Abastecimento de Água

Sistemas e processos de tratamento de águas de abastecimento.

Guia do profissional em treinamento

Nível **2**

Promoção Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental – ReCESA

Realização Núcleo Regional Sudeste –NUCASE compartilhado com Núcleo Regional Nordeste - NURENE

Instituições integrantes do NURENE Universidade Federal da Bahia (líder) | Universidade Federal do Ceará | Universidade Federal da Paraíba | Universidade Federal de Pernambuco

Financiamento Financiadora de Estudos e Projetos do Ministério da Ciência e Tecnologia | Fundação Nacional de Saúde do Ministério da Saúde | Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades

Apoio organizacional Programa de Modernização do Setor de Saneamento – PMSS

Comitê gestor da ReCESA

- Ministério das Cidades;
- Ministério da Ciência e Tecnologia;
- Ministério do Meio Ambiente;
- Ministério da Educação;
- Ministério da Integração Nacional;
- Ministério da Saúde;
- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico Social (BNDES);
- Caixa Econômica Federal (CAIXA).

Comitê consultivo da ReCESA

- Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva – ABCMAC
- Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES
- Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH
- Associação Brasileira de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública – ABLP
- Associação das Empresas de Saneamento Básico Estaduais – AESBE
- Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento – ASSEMAE
- Conselho de Dirigentes dos Centros Federais de Educação Tecnológica – CONCEFET
- Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia – CONFEA
- Federação de Órgão para a Assistência Social e Educacional – FASE
- Federação Nacional dos Urbanitários – FNU
- Fórum Nacional de Comitês de Bacias Hidrográficas – FNCBHS
- Fórum Nacional de Pró-Reitores de Extensão das Universidades Públicas Brasileiras – FORPROEX
- Fórum Nacional Lixo e Cidadania – L&P
- Frente Nacional pelo Saneamento Ambiental – FNSA
- Instituto Brasileiro de Administração Municipal – IBAM
- Organização Pan-Americana de Saúde – OPAS
- Programa Nacional de Conservação de Energia – PROCEL
- Rede Brasileira de Capacitação em Recursos Hídricos – Cap-Net Brasil

Parceiros do NURENE

- ARCE – Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados do Estado do Ceará
- Cagece – Companhia de Água e Esgoto do Ceará
- Cagepa – Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
- CEFET Cariri – Centro Federal de Educação Tecnológica do Cariri/CE
- CENTEC Cariri – Faculdade de Tecnologia CENTEC do Cariri/CE
- Cerb – Companhia de Engenharia Rural da Bahia
- Compesa – Companhia Pernambucana de Saneamento
- Conder – Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia
- EMASA – Empresa Municipal de Águas e Saneamento de Itabuna/BA
- Embasa – Empresa Baiana de Águas e Saneamento
- Emlur – Empresa Municipal de Limpeza Urbana de João Pessoa
- Emlurb / Fortaleza – Empresa Municipal de Limpeza e Urbanização de Fortaleza
- Emlurb / Recife – Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana do Recife
- Limpurb – Empresa de Limpeza Urbana de Salvador
- SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto do Município de Alagoinhas/BA
- SANEAR – Autarquia de Saneamento do Recife
- SECTMA – Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente do Estado de Pernambuco
- SEDUR – Secretaria de Desenvolvimento Urbano da Bahia
- SEINF – Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano e Infra-Estrutura de Fortaleza
- SEMAM / Fortaleza – Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Controle Urbano
- SEMAM / João Pessoa – Secretaria Executiva de Meio Ambiente
- SENAC / PE – Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial de Pernambuco
- SENAI / CE – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial do Ceará
- SENAI / PE – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial de Pernambuco
- SEPLAN – Secretaria de Planejamento de João Pessoa
- SUDEMA – Superintendência de Administração do Meio Ambiente do Estado da Paraíba
- UECE – Universidade Estadual do Ceará
- UFMA – Universidade Federal do Maranhão
- UNICAP – Universidade Católica de Pernambuco
- UPE – Universidade de Pernambuco

Abastecimento de Água

Sistemas e processos de tratamento de águas de abastecimento.

Guia do profissional em treinamento

Nível **2**

S623 Miranda, Luis Alcides Schiavo
Sistemas e processos de tratamento de águas de abastecimento / Luis Alcides Schiavo Miranda e Luis Olinto Monteggia. - Porto Alegre: (S. n.), 2007.
148p.

1. Água - Tratamento. 2. Água - Qualidade. 3. Água - Purificação 4. Abastecimento de água - Aspectos ambientais.
I.Monteggia, Luiz Olinto.

CDU – 628.16

(Catalogação na publicação por: Onélia Silva Guimarães CRB - 14/071)

Todos os Direitos Reservados - Proibida a produção total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio. A violação dos direitos de autor (Lei n▫ 9.610/98) é crime estabelecido pelo art. 184 do Código Penal.

Impresso no Brasil

Apresentação da ReCESA

A criação do **Ministério das Cidades** no Governo do Presidente Luiz Inácio Lula da Silva, em 2003, permitiu que os imensos desafios urbanos passassem a ser encarados como política de Estado. Nesse contexto, a **Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental** (SNSA) inaugurou um paradigma que inscreve o saneamento como política pública, com dimensão urbana e ambiental, promotora de desenvolvimento e redução das desigualdades sociais. Uma concepção de saneamento em que a técnica e a tecnologia são colocadas a favor da prestação de um serviço público e essencial.

A missão da SNSA ganhou maior relevância e efetividade com a agenda do saneamento para o quadriênio 2007-2010, haja vista a decisão do Governo Federal de destinar, dos recursos reservados ao Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), 40 bilhões de reais para investimentos em saneamento.

Nesse novo cenário, a SNSA conduz ações de capacitação como um dos instrumentos estratégicos para a modificação de paradigmas, o alcance de melhorias de desempenho e da qualidade na prestação dos serviços e a integração de políticas setoriais. O projeto de estruturação da **Rede de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental – ReCESA** constitui importante iniciativa nessa direção.

A ReCESA tem o propósito de reunir um conjunto de instituições e entidades com o objetivo de coordenar o desenvolvimento de propostas pedagógicas e de material didático, bem como promover ações de intercâmbio e de extensão tecnológica que levem em consideração as peculiaridades regionais e as diferentes políticas, técnicas e tecnologias visando capacitar profissionais para a operação, manutenção e gestão dos sistemas e serviços de saneamento. Para a estruturação da ReCESA foram formados Núcleos Regionais e um Comitê Gestor, em nível nacional.

Por fim, cabe destacar que este projeto tem sido bastante desafiador para todos nós: um grupo predominantemente formado por profissionais da área de engenharia que compreendeu a necessidade de agregar outros olhares e saberes, ainda que para isso tenha sido necessário "contornar todos os meandros do rio, antes de chegar ao seu curso principal".

Comitê Gestor da ReCESA

NURENE

O Núcleo Regional Nordeste (NURENE) tem por objetivo o desenvolvimento de atividades de capacitação de profissionais da área de saneamento, em quatro estados da região Nordeste do Brasil: Bahia, Ceará, Paraíba e Pernambuco.

O NURENE é coordenado pela Universidade Federal da Bahia (UFBA), tendo como instituições co-executoras a Universidade Federal do Ceará (UFC), a Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

O NURENE espera que suas atividades possam contribuir para a alteração do quadro sanitário do Nordeste e, consequentemente, para a melhoria da qualidade de vida da população dessa região marcada pela desigualdade social.

Coordenadores Institucionais do NURENE

NUCASUL

O Núcleo Regional SUL (NUCASUL) tem por objetivo o desenvolvimento de atividades de capacitação de profissionais da área de saneamento, em dois estados da região Sul do Brasil: Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

O NUCASUL é coordenado pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), tendo como instituições co-executoras a Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Universidade de Caxias do Sul e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

O NUCASUL espera contribuir para a qualificação profissional, de todos os envolvidos no setor de saneamento, de modo a refletir na melhoria da qualidade dos serviços ofertados.

Os Guias

A coletânea de materiais didáticos produzidos pelo NURENE é composta de 19 guias que serão utilizados nas Oficinas de Capacitação para profissionais que atuam na área de saneamento. Quatro guias tratam de temas transversais, quatro abordam o manejo das águas pluviais, três estão relacionados aos sistemas de abastecimento de água, três são sobre esgotamento sanitário e cinco versam sobre o manejo dos resíduos sólidos e limpeza pública.

O público alvo do NURENE envolve profissionais que atuam na área dos serviços de saneamento e que possuem um grau de escolaridade que varia do semi-alfabetizado ao terceiro grau.

Os guias representam um esforço do NURENE no sentido de abordar as temáticas de saneamento segundo uma proposta pedagógica pautada no reconhecimento das práticas atuais e em uma reflexão crítica sobre essas ações para a produção de uma nova prática capaz de contribuir para a promoção de um saneamento de qualidade para todos.

Equipe da Central de Produção de Material Didático - CPMD

Apresentação da área temática

Abastecimento de Água

Um dos desafios que se apresenta hoje para o saneamento é a adoção de tecnologias e práticas para o uso racional dos recursos hídricos e controle de perdas em sistemas de abastecimento. Em termos qualitativos, exige-se a preservação dos mananciais e o controle da qualidade da água para consumo humano. O atendimento a esses requisitos proporcionará uma maior eficiência e eficácia dos sistemas de abastecimento de água, garantindo, conseqüentemente, o direito social à água.

Conselho Editorial de Abastecimento de água

UNISINOS

Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Marcelo Fernandes de Aquino
Reitor

Aloysio Bohnen
Vice-Reitor

Pedro Cilberto Comes
Pró-Reitor Acadêmico

Célio Pedro Wolfarth
Pró-Reitor de Administração

Cornélia Hulda Volkart
Diretora de Educação Continuada

COORDENADORA DO CURSO
Luciana Paulo Comes

UCS

Universidade de Caxias do Sul

Isidoro Zorzi
Reitor

José Carlos Avino
Vice-Reitor

Alexandre Viecelli
Pró-Reitor de Extensão e Relações Universitárias

Cilberto Henrique Chissini
Pró-Reitor Administrativo

Cláudia Echevenguá Teixeira
Diretora do Instituto de Saneamento Ambiental

COORDENADORA DO CURSO
Suzana Maria de Conto

UFRGS

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

José Carlos Ferraz Hennemann
Reitor

Pedro Cezar Dutra Fonseca
Vice-Reitor

Pedro Cezar Dutra Fonseca
Pró-Reitor de Coordenação Acadêmica

Maria Aparecida Crendene de Souza
Pró-Reitora de Planejamento e Administração

Profª. Sara Viola Rodrigues
Pró-Reitora de Extensão

André Luiz Lopes da Silveira
Coordenador do Instituto de Pesquisas Hidráulicas

COORDENADOR DO CURSO
Cino Cehling

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Lúcio José Botelho
Reitor

Prof. Ariovaldo Bolzan
Vice-Reitor

Mário Kobus
Pró-Reitor de Orçamento, Administração e Finanças

Profª. Eunice Sueli Nodari
Pró-Reitora de Cultura e Extensão

Prof. Júlio Felipe Szeremeta
Diretor do Centro Tecnológico – CTC

Prof. Edison da Rosa
Vice-Diretor do Centro Tecnológico – CTC

COORDENADOR DO CURSO
Armando Borges de Castilhos Júnior

NUCASUL
Núcleo Sul de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental

COORDENADOR UFSC
Armando Borges de Castilhos Júnior

COORDENADOR UFRGS
Luiz Olinto Monteggia

COORDENADORA UNISINOS
Luciana Paulo Gomes

COORDENADORA UCS
Cláudia Echevenguá Teixeira

COORDENADOR DO CURSO
SISTEMAS E PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO
Maurício Luiz Sens (UFSC)

ORGANIZAÇÃO DO CONTEÚDO
Luis Alcides Schiavo Miranda (UNISINOS)
Luiz Olinto Monteggia (UFRGS)

COLABORADOR
Ramon Lucas Dalsasso

Informações:
www.ens.ufsc.br
www.nucasul.ufsc.br
nucasul@ens.ufsc.br
Fone: 48 37219597
Fone: 48 37217754

