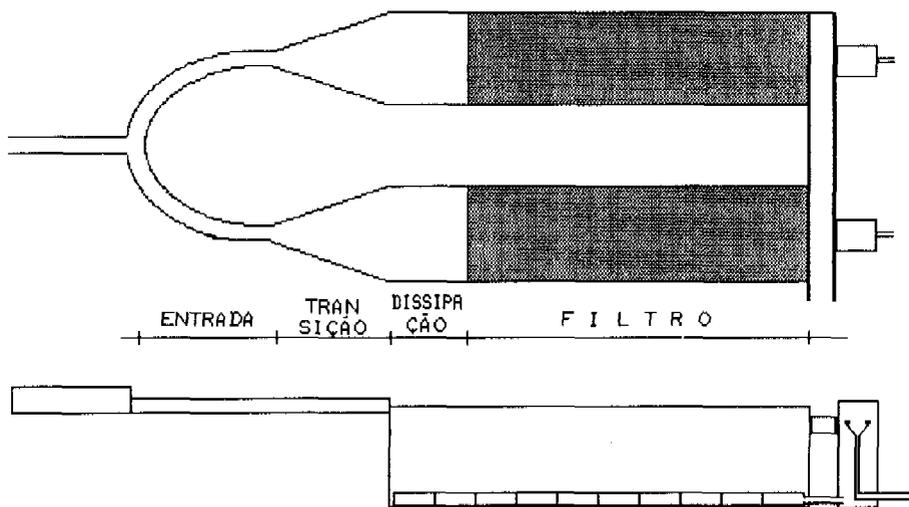


FIG.4 - LAY-OUT ORIGINAL PARA UM FILTRO DINÂMICO

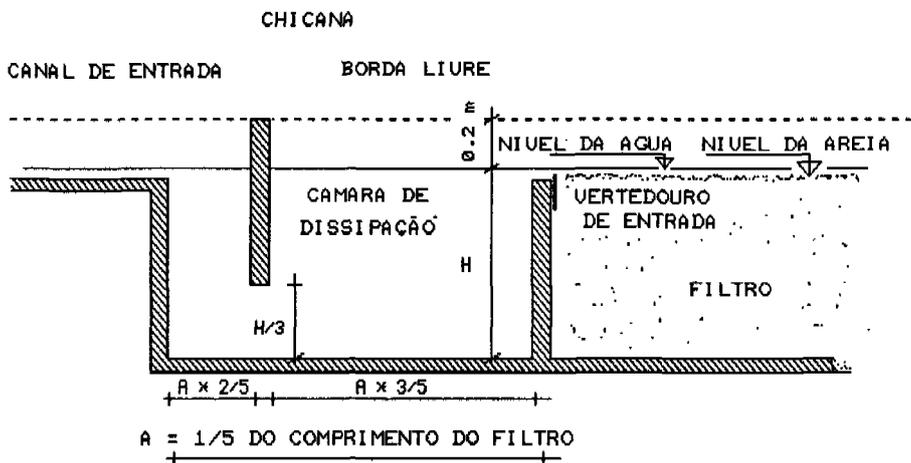


FIG.5 - CÂMARA DE DISSIPACÃO

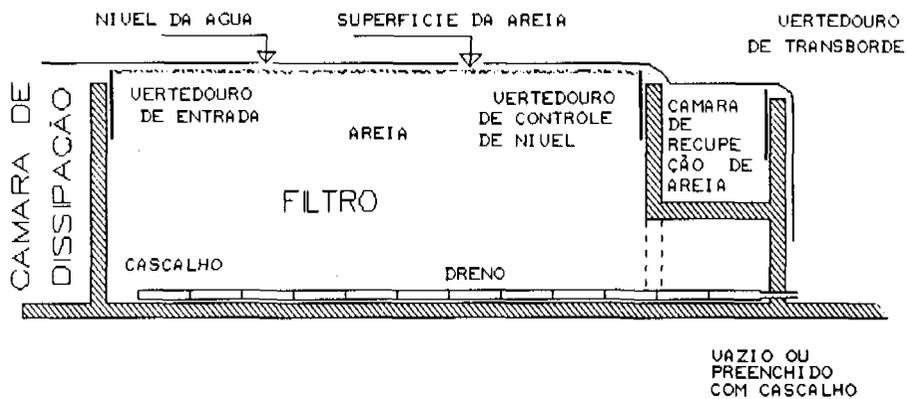


FIG. 6 - VERTEDOUROS

CHICANA ENTRE A
CAMARA DE DISSIPACÃO
E O FILTRO

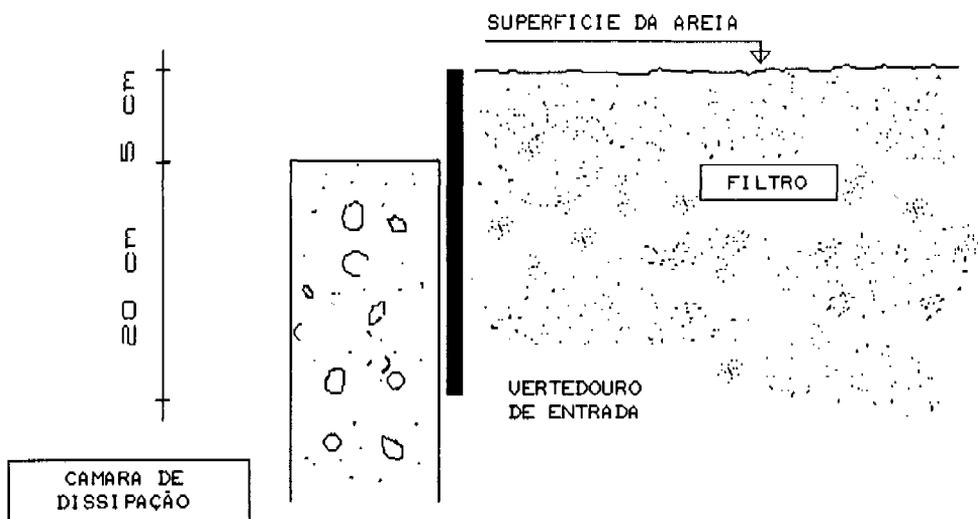


FIG.7 - VERTEDOIRO DE ENTRADA

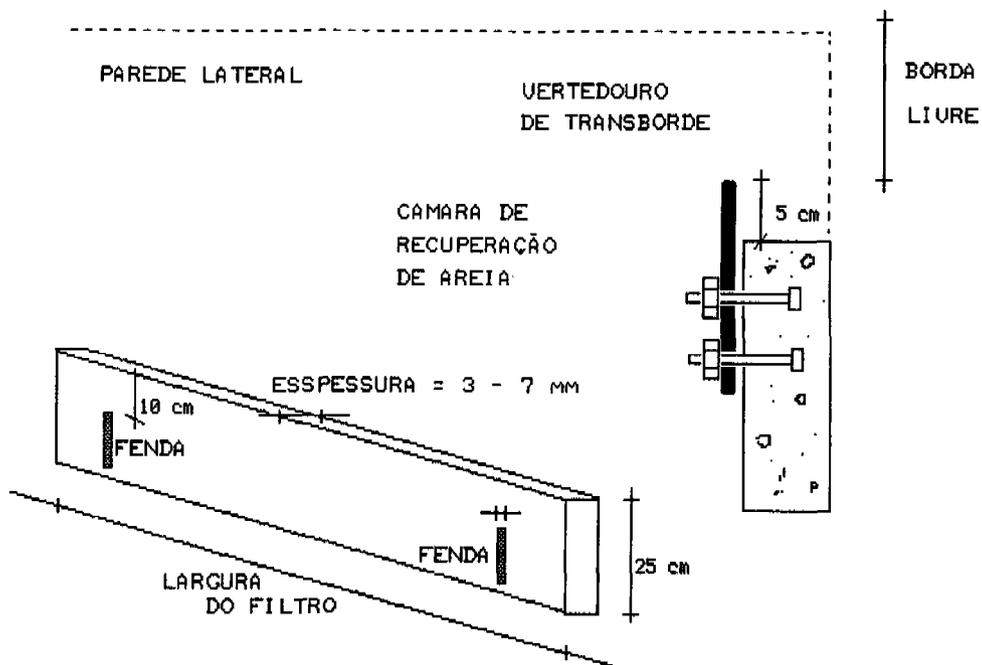


FIG.8 - VERTEDOIRO DE TRANSBORDE . FENDAS PARA O CONTROLE DE NÍVEIS

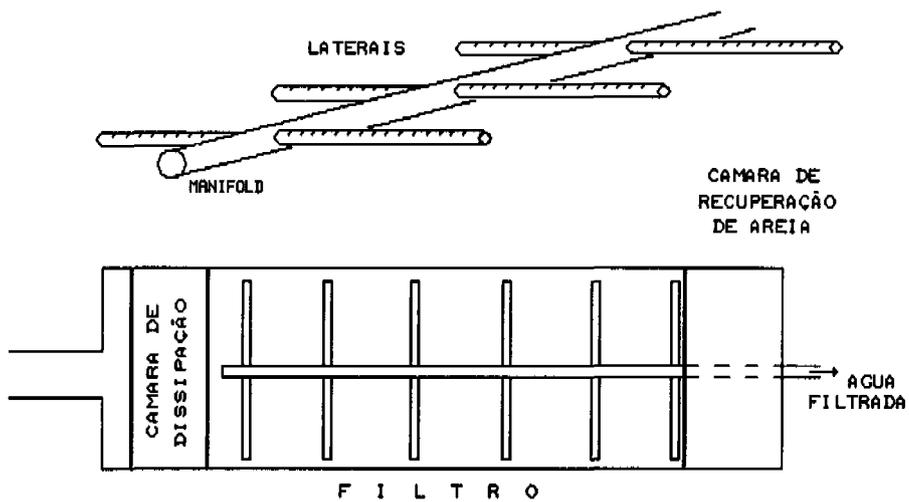


FIG.9 - SISTEMA DE DRENAGEM COM TUBOS

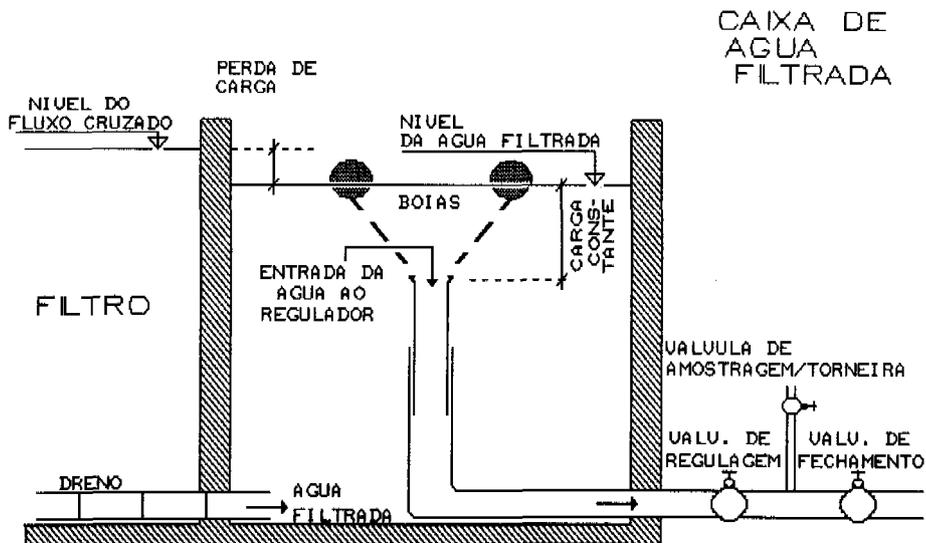


FIG.10 - CAIXA DE ÁGUA FILTRADA E SISTEMA DE CONTROLE