Projeto gráfico, diagramação e capa
Studio S – Diagramação & Arte Visual
(48) 30253070 – studios@studios.com.br

Sumário

1. Situação atual e importância das águas 12
1.1. Importância da Água. 12
1.2. Necessidade de Água x Disponibilidade na Natureza. 12
1.3. População e Demanda 12
2. Principais fontes e usos da água 16
2.1. Águas Superficiais 16
2.2. Água Subterrânea 17
2.3. Água de uso Municipal 23
3. Biologia da água 30
3.1. Bactérias e fungos 32
3.2. Algas 36
3.3. Protozoários e animais multicelulares 36
4. Características de qualidade da água para abastecimento público 38
4.1. Principais características físicas da água para uso urbano 38
4.2 Principais características químicas da água para uso urbano 44
4.3 Principais características biológicas da água para uso urbano 49
5. Processos de Tratamento de Água 50
5.1. Tratamento Físico 50
5.2. Mistura 51
5.3. Coagulação/Floculação 60
5.4. Sedimentação 74
5.5. Sedimentação acelerada 76
6. Preparação e padronização de uma solução 0,1 M de Ácido Clorídrico 91
6.1. Objetivos 91
6.2. Trabalho Proposto 91
6.3. Materiais e Reagentes 91
6.4. Procedimento Experimental 91
7. Aula prática: coagulação/ floculação 95
7.1. Considerações 95
7.2. Prova de clarificação – dosagem ótima 96
7.3. Procedimento Experimental 96
8. Discussão das Práticas de Laboratório 99
9. Filtração 101
9.1. Teoria da Filtração 101
9.2. Materiais Filtrantes 112
10. Aula prática – filtro rápido de fluxo ascendente 116
10.1. Considerações 116
10.2. Prova de filtração – filtro rápido de fluxo ascencional 116
10.3. Procedimento Experimental – Montagem do filtro e carreira de filtração 116
11. Tipos de Lodo e Fonte de Sólidos 119
11.1. Quantidade de Lodo 123
11.2. Métodos de Processamento 123

12. Filtração Por Membranas 125
12.1. Fundamentos 125
12.2. Osmose Reversa 128
13. Desinfecção 132
13.1. Finalidades e métodos 132
13.2. Equipamentos dosadores 133
13.3. Cloração 134
13.4. Fatores que afetam a desinfecção com cloro 135
13.5. Residual de cloro 136
13.6. Curva de Breakpoint 136
14. Disposição dos rejeitos de estações de tratamento de água 137
14.1. Condicionamento químico do lodo de ETA 141
14.2. Métodos de Tratamento e Disposição Final dos Lodos de ETAs 141
14.3. Lançamento dos lodos de ETAs em ETEs 142
14.4. Adição do lodo seco ao concreto 143
14.5. Fabricação de componentes cerâmicos 143
14.6. Matéria-prima na indústria do cimento 144
14.7. Alguns estudos em desenvolvimento atualmente no Brasil 144
Referências Bibliograficas 144

1. Situação atual e importância das águas

1.1. Importância da Água.

O abastecimento com água de boa qualidade é um dos fatores mais importantes para o desenvolvimento das sociedades modernas, estando diretamente relacionado ao controle e eliminação de doenças, bem como ao aumento da qualidade de vida das populações. O baixo custo da água permite que indivíduos e comunidade se beneficiem e usem a água para diversos fins, inclusive como um veículo carreador dos despejos domésticos. O uso indiscriminado da água tem levado ao surgimento de efeitos indesejáveis, principalmente no que diz respeito ao volume de esgotos produzidos pelas comunidades. Dados revelam que muitas residências poderiam reduzir o consumo de água entre 10 e 25%, sem mudanças significativas da qualidade de vida. Entretanto, reduções dessa magnitude não são possíveis em todos os lugares, pois a aridez e as secas em muitas partes do mundo obrigam as comunidades a sobreviverem em condições, onde a redução do consumo é impossível, por exemplo na região Sub-Saariana, onde o uso de esgotos tratados poderia representar uma grande alternativa, capaz de viabilizar atividades como agricultura,comércio e atividades industriais.

A crescente expansão demográfica e industrial observada nas últimas décadas trouxe como conseqüência o comprometimento das águas dos rios, lagos e reservatórios. A falta de recursos financeiros nos países em desenvolvimento tem agravado esse problema, pela impossibilidade da aplicação de medidas corretivas para reverter a situação.

1.2. Necessidade de Água x Disponibilidade na Natureza.

A necessidade de água varia com a cultura, geografia, tipo de comunidade e a estação do ano. As disponibilidades de água doce na natureza são limitadas pelo alto custo da sua obtenção nas formas menos convencionais, como é o caso da água do mar e das águas subterrâneas. Deve ser, portanto, da maior prioridade, a preservação, o controle e a utilização racional das águas doces superficiais.

A boa gestão da água deve ser objeto de um plano que contemple os múltiplos usos desse recurso, desenvolvendo e aperfeiçoando as técnicas de utilização, tratamento e recuperação de nossos mananciais. A poluição das águas é gerada principalmente por efluentes domésticos (poluentes orgânicos biodegradáveis, nutrientes e bactérias), efluentes industriais (poluentes orgânicos e inorgânicos, dependendo da atividade industrial) e carga difusa urbana e agrícola (poluentes advindos da drenagem destas áreas: fertilizantes, defensivos agrícolas, fezes de animais e material em suspensão).

1.3. População e Demanda

Vivemos num mundo em que a água se torna um desafio cada vez maior. A cada ano, mais 80 milhões de pessoas clamam por seu direito aos recursos hídricos da Terra. Infelizmente, quase

todos os 3 bilhões de habitantes que devem ser adicionados à população mundial no próximo meio século nascerão em países que já sofrem de escassez de água. Já nos dias de hoje, muitas pessoas nesses países carecem do líquido para beber, satisfazer suas necessidades higiênicas e produzir alimentos.

Em 2050, a população da Índia deverá crescer em mais 519 milhões de pessoas. A da China, em mais 211 milhões. O Paquistão deverá ter quase 200 milhões adicionais, crescendo dos 151 milhões atuais para 348 milhões. Egito (Figura 1), Irã e México estão destinados a aumentar sua população em mais da metade até 2050. Nesses e em outros países carentes de água o crescimento populacional está condenando milhões de pessoas à indigência hidrológica, uma forma de pobreza da qual é muito difícil escapar.

Já com a população atual, de 6 bilhões, o mundo tem um imenso déficit hídrico. Por meio de dados sobre a extração excessiva na China, Índia, Arábia Saudita, África do Norte e Estados Unidos, Sandra Postel, autora de Pillar of Sand: Can the Irrigation Miracle Last, calcula a exaustão anual dos aqüíferos em 160 bilhões de metros cúbicos ou 160 bilhões de toneladas. Tomando-se uma base empírica de mil toneladas de água para produzir 1 tonelada de grãos, esses 60 bilhões de toneladas de déficit hídrico equivalem a 160 milhões de toneladas de grãos, ou metade da colheita dos Estados Unidos.

Fonte: www.fotosmundo.com

Figura 1. Vista do Rio Nilo, Egito.

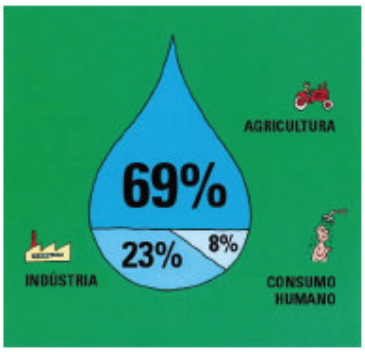
Na média per capita mundial do consumo de grãos, de pouco mais de 300 quilos por pessoa por ano, isso alimentaria 480 milhões de pessoas. Em outras palavras, 480 milhões das 6 bilhões de pessoas do mundo estão sendo alimentadas com grãos produzidos através do uso insustentável da água.

VOCÊ SABIA?

A água necessária para produzir os grãos e outros alimentos importados pela África do norte e Oriente Médio, no ano passado, foi aproximadamente igual à vazão anual do Nilo. Em outras palavras, o déficit hídrico acelerado dessa região é igual a outro Nilo fluindo na região, sob a forma de grãos importados.

A extração excessiva é um fenômeno novo, em geral restrito à ultima metade do século. Só após o desenvolvimento de bombas poderosas a diesel ou elétricas, tivemos a capacidade de extrair água dos aqüíferos com uma rapidez maior do que sua recarga pela chuva.

Aproximadamente 69% da água consumida mundialmente, incluindo a desviada dos rios e a bombeada do subsolo, são utilizados para irrigação. Cerca de 23% para as indústrias e 8%, para as residências (Figura 2). Na competição cada vez mais intensa pela água entre esses setores, a agricultura quase sempre sai perdendo.



Fonte: Corsan, RS.

Figura 2. Principais usos da água.

Além do crescimento populacional, a urbanização e a industrialização também ampliam a demanda pelo produto. Conforme a população rural, tradicionalmente dependente do poço da aldeia, muda-se para prédios residenciais urbanos com água encanada, o consumo de água residencial pode facilmente triplicar. A industrialização consome ainda mais água que a urbanização.

À medida que as pessoas ascendem na cadeia alimentícia e passam a consumir mais carne bovina, suína, aves, ovos e laticínios, consomem mais grãos. Uma dieta americana rica em produtos pecuários requer 800 quilos de grãos por pessoa por ano, enquanto as dietas na Índia, dominadas por uma alimentação básica de amidos como arroz, caracteristicamente necessitam apenas de 200 quilos. O consumo quatro vezes maior de grãos por pessoa significa igual crescimento no consumo de água.

Fonte: www.agua.bio.br

Figura 3. Represa Billings, SP.

À medida que aumenta a demanda de água pelas cidades e indústrias da região, ela é atendida pelo desvio da água de irrigação. A perda da capacidade de produção de alimentos é então compensada pela importação de grãos do exterior. É a forma mais eficiente de comprar água, uma vez que 1 tonelada de grãos representa mil toneladas do líquido.

No ano passado, o Irã importou 7 milhões de toneladas de trigo, ultrapassando o Japão e tornando-se o maior importador mundial de trigo. Neste ano, projeta-se que o Egito também ultrapasse o Japão. Irã e Egito têm uma população de quase 70 milhões cada. Em ambos os países essa população está aumentando em mais de 1 milhão de pessoas por ano, e os mananciais estão sendo pressionados ao limite.

Para pensar...

São Paulo só tem água até 2010 !

A crise de água que a Grande São Paulo vive hoje não é a primeira nem será a última. Por causa de limites naturais na disponibilidade hídrica, da poluição de rios e represas, da ocupação desordenada de mananciais, do descaso no uso e da falta de políticas eficientes para reeducar o consumo e reduzir perdas, a região só tem água garantida até 2010. A cada ano, são necessários mais 2.000 l/s para abastecer a Grande São Paulo, sobretudo por causa da entrada de novos consumidores, com o crescimento populacional na periferia.

2. Principais fontes e usos da água

A purificação da água é um processo que consiste no tratamento da água, a fim de remover os contaminantes que eventualmente contenha, tornando-a potável, isto é, própria para o consumo humano.

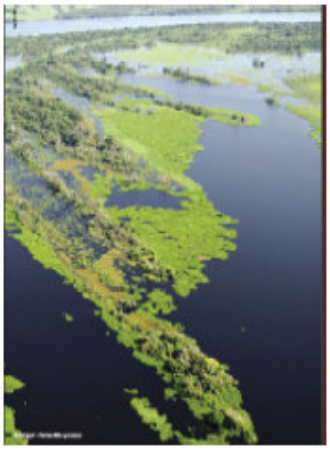
Segundo Richter & Azevedo Neto (1991), a decisão mais importante em um projeto de abastecimento de água é a que se refere ao manancial a ser adotado. Sempre que houver duas ou mais fontes possíveis, a sua seleção deve se apoiar em estudos amplos, que não se restrinjam exclusivamente aos aspectos econômico-financeiros. A qualidade da água, as tendências futuras relativas à sua preservação e as condições de segurança devem também ser pesadas.