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMETRICA

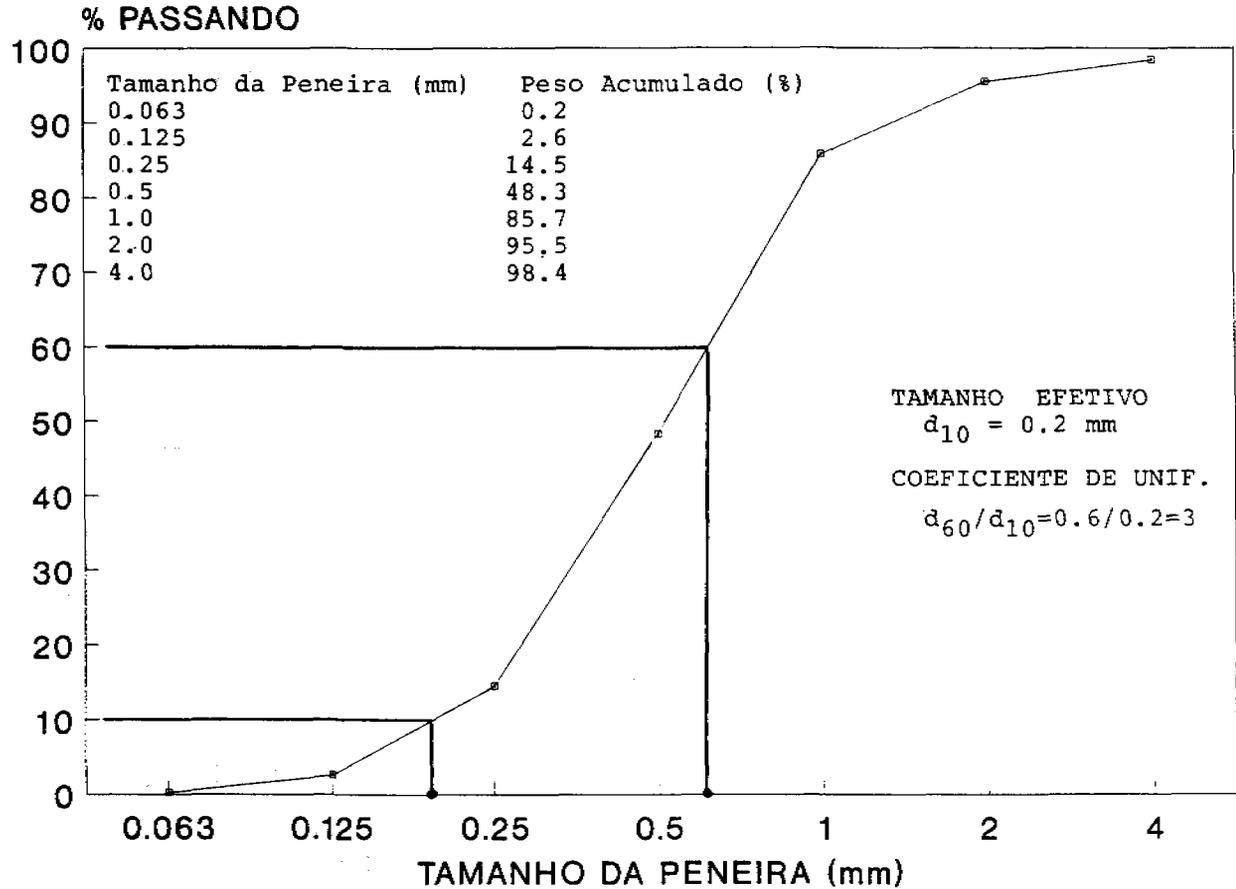


FIG.11 - CURVA DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMETRICA, D_{10} e C_U

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMETRICA

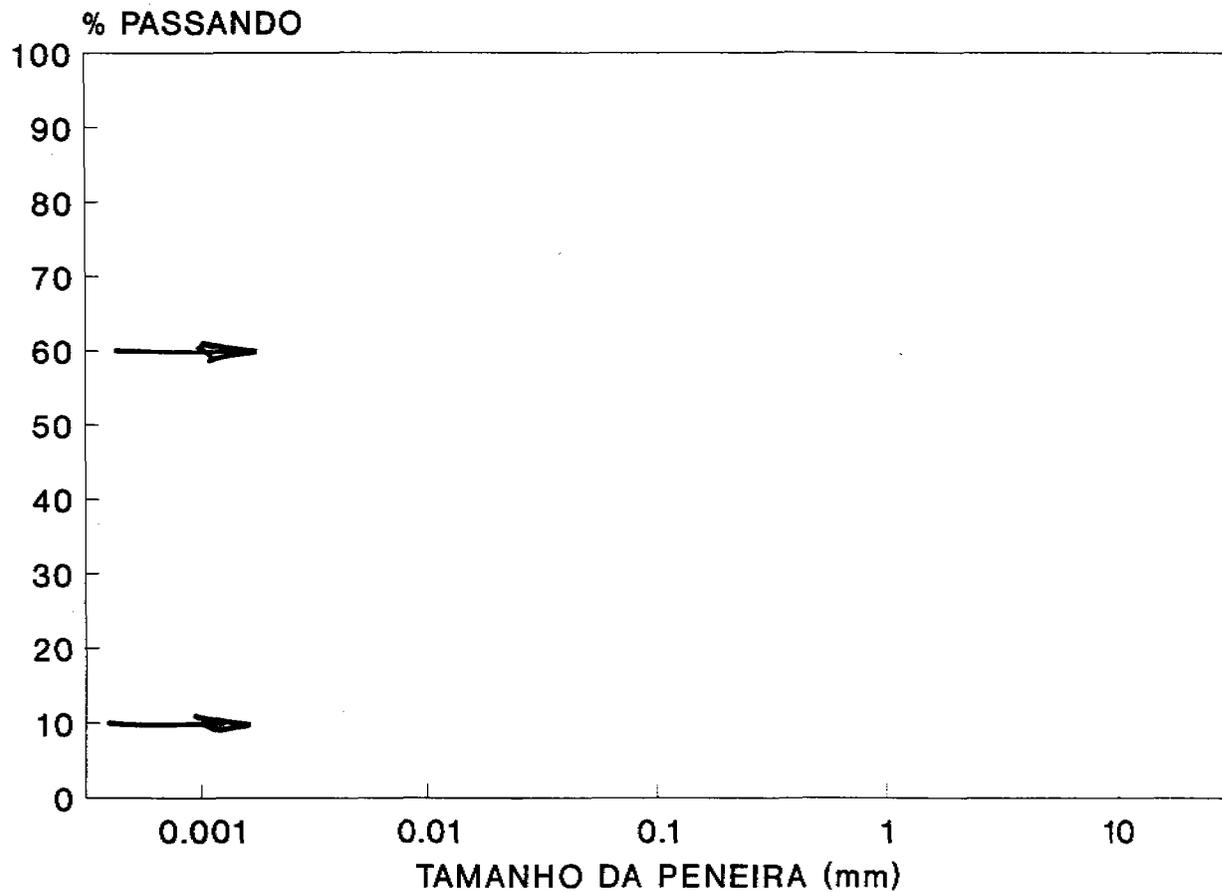
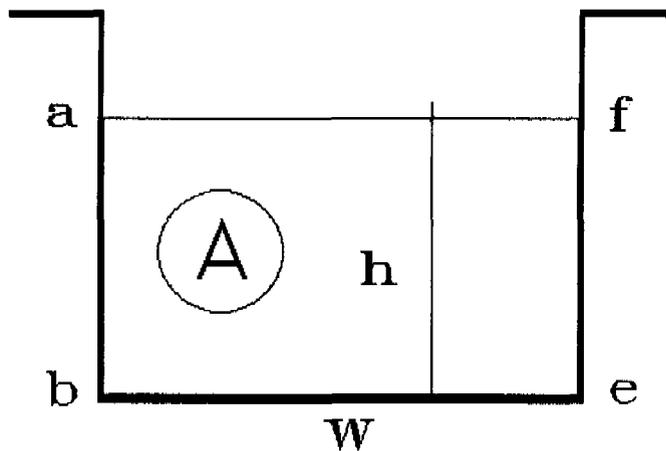