A avaliação da qualidade da água não pode ser feita com base em uma única análise, não só porque as características da água são variáveis durante o tempo, como também porque as analises estão sujeitas a flutuações e erros.

A noção de que é possível tratar qualquer água, e de que o tratamento pode resolver qualquer problema, precisa ser reconsiderada, tendo em vista a praticabilidade, os custos e a segurança permanente.

Dependendo da fonte da água, uma grande variedade de técnicas poderá ser empregada para esse fim. A água para consumo público ou privado pode ser obtida de diversas fontes:

2.1. Águas Superficiais



Fonte: www.ana.gov.br

Água de lagos e reservatórios elevados – localizados na superfície terrestre, em áreas elevadas, onde são restritas as possibilidades de contaminação.

Águas de rios, canais e reservatórios de planície – na superfície terrestre (Figura 4), em áreas mais baixas, onde são maiores as possibilidades de contaminação (carga bacteriana mais elevada, algas, sólidos em suspensão e substâncias diversas dissolvidas).

Figura 4. Vista do Pantanal Matogrossense.

2.2. Água Subterrânea

Os reservatórios de águas subterrâneas são chamados de lençóis. Essas águas podem estar acumuladas em dois tipos de lençóis: *o freático* ou o *cativo*.

O lençol freático caracteriza-se por está assentado sobre uma camada impermeável de sub-solo, rocha por exemplo, e submetido a pressão atmosférica local. O lençol cativo caracteriza-se por está confinado entre duas camadas impermeáveis de crosta terrestre e submetido a uma pressão superior a pressão atmosférica local.

A captação do lençol freático pode ser executada por galerias filtrantes (Figura 5), drenos, fontes ou poços fráticos. O emprego de galerias filtrantes é característico de terrenos permeáveis (Figura 5), mas de pequena espessura (aproximadamente de um a dois metros) onde há necessidade de se aumentar a área vertical de captação para coleta de maior vazão (Figura 6). Estas galerias em geral são tubos furados, que convergem para um poço de reunião, de onde a água é retirada em geral por bombeamento, não sendo incomuns outros métodos mais rudimentares.

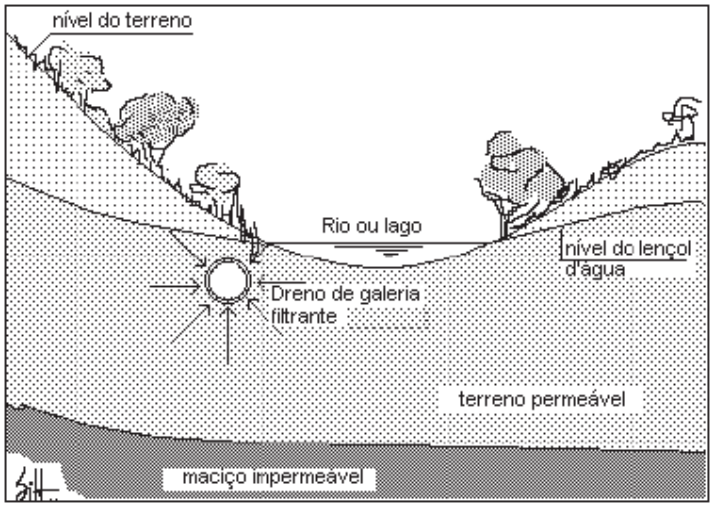


Figura 5. Posição da galeria filtrante

SAIBA MAIS:

Origem do nome Artesiano

A designação artesiano é datada do século XII, derivada do nome da cidade de Artois, França, onde historicamente em 1126, foi perfurado com sucesso pela primeira vez, um poço desta natureza. Um dos poços artesianos mais famosos da história, principalmente pelo seus registros de sondagens, etapas de perfuração e métodos de recuperação de ferramentas, é o de Grenelle, próximo a Paris, perfurado de 1833 a 1841, com 549 metros de profundidade, permaneceu por mais de 15 anos como o mais profundo do mundo; outro famoso poço próximo a Paris é o de Passy, concluído em 1857, com 0,70m de diâmetro e produção de 21.150 m3/dia a uma altura de 16,50 metros acima do solo.

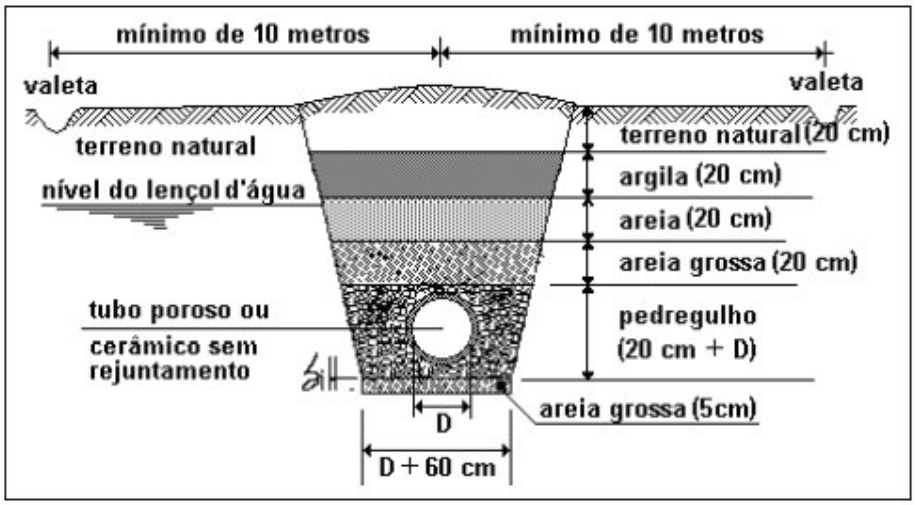


Figura 6. Detalhe para construção da galeria filtrante.

A captação de lençóis cativos normalmente é feita através de poços artesianos e, mais raramente, por fontes de encosta.

As águas subterrâneas representam a maior reserva de água doce do globo. Os aqüíferos, onde ficam os reservatórios, podem ser confinados (com pressão superior à atmosférica) ou não (a água não está sob pressão).

Devido à degradação de sua qualidade, que se acentuou a partir da II Guerra Mundial, a água doce líquida que circula em muitas regiões do mundo já perdeu sua característica especial de recurso renovável, em particular nos países ditos do Terceiro Mundo, na medida em que os efluentes e/ou os resíduos domésticos e industriais são dispostos no ambiente sem tratamento ou de forma inadequada.

Além dos desequilíbrios da oferta de água às populações, a questão da disponibilidade e dos conflitos pelo seu uso também apresentam seus aspectos preocupantes. Assim é que alguns países apresentam escassez hídrica absoluta, tais como Kuwait, Egito, Arábia Saudita, Barbados, Singapura e Cabo Verde; outros como Burundi, Argélia e Bélgica padecem de seca crônica.

Em regiões como o semi-árido nordestino há o alerta de escassez e em vários locais afloram conflitos decorrentes de desequilíbrios entre demanda e disponibilidade, tais como Madrid e Lisboa pelo Rio Tejo, Síria e Israel pelo Rio Golã, Síria e Turquia, pelo Rio Eufrates, Iraque e Turquia pelo Rio Eufrates, Tailândia e Laos pelo Rio Menkong, Barcelona e Alicante pelo Rio Ebro, entre outros.

Diante desse cenário turbulento, a água subterrânea vem assumindo uma importância cada vez mais relevante como fonte de abastecimento devido a uma série de fatores que restringem a utilização das águas superficiais, bem como ao crescente aumento dos custos da sua captação, adução e tratamento, a água subterrânea está sendo reconhecida como alternativa viável aos

usuários e tem apresentado uso crescente nos últimos anos, obtidas através de poços bem locados e construídos.

Além dos problemas e facilidade de contaminação inerente às águas superficiais, o maior interesse pelo uso da água subterrânea vem sendo despertado, pela maior oferta deste recurso e em decorrência do desenvolvimento tecnológico, o que promoveu uma melhoria na produtividade dos poços e um aumento de sua vida útil.

2.2.1 Fatores de Competitividade das Águas Subterrâneas

Volumes estocados muito grandes e suas velocidades de fluxo muito baixas (cm/dia) resultam em que o manancial é pouco afetado pelas variações sazonais de pluviometria, podendo propiciar um abastecimento regular durante os períodos de seca ou estiagem prolongadas.

Pelo fato de ocorrerem no subsolo sob uma zona de material rochoso não-saturado ou camadas rochosas pouco permeáveis, as águas subterrâneas encontram-se relativamente melhor protegidas contra agentes potenciais ou efetivos de poluição.

Quando captadas de forma adequada, na sua utilização, geralmente, não se tem custos de clarificação, tratamento ou purificação, os processos de filtração e biogeoquímicos de depuração do subsolo proporcionam um alto nível de purificação e potabilidade das águas subterrâneas.

A forma de ocorrência extensiva possibilita sua captação nos locais onde são geradas as demandas.

Os prazos de execução das obras de captação são relativamente curtos, da ordem de dias até alguns meses.

Os investimentos em geral são relativamente pequenos, variando entre dezenas a centenas de milhares de reais.

Os aqüíferos não sofrem processos de assoreamento, nem perdem grandes volumes de água por evaporação.

Não obstante o volume de água doce estocado no subsolo representar mais de 95% desses recursos disponíveis para os homens através dos meios tecnológicos atuais, os níveis de utilização de águas subterrâneas no mundo em geral e, no Brasil em particular, são ainda relativamente modestos e desigualmente distribuídos, apesar do forte crescimento do consumo nas últimas décadas nos países desenvolvidos. A Primeira Conferência Mundial da Água, realizada em Mar del Plata em 1977, considerou que cerca de 70% das cidades carentes de água potável no Terceiro Mundo poderiam ser abastecidas ou reforçadas de forma mais barata e rápida, utilizando-se águas subterrâneas, como também a maioria das comunidades rurais.

2.2.2. Fatores de Risco para Utilização das Águas Subterrâneas

a) O grande número de poços mal locados, construídos e operados sem manutenção, tornam a produção de água pelo poço incerta e com uma vida útil curta, tornando seu uso uma alternativa freqüentemente de grande risco político, administrativo e financeiro para os tomadores de decisão.

b) Falta de controle governamental faz com que qualquer indivíduo, condomínio, indústria, agricultor, empresa privada ou estatal possa construir um poço, freqüentemente, pelo menor preço e sem a tecnologia adequada.

c) Falta de estudos hidrogeológicos básicos, rede de monitoramento e de bancos de dados consistentes e acessíveis ao público.

2.2.3. Água Subterrânea e Ciclo Hidrológico

A água subterrânea nada mais é do que água filtrada no subsolo, presente nos espaços intergranulares dos solos ou nas fraturas das rochas. Para um melhor entendimento é fundamental a noção de Ciclo Hidrológico.

Por efeito da radiação solar, as águas dos mares, rios e lagos evaporam-se e formam nuvens. Estas, ao encontrarem correntes frias de ar ou baixas pressões atmosféricas, condensam-se e precipitam-se sob a forma de chuvas, granizo ou neve. Da água precipitada, uma parte evapora-se antes mesmo de atingir o próprio solo ou serem interceptadas pelas folhas dos vegetais; e finalmente, outra parte infiltra-se no subsolo formando os reservatórios naturais de água subterrânea ou aqüíferos. A água dos lagos, rios e mares ou emergente à superfície, formando fontes. A água dos lagos, rios e mares evapora-se outra vez e assim o ciclo é reiniciado.

2.2.4. Captação de Águas Subterrâneas

Embora, teoricamente, a água subterrânea esteja presente em qualquer lugar, isso não significa que um poço possa ser localizado em qualquer lugar. A captação de água subterrânea tem um custo por vezes elevado e, portanto, não deve ser feita sem critérios. Existem fatores naturais que condicionam a distribuição e concentração da água subterrânea em certos locais, de maneira a melhorar o rendimento e a vazão do poço, tornando o empreendimento mais proveitoso e evitando ou diminuindo a taxa de insucessos.