FIG.12 - MODELO PARA GRÁFICO DE ANÁLISE DE PENEIRA



$$r = A/p$$

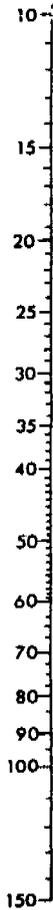
$$A = W \times h$$

$$p = W + 2 h$$

FIG.13 - RATIO HIDRÁULICO

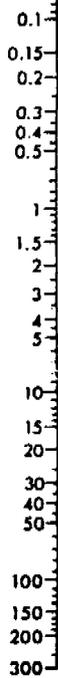
Diâmetro Interno

(mm)



Vazão

l/sec



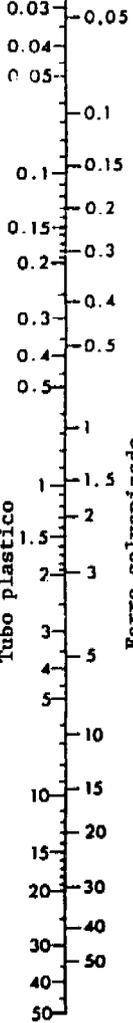
Velocidade

m/sec



Perda de Carga

m/100m



Tubo plástico

Ferro galvanizado

FIG.14 - ÁBACO DE VAZÃO PARA TUBOS DE PLÁSTICO E FERRO

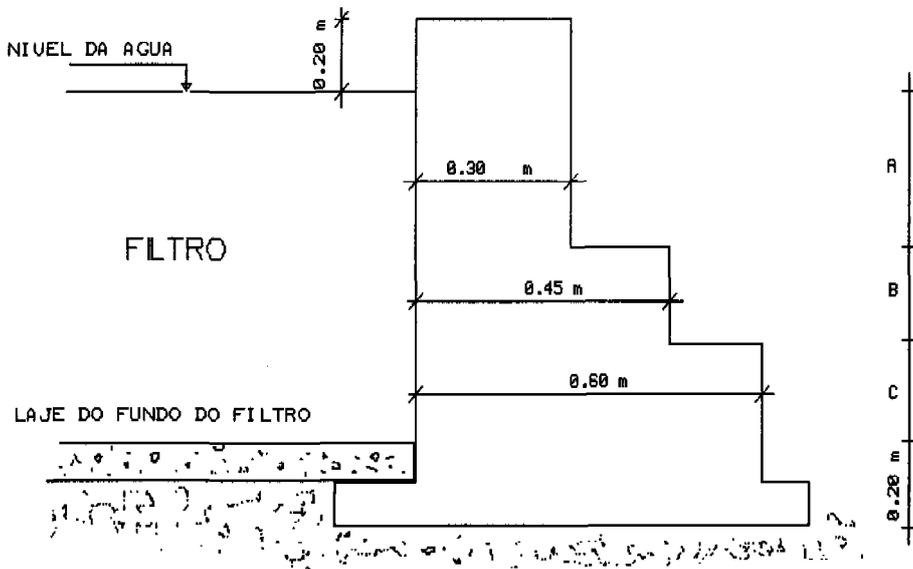
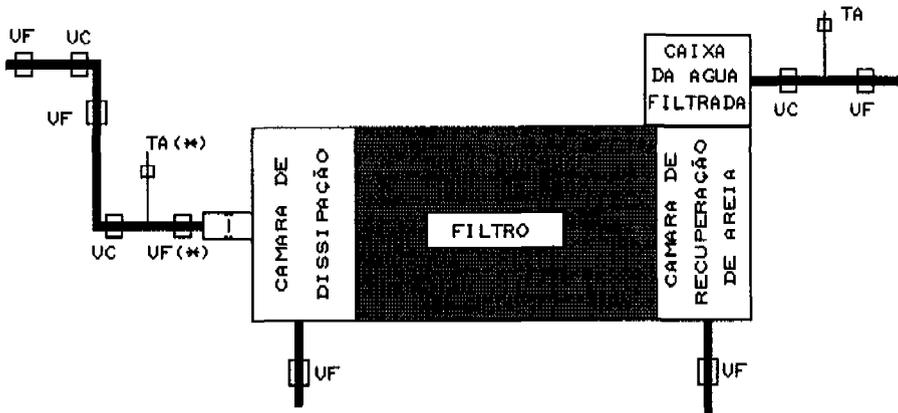