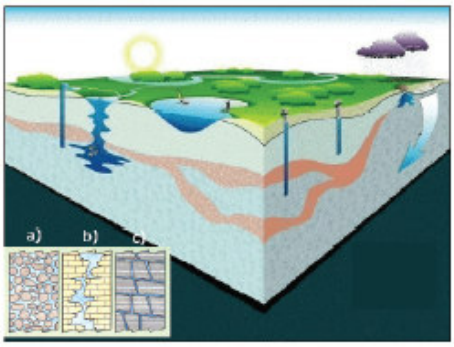
As águas subterrâneas (Figura 7) são um recurso natural imprescindível para a vida e para a integridade dos ecossistemas, representando mais de 95% das reservas de água doce exploráveis do globo. A água subterrânea resulta da infiltração da água que provém da precipitação e da alimentação direta dos rios e lagos. Mais de metade da população mundial depende das águas subterrâneas.

A água armazena-se nos interstícios das formações geológicas (poros, cavidades, fissuras, etc.).

Aquífero *poroso* – aquífero que contém poros resultantes dos arranjos dos grãos (Ex. areias).

Aquífero *cársico* – aquífero que contém cavidades originadas por dissolução da rocha que permitem uma circulação rápida da água (*e.g.* calcários).

b) Aquífero *fraturado* ou *fissurado* – aqüífero cuja porosidade e permeabilidade estão fundamentalmente relacionadas com fraturas que afetam o material de suporte
(Ex. granitos).



Fonte: http://www.aprh.pt/pdf/triptico_CFAS.pdf

Figura 7. Água subterrânea e geologia.

2.2.5. Qualidade das Águas Subterrâneas

A poluição das águas subterrâneas pode ser, entre outras fontes, causada por:

- Uso intensivo de *adubos e pesticidas* em atividades agrícolas;
- Deposição de *resíduos industriais sólidos e líquidos* ou de produtos que podem ser dissolvidos e arrastados por águas de infiltração em terrenos muito vulneráveis;
- Deposição de lixos urbanos em *aterros*;
- Deposição de *dejetos animais* resultantes de atividades agropecuárias;
- Construção incorreta de *fossas sépticas*;
- A contaminação salina pelo avanço da *água salgada* motivada pela exploração intensiva dos aquíferos costeiros.

Na captação de água subterrânea através de poços, não é importante apenas o aspecto da quantidade, isto é, a vazão a ser obtida. A qualidade da água subterrânea é outro fator a ser considerado, tendo em vista o uso proposto para a água a ser captada.

A qualidade das águas subterrâneas é dada, a princípio, pela dissolução dos minerais presentes nas rochas que constituem os aqüíferos por ela percolados, podendo sofrer a influência de outros fatores como composição da água de recarga, tempo de contato, água/meio físico, clima e, até mesmo a poluição causada pelas atividades humanas.

Devido ao maior contato com os materiais geológicos, baixa velocidade de fluxo e maiores pressões e temperaturas, as águas subterrâneas são geralmente mais mineralizadas do que as águas superficiais. Pelas mesmas razões, possuem menores teores de matérias em suspensão e matéria orgânica, esta última devido à ação dos microorganismos presentes no solo. Também, devido as suas condições de circulação, as águas subterrâneas tendem a possuir menor teor de oxigênio dissolvido do que as superficiais.

A qualidade é definida pelas características físicas, químicas e biológicas da água. Dentro dos valores encontrados para cada um destes parâmetros, é possível estabelecer os diferentes usos: consumo humano, irrigação, industrial e outros.

2.2.6. Poluição dos Mananciais

Mananciais são fontes disponíveis de água determinados pelas condições locais, com os quais a população pode ser abastecida. Deve possuir quantidade e qualidade de água adequada ao uso.

A tendência do desenvolvimento urbano é contaminar a rede de escoamento superficial com despejo de esgotos cloacais e pluviais, inviabilizando o manancial e exigindo novos projetos de captação de áreas mais distantes, não contaminadas.

Principais fatores responsáveis pela poluição dos mananciais das águas subterrâneas:

- O uso da fossa séptica contamina o lençol freático.
- O lixo contamina o aqüífero pela lixiviação dos períodos chuvosos.
- O vazamento da rede de esgotos cloacais e pluviais contamina o aqüífero com o despejo dos poluentes.
- O uso de pesticidas e fertilizantes na agricultura.
- Despejo de resíduos de cargas industriais sobre áreas de recarga, para depuração de efluentes desse tipo, tende a contaminar águas subterrâneas.

SAIBA MAIS:
Legislação: Resolução Nº. 357 de 17.03.2005 (CONAMA), ou veja no site:
http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano.cfm?codlegitipo=3

2.2.6.1. Contaminação em águas subterrâneas – Principais aspectos:

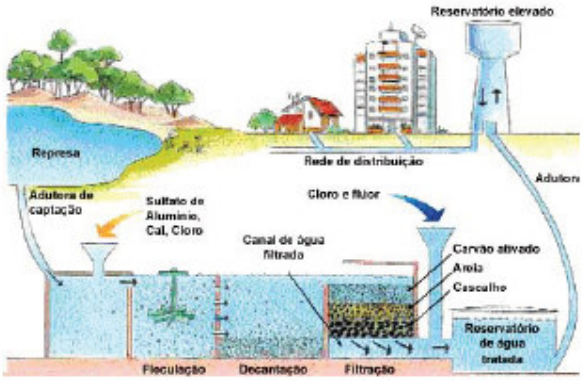
a) O uso da fossa séptica contamina o lençol freático.
b) O lixo contamina o aqüífero pela lixiviação dos períodos chuvosos.
c) O vazamento da rede de esgotos cloacais e pluviais contamina o aqüífero com o despejo dos poluentes.
d) O uso de pesticidas e fertilizantes na agricultura.
e) Despejo de resíduos de cargas industriais sobre áreas de recarga, para depuração de efluentes desse tipo, tende a contaminar águas subterrâneas.

2.2.6.2. Contaminação em águas superficiais – Principais aspectos:

a) Despejos de poluentes dos esgotos cloacais domésticos ou industriais.
b) Despejos de esgotos pluviais agregados com lixo urbano.
c) Escoamento superficial que drena áreas agrícolas tratadas com pesticidas ou outros compostos.
d) Frenagem da água subterrânea contaminada que chega ao rio.

2.3. Água de uso Municipal

O sistema urbano típico de uso da água apresenta hoje um ciclo imperfeito, onde o processo de produção de água para o abastecimento urbano vai da captação até a distribuição (Figura 8). A água é bombeada de uma fonte local, é tratada, utilizada e, após, retorna para o rio ou lago, para ser bombeada novamente. Mas a água que é devolvida raramente tem as mesmas qualidades que a água receptora (ou a água original, como foi extraída da natureza). Sais, matéria orgânica, calor e outros resíduos que caracterizam a poluição da água são agora encontrados.



Fonte: www.brasilescola.com/.../agua-potavel.JPG

Figura 8. Esquema simplificado do processo de tratamento de água para consumo urbano.

O desenvolvimento urbano altera a cobertura vegetal, provocando vários efeitos que modificam os componentes do ciclo hidrológico natural. Com a urbanização, a cobertura da bacia é alterada para pavimentos impermeáveis e são introduzidos condutos para escoamento pluvial, gerando as seguintes alterações no referido ciclo:

- Redução da infiltração do solo.
- Aumento do escoamento superficial.
- Redução do escoamento subterrâneo.
- Redução da evapotranspiração.

O impacto da urbanização é mais significativo, para precipitações de maior freqüência, onde o efeito da infiltração é mais importante. Para precipitações de baixa freqüência, a relação entre as condições naturais e a urbanização é relativamente menor.

Existem vários elementos antrópicos que são introduzidos na bacia hidrográfica:

- **Aumento da temperatura**: as superfícies impermeáveis absorvem parte da energia solar, aumentando a temperatura ambiente e produzindo ilhas de calor na parte central das cidades, onde predomina o concreto e o asfalto, que, devido à sua cor, absorve mais energia solar do que as superfícies naturais e o concreto. À medida que sua superfície envelhece, tende a escurecer e a aumentar a absorção de radiação solar.
- **Aumento de sedimentos e material sólido**: é extremamente significativo devido aos fatores: limpeza de terrenos para novos loteamentos, construção de ruas, avenidas e rodovias, entre outras causas.

2.3.1. Água de Uso Doméstico

O desenvolvimento urbano brasileiro concentra-se em regiões metropolitanas, na capital dos estados e nas cidades pólos regionais. Os efeitos desta realidade fazem-se sentir sobre todo aparelhamento urbano relativo a recursos hídricos, ao abastecimento de água, ao transporte e ao tratamento de esgotos cloacal e pluvial.

Tabela 1. Disponibilidade e demanda de água nas regiões brasileiras.

Região	Disponibilidade	Demanda
Sul Sudeste Nordeste	11%	91%
Norte Centro-oeste	89%	9%

À medida que a cidade se urbaniza, geralmente ocorrem os seguintes impactos:

a) Aumento das vazões máximas.

b) Aumento da produção de sedimentos devido à desproteção das superfícies e à produção de resíduos sólidos (lixo).

c) Deterioração da qualidade da água, devido à lavagem das ruas, ao transporte de material sólido e a ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial.

2.3.2. Água de Uso Industrial

Para se avaliar a qualidade de uma água não é preciso se conhecer todos os constituintes nela presentes. As análises de uma água natural que se destina ao uso na indústria, bem como para fins potáveis, geralmente apresentam as seguintes determinações:

a) Dureza total: característica conferida a água pela presença de alguns íons metálicos, principalmente Ca^{++}, Mg^{++} e, em menor grau Fe^{++} e S^{++}. É expressa em termos de mg/L de $CaCO_3$. Águas duras têm a propriedade de impedir a formação de espuma pelos sabões. A dureza pode ser classifica de duas maneiras: dureza dos íons metálicos (Cálcio de Magnésio) e dureza dos ânions associados aos íons metálicos (carbonatos e não carbonatos). Do ponto de vista de saúde pública não há objeções ao consumo de águas duras.

Quanto ao grau de dureza as águas classificam-se em:

a) Moles: dureza inferior a 50 mg/L em $CaCO_3$.
b) Dureza moderada: dureza entre 50 e 150 mg/L em $CaCO_3$.
c) Duras: dureza entre 150 e 300 mg/L em $CaCO_3$.
d) Dureza alta: dureza superior a 300 mg/L em $CaCO_3$.

b) Alcalinidade: é a capacidade que certa água tem de neutralizar ácidos. Alcalinidade de águas naturais está relacionada a presença de sais de ácidos fracos, especialmente bicarbonatos de Ca, Mg e Na, cujas concentrações em águas brutas variam de 10 a 30 ppm, resultantes da ação da água sobre os carbonatos presentes no solo, especialmente bicarbonato de cálcio. Em laboratório determina-se alcalinidade total, alcalinidade de bicarbonatos e alcalinidade de carbonatos. Para fins potáveis a alcalinidade de uma água não deve exceder a 250 ppm.

c) Sulfatos: geralmente estão presentes como sulfato de Ca, Na e Mg. Suas concentrações variam grandemente podendo apresentar valores de 5 a 200 ppm, dependendo da região de onde são originárias e geram os mesmos inconvenientes que a dureza da água.

d) Sílica solúvel: também chamada de sílica reativa, geralmente está presente em águas brutas na forma de ácido silícico e silicatos solúveis cuja concentração pode variar de 2 a mais de 100 ppm. A sílica em combinação com a dureza produz incrustações duríssimas e de difícil remoção em superfícies de troca de calor, como as de uma caldeira ou trocador de calor. A sílica em águas potáveis não apresenta inconvenientes nas concentrações em que é normalmente encontrada.

e) Cloretos: geralmente estão presentes nas águas brutas na forma de cloreto de sódio, cálcio e magnésio. Sua concentração em água doce pode variar desde 3 a algumas centenas de ppm.Embora seja difícil imaginar existem águas onde sua concentração atinge 1000 ppm. Na água do mar sua concentração atinge valores de até 26000 ppm. Os cloretos provocam corrosão em certas circunstâncias quando presentes em águas de caldeiras. Sua remoção pode ser feita por desmineralização ou evaporação. Para fins potáveis sua concentração máxima permissível em águas é de 250 ppm.

f) Ferro: encontrado nas águas naturais em concentrações que variam de 0,5 a 50 mg/L. É um elemento nutricional essencial ao ser humano. Quando presente na forma solúvel é incolor, se oxidado pela ação de aeração ou adição de Cloro forma precipitado de cor avermelhada. OMS não estabelece padrões, embora cite que concentrações da ordem de 2 mg/L podem ser consumidos sem risco para saúde, mas adverte que concentrações inferiores podem levar a rejeição da água pelos consumidores devido a alterações no sabor da água.

g) Gás Carbônico: apresenta-se dissolvido nas águas brutas. Sua concentração pode varias de 2 a 15 ppm. Este gás dissolvido em água é altamente corrosivo ao ferro e a ligas de cobre que constituem as tubulações, aquecedores, condensadores, rotores de bombas, etc., de sistemas de águas de alimentação quer sejam para fins industriais ou potáveis. Pode ser removido das águas brutas ou de alimentação por degaseificadores e desmineralizadores. Para fins potáveis este gás não apresenta inconvenientes nas concentrações em que normalmente é encontrado.

h) Oxigênio dissolvido: está presente na forma de O_2. Sua concentração pode atingir cerca de 10 ppm e em presença da água é altamente corrosivo ao ferro e ligas de cobre. Em águas potáveis não apresente problemas para o consumo.

i) Amoníaco: apresenta-se muitas vezes dissolvido nas águas brutas em concentrações que podem variar desde traços até cerca de 20 ppm. Às vezes apresenta-se combinado na forma de compostos orgânicos. O amoníaco , na presená de oxigênio dissolvido na água é corrosivo ao cobre e suas ligas. Em concentrações muito altas é corrosivo mesmo na ausência de oxigênio dissolvido. Pode ser removido por cloração, desmineralisação e parcialmente por degaseificadores. A presença de amoníaco mesmo que em frações de ppm em águas potáveis é indesejável, pois é um indício de poluição.

j) Gás Sulfídrico: sua presença não é muito freqüente. Quando presente encontra-se na forma livre de H2S em pequenas concentrações. Em presença de água é corrosivo ao ferro e ligas de cobre. Pode ser removido por desmineralização e parcialmente por desgaseificação. A presença de H2S em águas potáveis é inadmissível.

2.3.3. Água de Uso Agrícola

A agricultura irrigada depende tanto da qualidade como da quantidade da água, no entanto, o aspecto da qualidade tem sido desprezado devido ao fato de que, no passado, em geral as fontes de água, eram abundantes, de boa qualidade e de fácil utilização: esta situação, todavia, está alterando-se em muitos lugares. Para evitar problemas conseqüentes, deve existir um planejamento efetivo que assegure o melhor uso possível das águas, de acordo com sua qualidade.

Pode-se definir a qualidade da água por suas características físicas, químicas ou biológicas, sendo que na sua avaliação para irrigação os parâmetros a serem analisados devem ser os físico-químicos. A composição e qualidade das águas destinadas à irrigação dependem da zona climática, da fonte da água, do trajeto percorrido, da época do ano e da geologia da região.

A qualidade da água de irrigação pode variar segundo o tipo e a quantidade de sais dissolvidos, que são encontrados em quantidades pequenas, porém muitas vezes significativas, tendo sua origem na intemperização das rochas e dos solos, pela dissolução lenta do calcário e de outros minerais, que são levados pelas águas de irrigação e se depositam no solo, acumulando à medida que a água evapora ou é consumida pela cultura.

Embora a fonte principal e mais direta de todos sais encontrados no solo seja a intemperização das rochas, raros são os exemplos em que a mesma tenha provocado, de forma direta, problemas de salinidade no solo. Normalmente tais problemas são associados à água de irrigação e à presença de lençol freático elevado. Os sais da água de irrigação podem ser provenientes, além das fontes primárias como a rocha e o solo, mas também de água de drenagem e intrusão salina. As águas que se destinam à irrigação devem ser avaliadas principalmente sob três aspectos, considerados importantes na determinação da qualidade agronômica das mesmas, sendo eles:

- Salinidade;
- Sodicidade;
- Toxidade de íons.

Tabela 2. Indicador de salinidade e grau de restrição ao das águas para uso agrícola.

Indicador de salinidade	Grau de restrição ao uso			
	Nulo	Moderado	Alto	Severo
Concentração salina (mg/l)	< 500	500 a 1000	1000 a 2000	> 2000
Condutividade elétrica (mS/cm³)	< 0,75	0,75 a 1,5	1,5 a 3,0	> 3,0

O efeito da salinidade é de natureza osmótica podendo afetar diretamente o rendimento das culturas.

A sodicidade, determinada pela razão de adsorção de sódio (RAS) da água de irrigação, se refere ao efeito do sódio contido na água de irrigação, que tende a elevar a porcentagem de sódio trocável no solo (PST), afetando a sua capacidade de infiltração.

A toxicidade refere-se ao efeito de alguns íons sobre as plantas, sendo eles o cloreto, o sódio e o boro, que quando encontrados em concentrações elevadas podem causar danos às culturas, reduzindo sua produção. Também parâmetros básicos de avaliação, como a concentração de bicarbonatos e o aspecto sanitário da água devem ser considerados.

A concentração total de sais na água para irrigação normalmente é expressa em relação à sua condutividade elétrica (CE), podendo ser determinada com rapidez e muita precisão.

SAIBA MAIS:

O que é condutividade elétrica ?

É uma propriedade iônica que indica a capacidade de condução de corrente elétrica na água, têm proporcionalidade direta com a concentração de sais dissolvidos, crescendo com a temperatura e variando com o tipo de sal dissolvido para uma mesma concentração. Como há uma relação de proporcionalidade entre o teor de sais dissolvidos e a condutividade elétrica, podemos estimar o teor de sais pela medida de condutividade de uma água. A figura abaixo demonstra como através de um experimento simples podemos entender melhor o que é condutividade elétrica. A medida é feita através de condutivímetro e a unidade usada é o MHO (inverso de OHM, unidade de resistência). Como a condutividade aumenta com a temperatura, usa-se 25°C como temperatura padrão, sendo necessário fazer a correção da medida em função da temperatura se o condutivímetro não o fizer automaticamente. Para as águas subterrâneas as medidas de condutividade são dadas em microMHO/cm.

OBS: No Sistema Internacional de Unidades, adotado pelo Brasil, a unidade de condutância é siemens, abreviando-se S (maiúsculo). Para as águas subterrâneas o correto seria nos referirmos a microsiemens por centímetro (µS/cm).

Poucas águas de uso em irrigação excedem cerca de 2 dS m^{-1} de condutividade elétrica, sendo que uma água de irrigação de boa qualidade deve apresentar uma CE de, aproximadamente, 0,75 dS m^{-1} .

Os problemas de toxicidade e de salinidade se processam de forma distinta. A toxicidade ocorre internamente na planta e não é provocada pela falta de água, normalmente, ela se origina quando certos cátions, absorvidos pela planta com a água do solo, são acumulados nas folhas durante a transpiração, em quantidades suficientes para provocar danos. Os danos podem reduzir significativamente os rendimentos e sua magnitude pende do tempo, da concentração dos íons, da sensibilidade das plantas e do uso de águas pelas culturas. Os íons tóxicos contidos comumente nas águas de irrigação são o cloreto, o sódio e o boro e os danos podem ser provocados individualmente ou em combinação.

Além disso, a qualidade da água envolve não somente problemas relacionados às culturas a serem irrigadas mas também aos equipamentos utilizados para irrigação que podem sofrer sérios problemas de entupimentos. A água leva partículas inorgânicas (íons, areia, limo e argila) e orgânicas (como algas, sementes de ervas, pedaços de insetos, bactérias, fungos, protozoários, etc.).

Problemas de precipitação na rede ocorrem quando a água contém cálcio, bicarbonatos, ferro, manganês e sulfetos. O ferro e o manganês solúveis precipitam devido a mudanças de temperatura, pressão, teor de oxigênio, aumento no pH ou pela ação de bactérias, formando um pó e tornando a água barrenta.

2.3.4. Água para Balneabilidade (Lazer)

Balneabilidade é a qualidade das águas destinadas à recreação de contato primário, sendo este entendido como um contato direto e prolongado com a água (natação, mergulho, esqui-aquático, etc), onde a possibilidade de ingerir quantidades apreciáveis de água é elevada.
Para sua avaliação é necessário o estabelecimento de critérios objetivos. Estes critérios devem se basear em indicadores a serem monitorados e seus valores confrontados com padrões pré-estabelecidos, para que se possa identificar se as condições de balneabilidade em um determinado local são favoráveis ou não; pode-se definir, inclusive, classes de balneabilidade para melhor orientação dos usuários.

2.3.4.1. Fatores que influem na balneabilidade

O parâmetro indicador básico para a classificação das praias quanto a sua balneabilidade em termos sanitários é a densidade de coliformes fecais. Diversos são os fatores que condicionam a presença de esgotos nas praias:

Existência de sistemas de coleta e disposição dos despejos domésticos gerados nas proximidades	Existência de córregos afluindo ao mar	Afluência turística durante os períodos de temporada	Fisiografia da praia	Ocorrência de chuvas	Condições de maré

SAIBA MAIS:
A balneabilidade é avaliada conforme a Resolução CONAMA 274 de 29 de novembro de 2000, após 5 semanas de coletas e análises microbiológicas para Coliformes Fecais, *Escherichia coli* e/ou Enterococos, nos dias e locais de maior afluência do público.

http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano. cfm?codlegitipo=3

2.3.4.2. Aspectos de saúde pública

Corpos d'água contaminados por esgoto doméstico ao atingirem as águas das praias podem expor os banhistas a bactérias, vírus e protozoários. Crianças e idosos, ou pessoas com baixa resistência, são as mais suscetíveis a desenvolver doenças ou infecções após terem nadado em águas contaminadas.

As doenças relacionadas ao banho, em geral, não são graves. A doença mais comum associada à água poluída por esgoto é a gastroenterite. Ela ocorre numa grande variedade de formas e pode apresentar um ou mais dos seguintes sintomas: enjôo, vômitos, dores de estômago, diarréia, dor de cabeça e febre. Outras doenças menos graves incluem infecções de olhos, ouvidos, nariz e garganta. Em locais muito contaminados os banhistas podem estar expostos a doenças mais graves, como disenteria, hepatite A, cólera e febre tifóide.

Considerando-se as diversas variáveis intervenientes na balneabilidade das praias e sua relação com a possibilidade de riscos à saúde dos freqüentadores, é recomendável:

Não tomar banho nas águas das praias que forem classificadas como Impróprias.	Evitar o contato com os cursos d'água que afluem às praias.	Evitar o uso das praias que recebem corpos d'água cuja qualidade é desconhecida; após a ocorrência de chuvas de maior intensidade.	Evitar a ingestão de água do mar, com redobrada atenção para com as crianças e idosos, que são mais sensíveis e menos imunes do que os adultos.	Não levar animais à praia

A partir dos resultados das análises de coliformes fecais das 5 semanas consecutivas, são emitidos resultados na forma de boletins semanais. O boletim informa a qualidade das águas quanto à balneabilidade, que pode ser enquadrada nas categorias "PRÓPRIA" ou "IMPRÓPRIA" para recreação de contato primário. A categoria PRÓPRIA pode ser subdividida em classes: EXCELENTE, MUITO BOA e SATISFATÓRIA.

Corpos d'água contaminados por esgoto doméstico podem expor os banhistas a bactérias, vírus e protozoários. Crianças e idosos, ou pessoas com baixa resistência, são as mais suscetíveis a desenvolver doenças ou infecções após terem nadado em águas contaminadas. A doença mais comum associada à água poluída por esgoto é a gastroenterite. Outras doenças menos graves incluem infecções de olhos, ouvidos, nariz e garganta. Em locais muito contaminados os banhistas podem estar expostos a doenças mais graves, como disenteria, hepatite A, cólera e febre tifóide.