FIG.15 - MUROS DE GRAVIDADE PARA A CAIXA DO FILTRO



UC = VALVULA DE CONTROLE DE VAZAO

TA = TORNEIRA DE AMOSTRAGEM

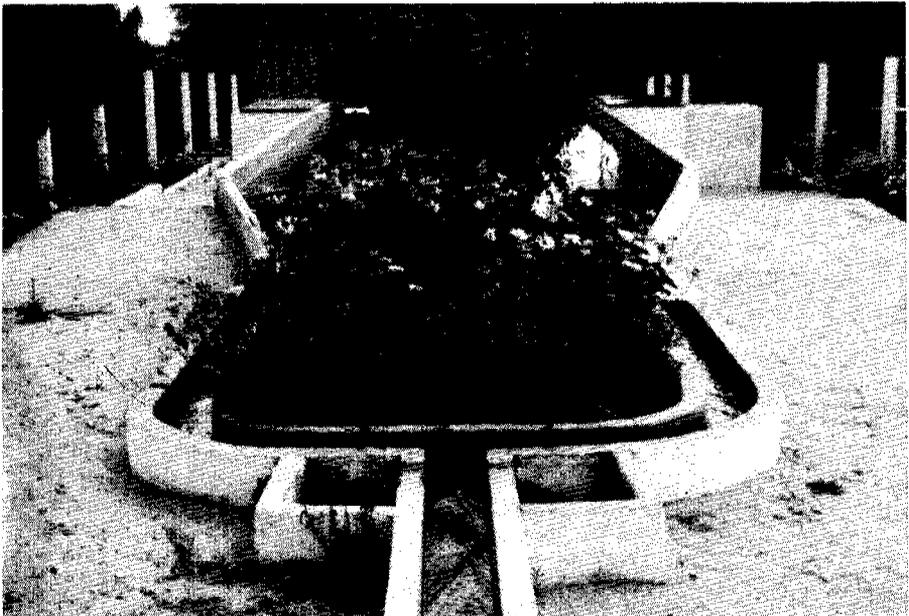
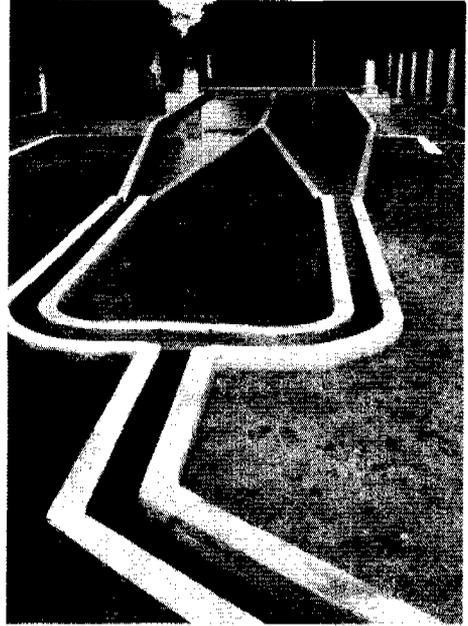
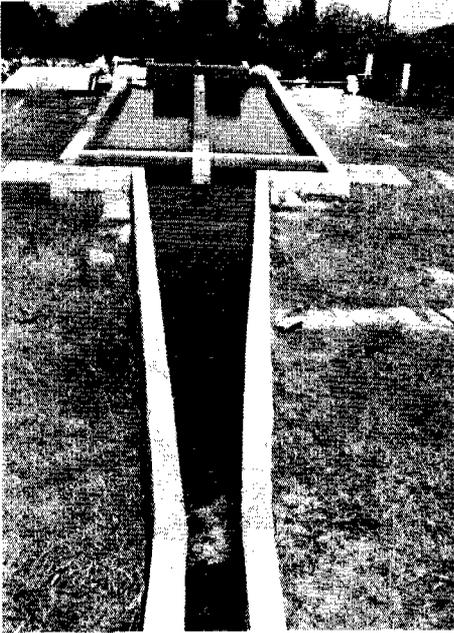
UF = VALVULA DE FECHAMENTO

(*) = OPCIONAL

FIG.16 - VALVULAS NO SISTEMA



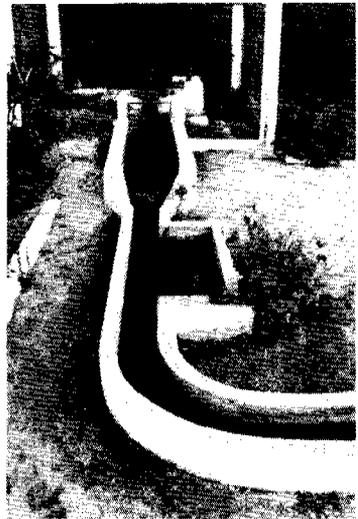
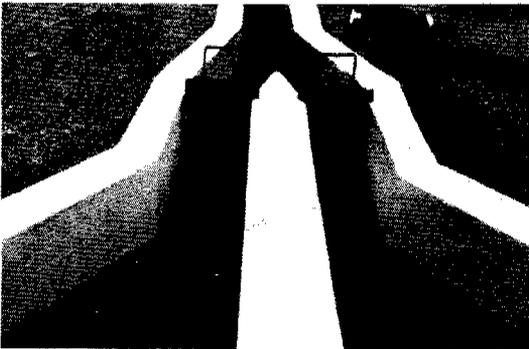
***Primeiro filtro dinâmico construído na América Latina (1969)
(ainda em funcionamento). Anillaco, La Rioja, Argentina***

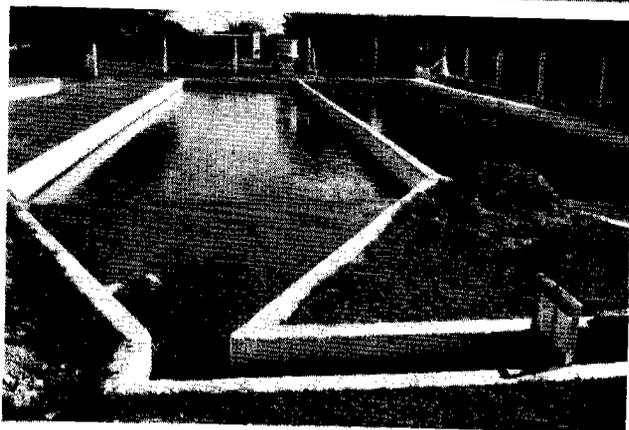
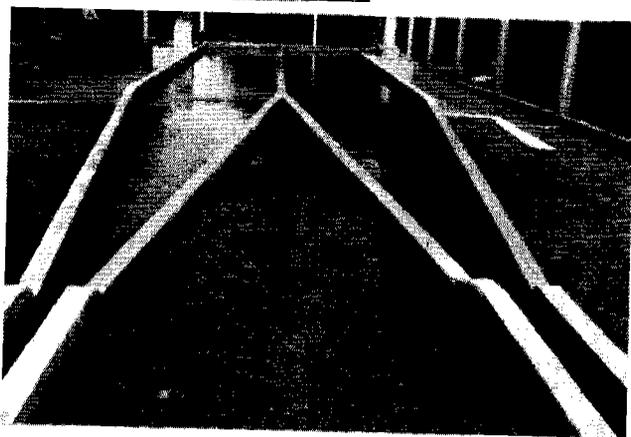
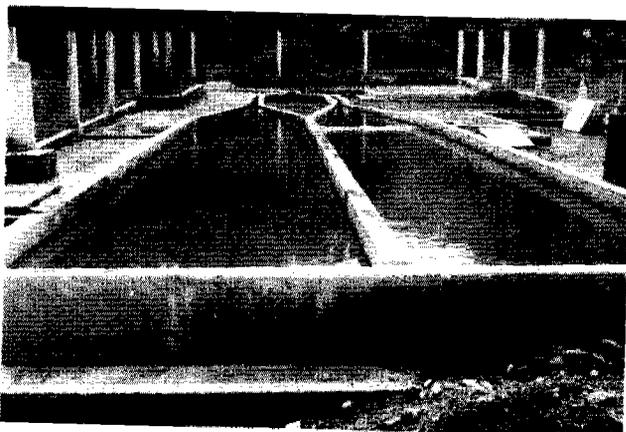


Canais de entrada

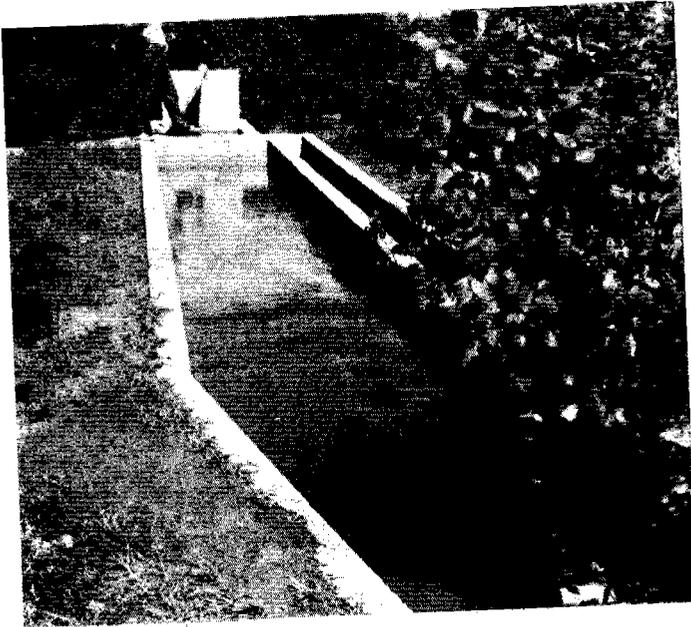
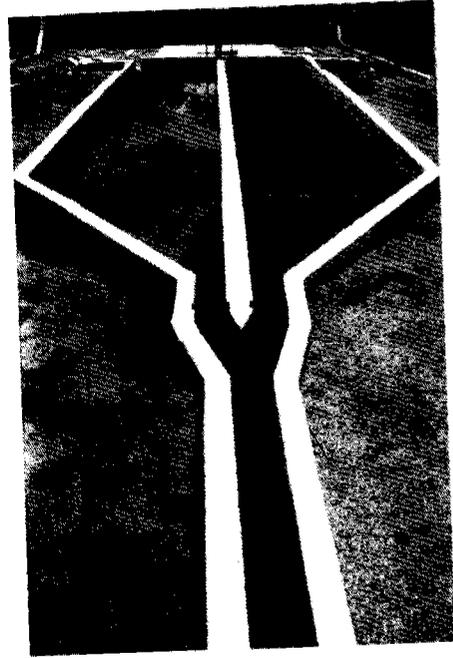
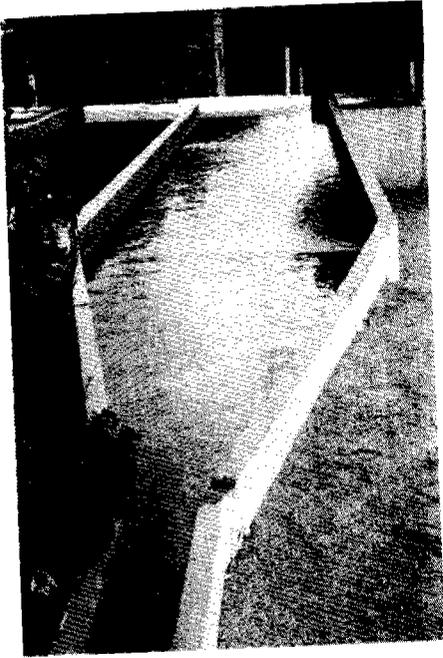