3. Biologia da água

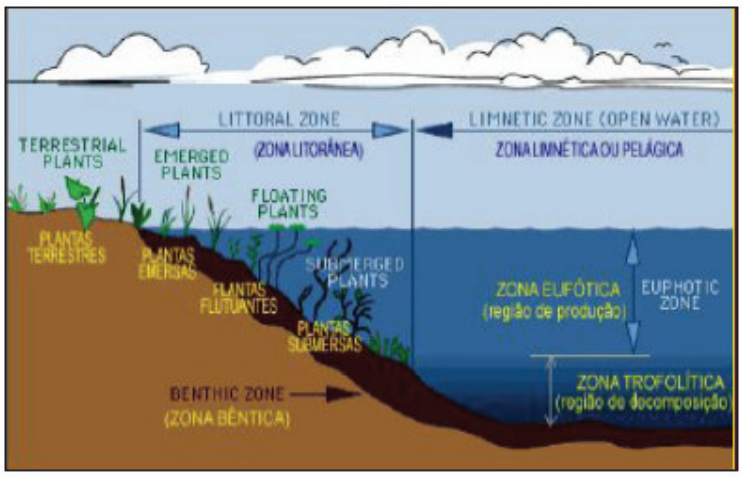
A vida se originou na água e grande parte dos fenômenos vitais ainda ocorrem no ambiente aquático original, tais como a fotossíntese e a mineralização de compostos orgânicos. Os fatores mais importantes que influenciam a população de organismos que vivem no meio aquático são:

- Presença ou ausência de oxigênio
- Presença ou ausência de luz
- Temperatura

As águas superficiais, como as de rios e lagos, abrigam uma comunidade biológica bastante diversificada. Grande parte dessa biota é constituída por organismos animais e vegetais invisíveis a olho nu. O conjunto desses organismos aquáticos foi denominado de *plâncton*, por apresentar locomoção limitada, sendo arrastado pelos movimentos da água.

Um lago típico possui zonas distintas de **comunidades bióticas** relacionadas à sua estrutura física. A zona litorânea fica próxima ás margens e onde a luz solar penetra até o fundo, permitindo assim a existência de plantas aquáticas ou macrófitas (emersas, flutuantes e submersas) e delimitando a *zona eufótica*.

A zona bêntica é formada pelos sedimentos e detritos que se acumulam no fundo do lago ou reservatório.



Fonte:www.ufrrj.br/institutos/it/de/acidentes/zonas.gif

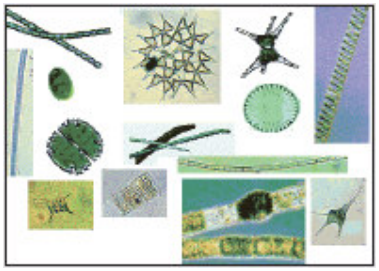
Figura 9. Zonas bióticas componentes de um lago de água doce.

O *fitoplâncton* compreende bactérias de vida livre, fungos e algas. O *zooplâncton* compreende protozoários de vida livre, rotíferos, cladóceros, copépodos, larvas de alguns insetos e de peixes nas primeiras etapas de desenvolvimento. Além destes, os organismos que vivem aderidos a superfícies são denominados perifiton.

SAIBA MAIS SOBRE A COMUNIDADE FITOPLANTÔNICA .

Fitoplâncton é representado por uma comunidade de diferentes organismos aquáticos, entre estes as algas [principalmente dos grupos ***Pyrrophyta*** (dinoflagelados) e ***Chrysophyta*** (diatomáceas)] cuja presença e concentração nos lagos e reservatórios, está fortemente associada ao estado trófico do manancial. As algas (plantas inferiores que não apresentam organização complexa do corpo e que produzem a fotossíntese) são importantes para o ecossistema lacustre porque:

- Convertem material inorgânico em orgânico (através da fotossíntese);
- Oxigenam a água (ainda através da fotossíntese);
- Servem como base essencial para a cadeia alimentar;
- Afetam a quantidade de luz solar que penetra na coluna d´água.



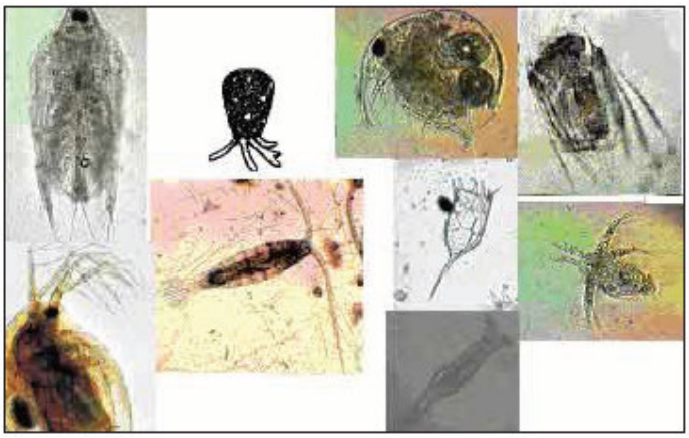
Fonte: www.ufrrj.br/institutos/it/de/acidentes/zonas.gif

Figura 10. Exemplos de comunidades fitoplantônicas.

Como muitas plantas superiores, as algas precisam de luz, de suprimento de nutrientes inorgânicos e de faixas específicas de temperatura para crescerem e se reproduzirem. Dentre esses fatores, o suprimento de nutrientes, especialmente o Fósforo, ditará a evolução do seu crescimento.

O zooplâncton (Figura 11) é composto por um grupo de diferentes animais que vivem flutuando em águas abertas ou associados às plantas aquáticas nas margens de lagos e rios. São organismos bastante pequenos, somente alguns atingem o tamanho máximo de 2 mm. Possuem um desenvolvimento rápido, preferem a reprodução assexuada e o tempo necessário para o ovo se tornar um adulto leva de horas a alguns dias. Os jovens são miniaturas perfeitas dos indivíduos adultos. Além de serem flutuantes, muitos desses animais conseguem viver em outros tipos de ambientes, incluindo poças d'água, pedras, troncos e partes de plantas submersas, além dos espaços existentes entre os grãos do sedimento do fundo de lagos e rios.

Muitos deles também são tolerantes à poluição e considerados indicadores de qualidade da água. Esses animais comem de tudo, desde algas, outros rotíferos menores, incluindo os seus filhotes, até detritos e bactérias.



Fonte: www.ufrrj.br/institutos/it/de/acidentes/zonas.gif

Figura 11. Zooplancton.

Os cladóceros além de serem flutuantes, também vivem em regiões mais rasas perto das margens dos lagos e rios com plantas aquáticas. Também são bastante pequenos (máximo de 3 mm), com rápido desenvolvimento. A reprodução básica é assexuada e sem larvas, e assim são muito semelhantes aos rotíferos. Grande parte dos cladóceros são filtradores e se alimentam de algas e detritos.

Os copépodos são flutuantes, além de viverem associados às plantas aquáticas, e mesmo em terras úmidas. Algumas espécies são parasitas de peixes. Atingem tamanhos um pouco maiores que os outros dois grupos, até poucos milímetros. A reprodução em geral é sexuada, com presença de machos e jovens diferentes (larvas). O tempo de desenvolvimento do ovo ao adulto pode levar de uma semana a um mês. A alimentação é composta por algas e detritos. Alguns tipos de organismos são carnívoros e até canibais.

Os organismos do plâncton são importantes no abastecimento de águas, pois:

- interferem nos sistemas de tratamento;
- produzem substâncias tóxicas para os seres humanos;
- abrigam germes que são patogênicos;
- contribuem para formação de matéria orgânica que pode ser transformada em compostos halogenados durante a cloração

O estudo e o reconhecimento desses pequenos animais flutuantes são relevantes. Esses organismos se reproduzem de forma contínua e, geralmente, sem interrupção, e a maioria apresenta um ciclo de vida curto, de horas/dias a algumas semanas. Devido a esse comportamento, torna-se possível uma resposta rápida dos organismos frente às alterações do ambiente aquático, inclusive às de qualidade de água.

3.1. Bactérias e fungos

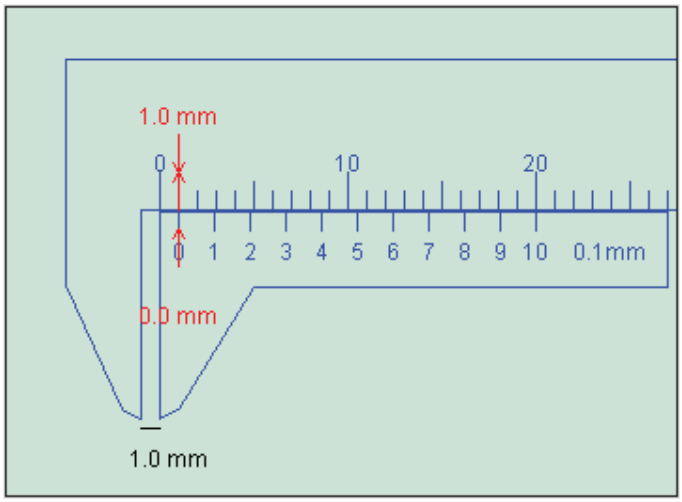
As bactérias são seres unicelulares (uma única célula), procarióticos (não possuem membrana nuclear) e microscópicos, que podem viver em qualquer ambiente. A maioria das bactérias

aquáticas não ultrapassa 1 micrômetro (µm), embora algumas delas possam medir vários micrômetros.

SAIBA MAIS:

Qual o tamanho de um micrômetro (µ) ?

Para você imaginar qual é o tamanho de um micrômetro, pegue uma régua e olhe quanto mede um milímetro; agora, imagine este um milímetro dividido por mil. Pois cada uma das divisões resultantes mede um micrômetro.



Fonte: http://phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/index.php?topic=52

Figura 12. Visualização da medida de 1 mm (1000 µ).

As bactérias recebem nomes especiais, de acordo com suas diferentes morfologias (formas), conforme é observado nas figuras 13 e 14. Se o formato é esférico, são chamadas cocos. Estes podem estar isolados ou viver em grupos. Se tiverem forma de bastonete, são chamadas de bacilos. Se a forma for de espiral, chama-se espirilo. Caso a bactéria se assemelhe a uma vírgula, denomina-se vibrião.

Quanto à respiração, as bactérias podem ser aeróbias ou anaeróbias. Chamam-se aeróbias as que fazem uso do oxigênio. As anaeróbias vivem na ausência desse gás, e são encontradas principalmente no sedimento (fundo) de ambientes aquáticos.

Quanto à nutrição, as bactérias obtêm seu alimento de matéria orgânica morta, animal ou vegetal, e são chamadas de saprófitas. Há espécies de bactérias que produzem o seu próprio alimento, o que pode ser feito por fotossíntese ou quimiossíntese.