***Controle da vazão de entrada
com a utilização de comportas***

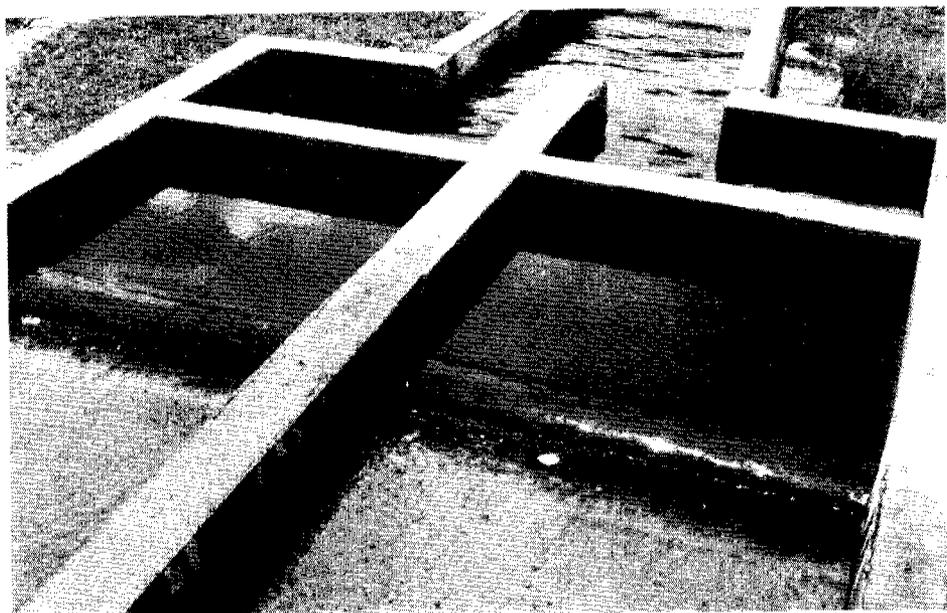




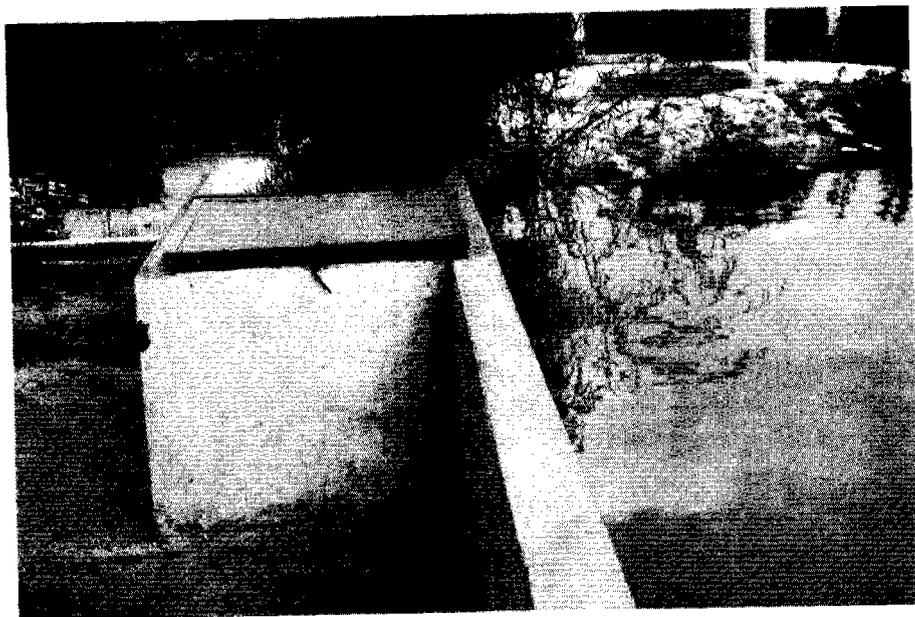
Filtros dinâmicos argentinos mostrando



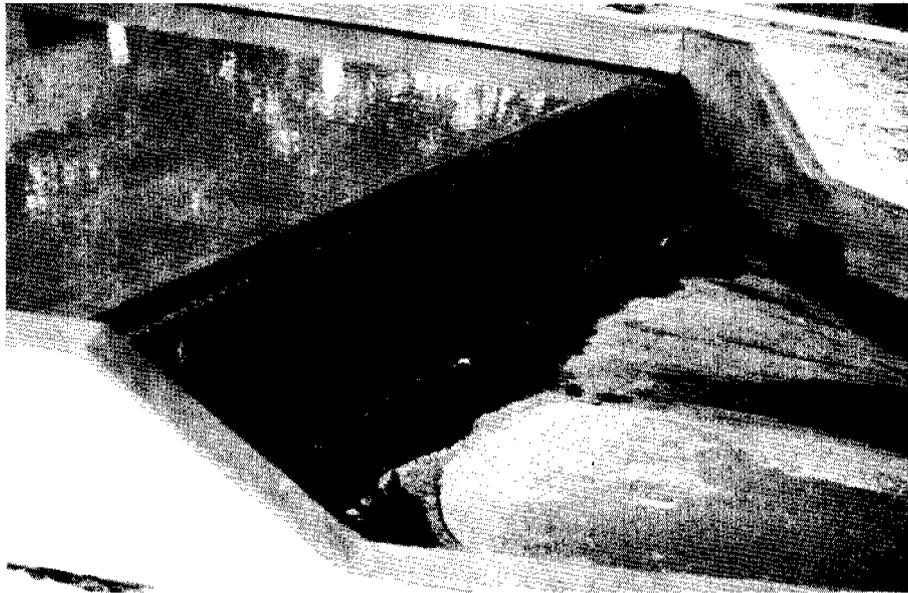
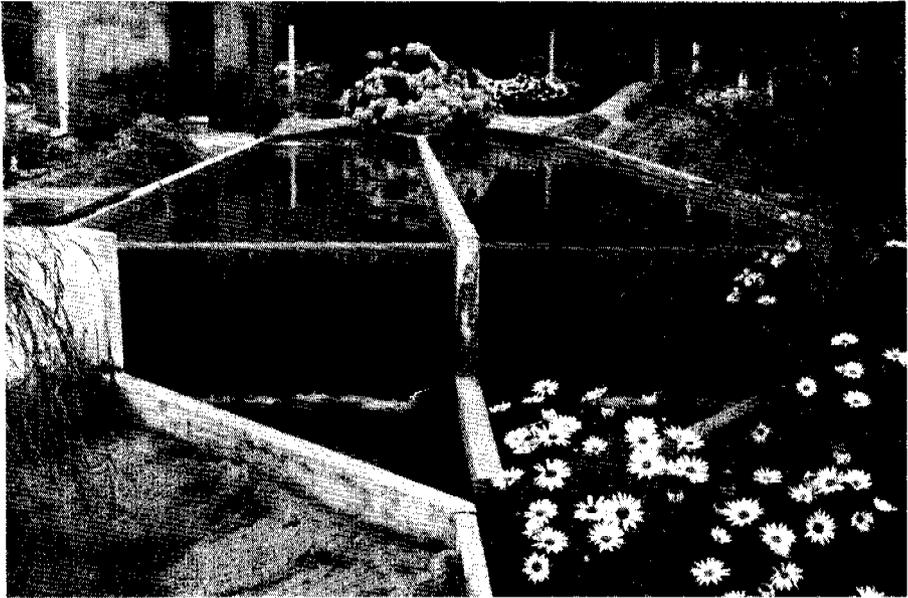
a área de dissipação original



Câmaras de dissipação como sugeridas neste guia técnico



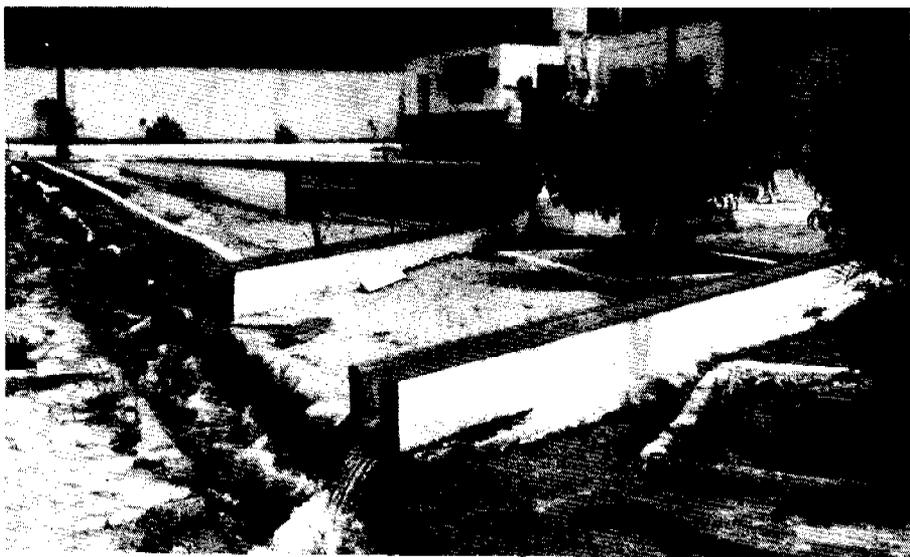
Câmara e regulador de água filtrada



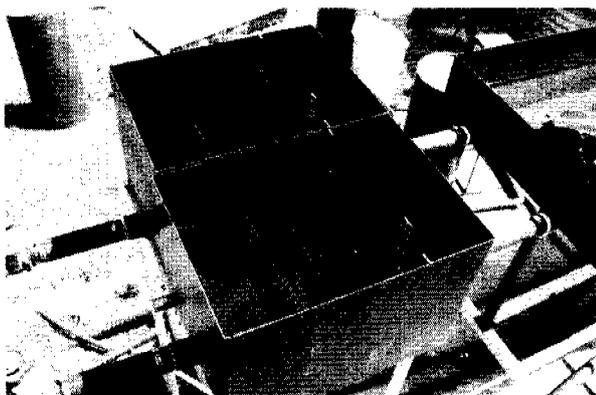
Transborde livre no final do filtro



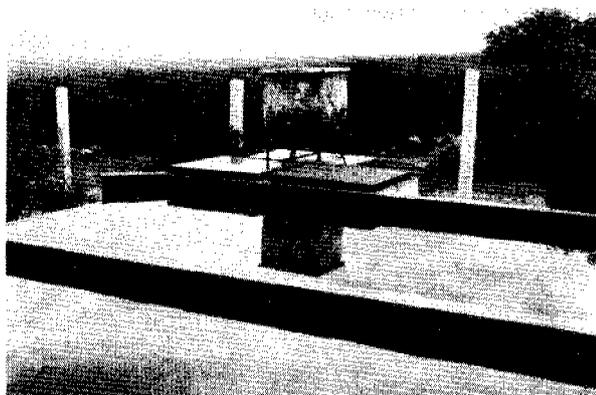
transborde da água...