MORFOLOGIAS BACTERIANAS

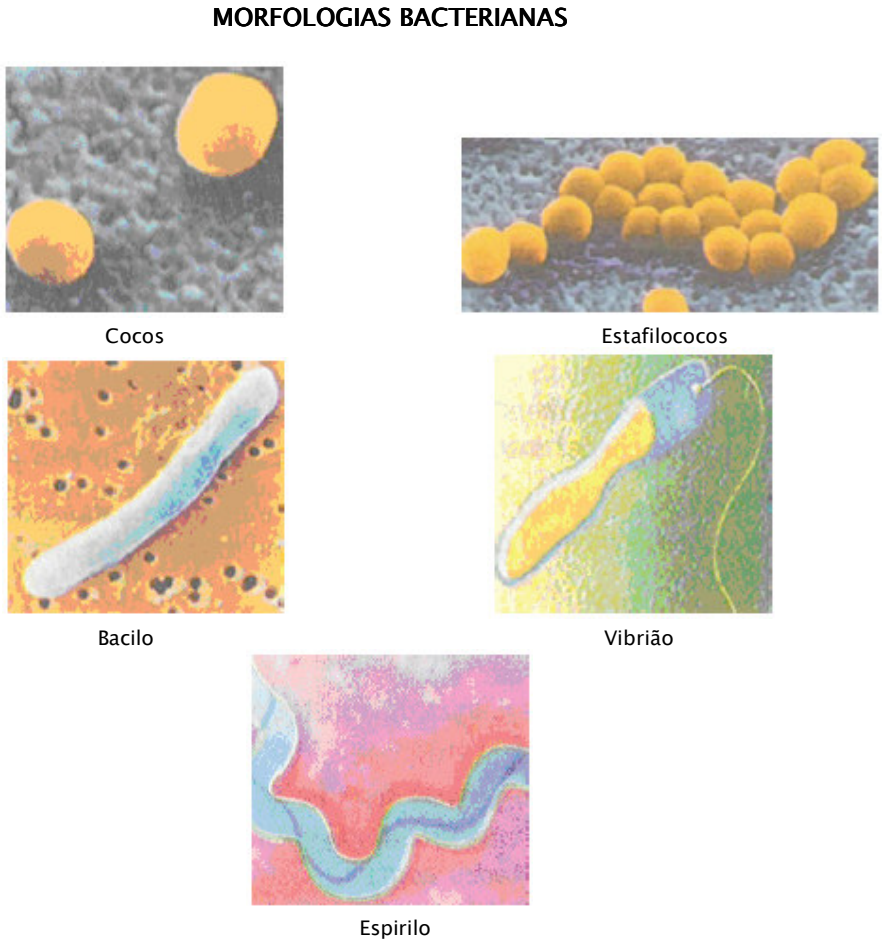
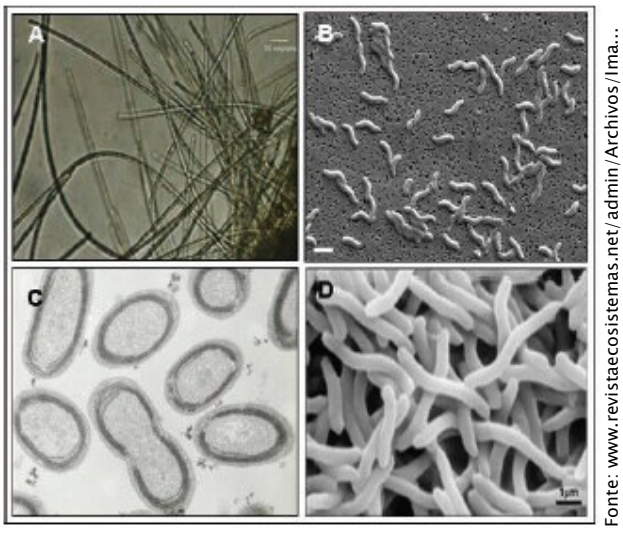

Cocos
Estafilococos
Bacilo
Vibrião
Espirilo

Figura 13. Principais morfologias bacterianas predominantes em águas de superfície.



Fonte: www.revistaecosistemas.net/admin/Archivos/Ima...

Figura 14. Microorganismos com diferentes morfologias. A) Bactérias (gênero bacteriano Beggiatoa), típica de sedimentos marinos. B) Células de bactéria Thalassospira lucentensis. C) Células do microorganismo fitoplanctônico Prochlorococcus marinus em processo de divisão. Na borda destas células pode-se visualizar as membranas fotossintéticas. D) Células da espécie Rhodospirillum rubrum.

Os fungos são **organismos eucariotos**, podendo ser unicelulares ou pluricelulares. Os fungos unicelulares são chamados de leveduras, apresentam forma oval e são maiores que as bactérias. São heterotróficos e apresentam reprodução assexuada ou sexuada. A maioria dos fungos obtém seu alimento decompondo a matéria orgânica do corpo de organismos vegetais e animais mortos, sendo chamados de saprófitos.

Podem ser parasitas, ou seja, vivem à custa de outro ser vivo, prejudicando-o ou podendo até matá-lo; podem estar associados a outros seres e ambos se beneficiam, sendo a relação chamada de mutualismo. Nos ambientes aquáticos são encontrados os *Hyphomycetes*, importantes na decomposição do material vegetal morto, e geralmente presentes em folhas e ramos de árvores que caem na água.

ORGANISMOS EUCARIOTOS:
São todos os seres vivos com células **eucarióticas** (Figura 15)**,** ou seja, com um núcleo celular rodeado por uma membrana (DNA compartimentado conseqüentemente separado do citoplasma) e com vários organelas.

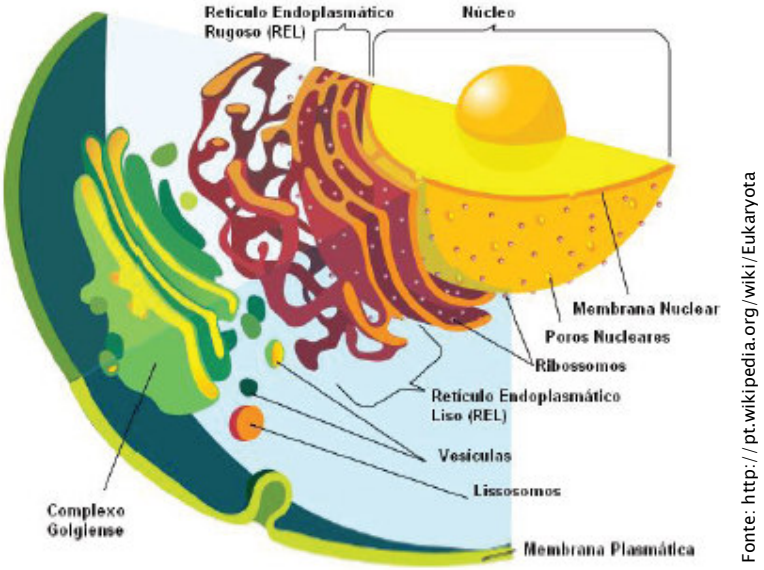


Figura 15. Célula eucariótica.

Os verdadeiros fungos aquáticos (Figura 16) não se adaptam bem às águas poluídas, por isso os fungos que se encontram na água são de origem do solo, dentre eles, as leveduras. Águas poluídas, ricas em matéria orgânica e outros nutrientes, favorecem a multiplicação e o crescimento destes organismos.

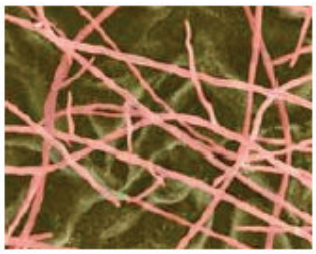


Figura 16. Hifas de fungos aquáticos

3.2. Algas

As algas (Figura 17) são organismos unicelulares, eucariontes fotossintetizantes. Podem fazer parte do plâncton ou do perifiton. Apresentam grande variedade de formas e se reproduzem assexuada ou sexuadamente. São abundantes tanto em águas doces quanto em águas salgadas. Como organismos fotoautotróficos são encontrados na zona eufótica (com incidência de luz) dos corpos de água. As algas são classificadas de acordo com seus pigmentos e sua forma.

Estes organismos não somente sintetizam seu próprio alimento como liberam no meio metabólitos que, quando as algas estão presente em grandes quantidades, causam problemas no abastecimento de água para consumo.

Fonte:http://fotos.sapo.pt/carlosberardo/pic/0000brhx/s500x500 www.enq.ufsc.br/.../CIANOBACTERIAS.jpg

(A) (B)

Figura 17. Algas (A) e Cianobactérias (B).

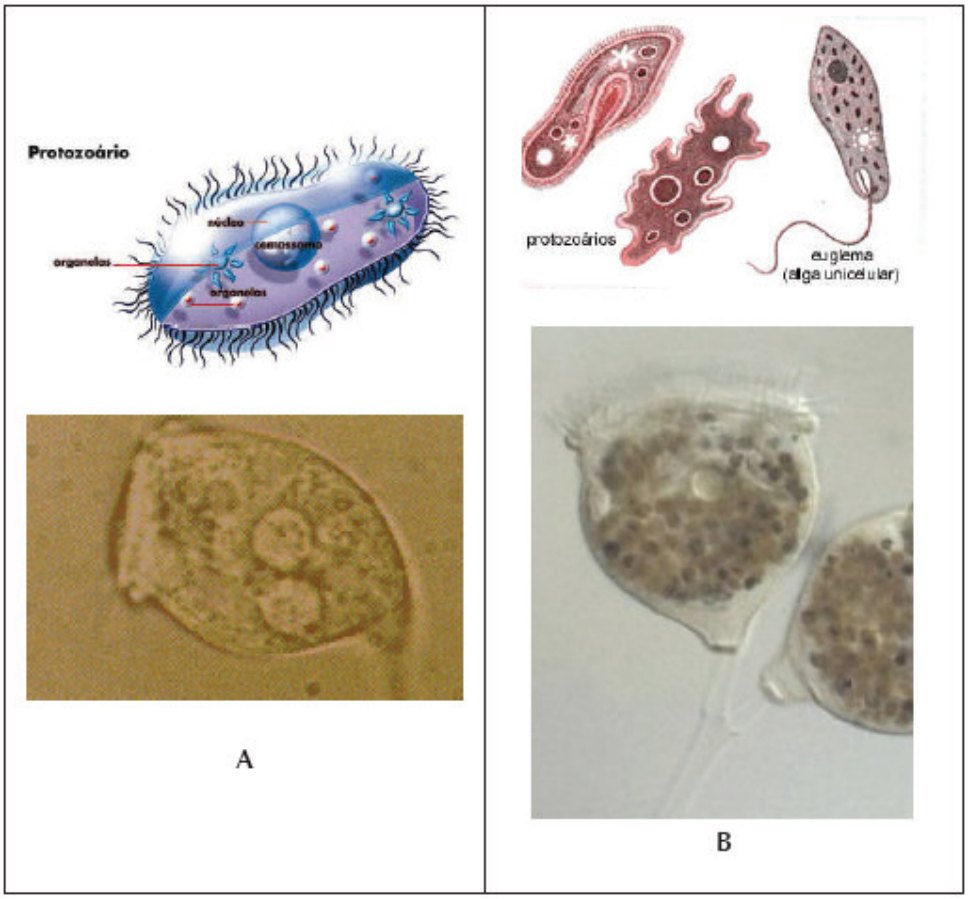
As algas azuis, algas cianofíceas ou cianobactérias, não podem ser consideradas nem como algas e nem como bactérias comuns. São microorganismos com características celulares procariontes (bactérias sem membrana nuclear), porém com um sistema fotossintetizante semelhante ao das algas (vegetais eucariontes), ou seja, são bactérias fotossintetizantes.

3.3. Protozoários e animais multicelulares

Os protozoários (Figura 18) são animais unicelulares, eucarióticos, móveis e sem parede celular. Ocorrem como células isoladas ou em colônias de células e apresentam dimensões predominantemente microscópicas (4µm a 350µm).

São divididos em quatro grupos, incluindo esporozoários, amebas, flagelados e ciliados. A forma como se apresentam na natureza, como cistos e oocistos, explica sua prevalência em distintos tipos de ambiente e, principalmente, a significativa maior resistência à ação do cloro.

A maioria deles é desprovida de clorofila, embora alguns apresentem algas simbiontes, como é o caso de *Paramecium bursaria*. Assim como as bactérias, os protozoários podem ser aeróbios ou anaeróbios, exibir vida livre ou associar-se a outros organismos. A locomoção é um critério muito importante na diferenciação dos grupos de protozoários. Estes podem se locomover por meio de pseudópodos, flagelos e cílios. Os protozoários se reproduzem assexuada e sexuadamente.



Fonte: www.enq.ufsc.br/.../microorganismos/PROTOZ1.jpg

Figura 18. Ilustração de protozoários (A) e euglena (B)

4. Características de qualidade da água para abastecimento público

4.1. Principais características físicas da água para uso urbano

A percepção do homem nas alterações da qualidade da água através de seus sentidos dá-se pelas características físicas da água, pois se espera que essa seja transparente, sem cor e sem cheiro. Na verdade, na natureza a água usualmente possui cor, cheiro e até mesmo gosto.

Temperatura: medida da intensidade de calor; é um parâmetro importante, pois, influi em algumas propriedades da água (densidade, viscosidade, oxigênio dissolvido), com reflexos sobre a vida aquática. Vai interferir nos processos biológicos, reações químicas e bioquímicas. A temperatura pode variar em função de fontes naturais (energia solar) e fontes antropogênicas (despejos industriais e águas de resfriamento de máquinas).