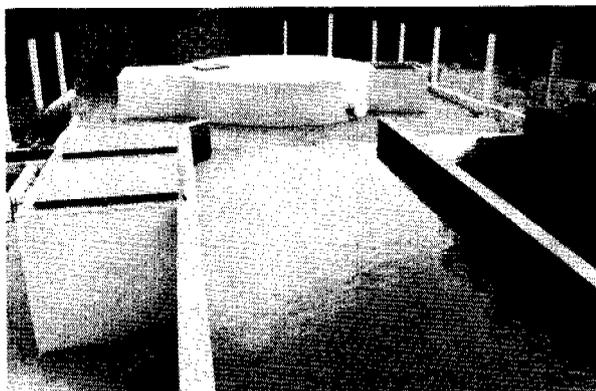
... e de volta ao rio



Vertedouros de medição com chanfro em V a 60°

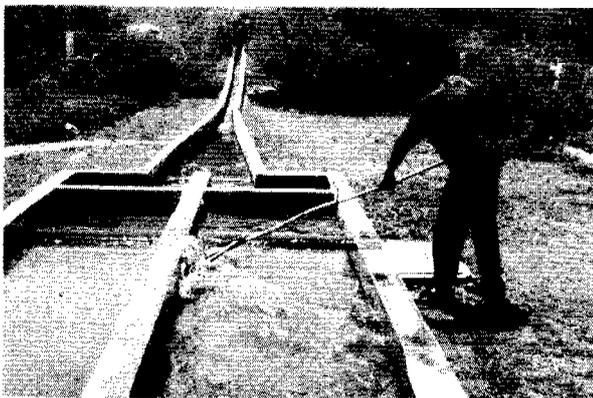


Desinfecção através da alimentação de solução de hipoclorito na caixa de água filtrada

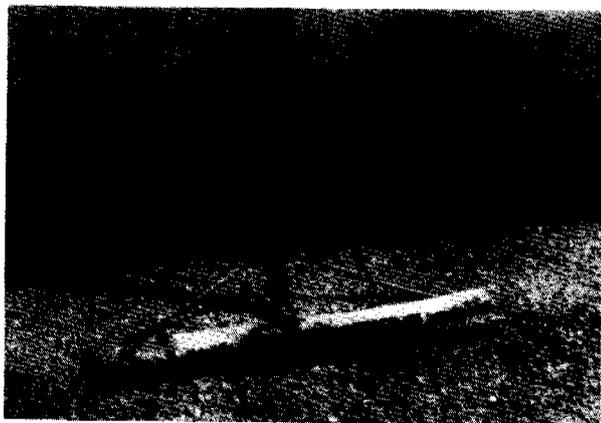
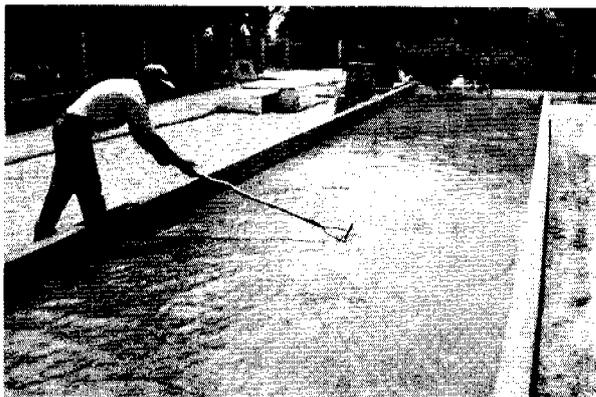


Reservatório de água filtrada

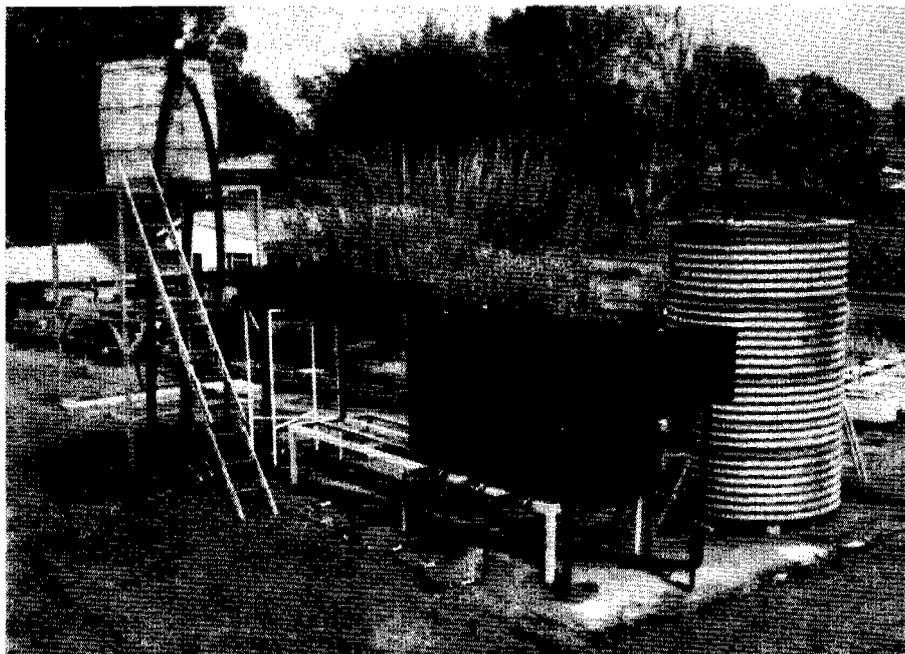
Elementos auxiliares



***Limpendo
o filtro***



***Rodo de
madeira***



***Unidade de filtração dinâmica para pesquisa
Daspoort, Pretória, África do Sul***