Com o aumento da temperatura, a solubilidade dos gases diminui e a dos sais minerais aumenta. A temperatura influencia ainda o crescimento microbiológico, pois cada microrganismo possui uma faixa ideal de temperatura de crescimento.

Sabor e odor: a água pura não produz sensação de odor ou sabor nos sentidos humanos.
Os produtos que conferem odor ou sabor resultam de causas naturais (algas, vegetação em decomposição, bactérias, fungos, compostos orgânicos, tais como sulfatos, e artificiais (esgotos domésticos e industriais).

A detecção de sabor e odor e sua quantificação é difícil pois depende exclusivamente da sensibilidade dos sentidos humanos. Outra dificuldade é que esta sensibilidade varia de indivíduo para indivíduo e tende a diminuir com a constante exposição.

Turbidez: é a alteração da penetração da luz pela presença de matéria em suspensão na água, como argila, silte, plancton, substâncias orgânicas finamente divididas, organismos microscópicos e outras partículas. O aumento da turbidez reduz a zona eufótica, que é onde penetra a luz e ocorre a fotossíntese.

Turbidez e a Portaria nº 518 25 de março de 2004.
A turbidez também é um parâmetro que indica a qualidade estética das águas para abastecimento público. O padrão de potabilidade é de 1,0 NTU. Para a saída dos filtros a turbidez deve ser no máximo 2,0 NTU (filtração lenta) e 1,0 NTU (filtração rápida).

CONSEQUÊNCIAS DA TURBIDEZ

A turbidez, além de reduzir a penetração da luz solar na coluna d´água, prejudicando a fotossíntese das algas e plantas aquáticas submersas, pode recobrir os ovos dos peixes e os invertebrados bênticos (que vivem no fundo). Os sedimentos em suspensão podem carrear nutrientes e pesticidas, obstruindo as guelras dos peixes, e até interferir na habilidade do peixe em se alimentar e se defender dos seus predadores. As partículas em suspensão localizadas próximo à superfície podem absorver calor adicional da luz solar, aumentando a temperatura da camada superficial da água. A turbidez (Figura 19) também prejudica a ação dos agentes desinfetantes, como o cloro, por exemplo, pois acaba protegendo certos microorganismos da ação destes agentes. Além disso, causa mau aspecto à água, tornando-a turva.

Fonte:www.ufrrj.br/institutos/it/de/acidentes/sed.jpg

Figura 19. Turbidímetro e amostras de água com diferentes graus de turbidez

Cor: é o resultado principalmente dos processos de decomposição que ocorrem no meio ambiente. Por esse motivo, as águas superficiais estão mais sujeitas a ter cor do que as águas subterrâneas. Além disso, pode-se ter cor devido à presença de alguns íons metálicos como ferro ou manganês, pela decomposição da matéria orgânica da água (principalmente vegetais), pelas algas ou pela introdução de esgotos industriais e domésticos.

Águas superficiais podem parecer ter cor devido ao material em suspensão. Esta coloração é dita *aparente* por que é como o ser humano a vê, mas é na verdade, em parte o resultado da reflexão e dispersão da luz das partículas em suspensão, responsável pela turbidez.

A cor dita *verdadeira* ou real, é causada por material dissolvido e colóides. As substâncias que mais frequentemente adicionam a águas naturais são os ácidos húmicos.

A diferenciação entre a cor verdadeira e a cor aparente é dada pelo tamanho das partículas:

- *diâmetros superiores a 1,2 µm causam turbidez*
- *diâmetros inferiores a 1,2 µm causam cor verdadeira*

VOCÊ SABIA?

A turbidez é a medida da dificuldade de um feixe de luz atravessar uma certa quantidade de água, conferindo uma aparência turva à mesma. Essa medição é feita com o turbidímetro ou nefelômetro, que compara o espalhamento de um feixe de luz ao passar pela amostra, com o de um feixe de igual intensidade, ao passar por uma suspensão padrão. Quanto maior o espalhamento, maior será a turbidez.

Tabela 3. Cores usuais da água e suas prováveis causas.

Cores da Água	Origem Provável
Azul	Pouco material em suspensão
Verde	Rica em fitoplâncton e outras algas
Vermelha	Certos tipos de algas ("maré vermelha")
Amarela/Marrom	Materiais orgânicos dissolvidos, substâncias úmicas do solo, turfa ou material deteriorado de plantas
Mistura de cores	Escorrimento de água no solo

Condutividade Elétrica: capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica. Este parâmetro está relacionado com a presença de íons dissolvidos na água, que são partículas carregadas eletricamente Quanto maior for a quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica na água.

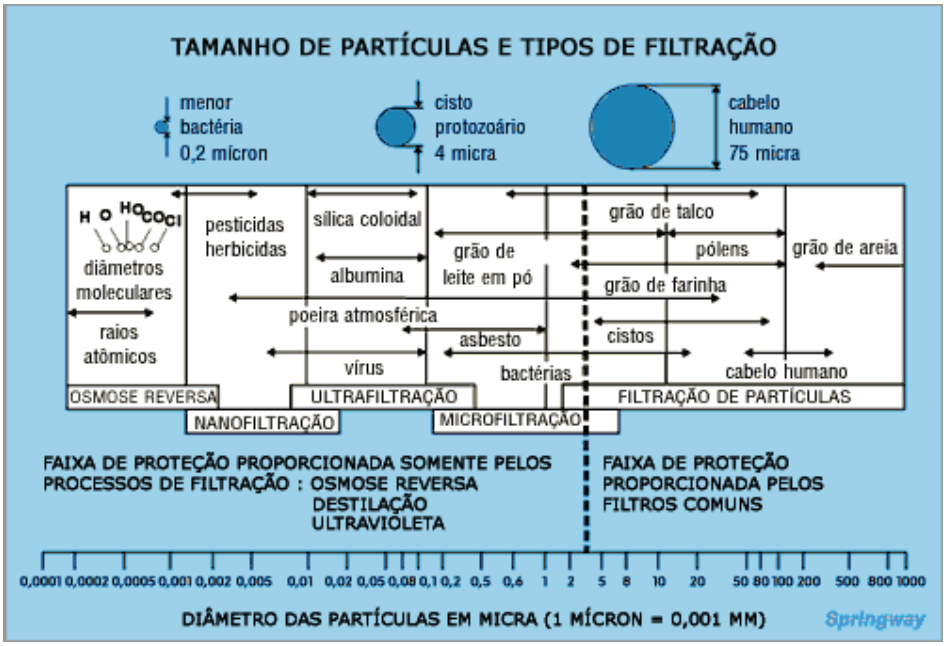
Sólidos: todas as impurezas na água, com exceção de gases dissolvidos, contribuem para a cerga de sólidos presentes nos recursos hídricos. Os sólidos (Figura 21) podem ser classificados de acordo com o seu tamanho e características químicas.

Sólidos em suspensão: resíduo que permanece num filtro de asbesto após filtragem da amostra. Podem ser divididos em:

Sólidos sedimentáveis: sedimentam após um período de tempo de repouso da amostra.

Sólidos não sedimentáveis: somente podem ser removidos por processos de coagulação, floculação e decantação.

Sólidos dissolvidos: material que passa através do filtro. Representam a matéria em solução ou em estado coloidal presente na amostra de efluente.



Fonte: www.springway.com.br/.../tabela_filtracao.gif

Figura 20. Tamanho de partículas e tipos de filtração de acordo com as diferenças entre os sistemas de filtração e suas capacidades de retenção de sólidos contaminantes ou de esterilização de microorganismos.

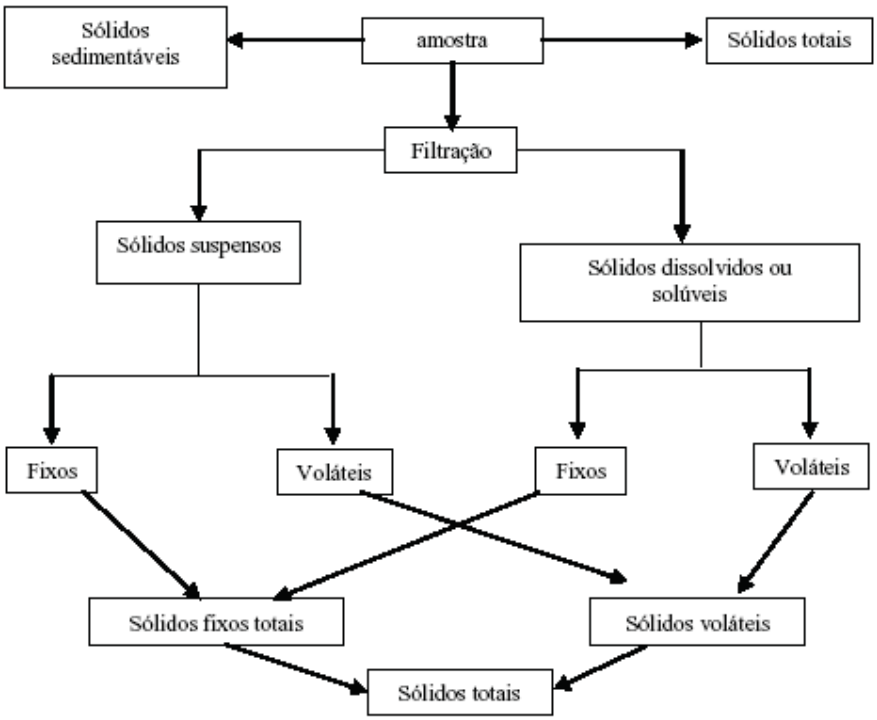


Figura 21. Fluxograma dos diferentes tipos de sólidos presentes em águas.

4.1.1. Amostragem de Água

4.1.1.1. Amostragem de água para análise físico-química e bacteriológica

A coleta e a preservação das amostras devem ser feitas com uso de técnicas adequadas, sem o que os resultados podem não refletir as condições do momento em que a coleta foi realizada. Sendo a coleta parte integrante do processo analítico e sua execução contribuindo decisivamente para os resultados, o indivíduo designado para efetuá-la deve ser devidamente treinado sobre as técnicas de amostragem e reservação, medidas de segurança, manuseio dos materiais usados em campo, conhecimento da localização exata dos pontos de amostragem e registro de condições atípicas nos referidos locais.

A organização da coleta é fundamental e visa evitar prejuízos e riscos. A localização dos pontos de amostragem e estabelecimento de um itinerário racional, levando em conta a distância do laboratório para execução das análises e prazos de preservação das amostras.

No momento da coleta, desrosquear a tampa do frasco com as mãos limpas e desinfetadas com álcool, tocando apenas na região externa da tampa e na parte inferior externa do frasco. O frasco de coleta deve ser preenchido em posição inclinada (± 45º), conforme mostrado na Figura 22, e quase no final posicionado verticalmente até encher completamente, sem deixar bolhas de ar. Tomar cuidado para não agitar a amostra, evitando a incorporação de ar.

Figura 22. Coleta de amostra de água superficial. O frasco de coleta deve ser preenchido na posição inclinada, conforme detalhe acima.

Quando a amostra for coletada diretamente em um corpo de água receptor, deve-se procurar selecionar pontos de amostragem bem representativos da amostra de água a ser examinada, evitando-se a coleta de amostras em áreas estagnadas ou em locais próximos à margem. A amostragem de águas superficiais pode ser feita por dois processos:

4.1.1.2. Amostragem de água superficial

a) Coleta manual – utilizando luvas de cano longo destinadas exclusivamente para esta atividade, remover a tampa do frasco com todo cuidado, sem tocar na região interna. Segurar o frasco pela base, mergulhando-o rapidamente com a boca para baixo, a cerca de 15cm de profundidade, para evitar a introdução de contaminantes superficiais. Direcionar o frasco de modo que a boca fique em sentido contrário à correnteza. Se o corpo de água for estático, deve ser criada uma correnteza artificial, através da movimentação do frasco no sentido horizontal, sempre para frente. Inclinar o frasco lentamente para cima a fim de permitir a saída do ar e completo enchimento do mesmo. Após a retirada do frasco do corpo de água, fechá-lo imediatamente, identificando adequadamente a amostra no frasco.

b) Coleta com auxílio de equipamentos – quando localização do ponto de amostragem impossibilita a coleta manual, é necessária a utilização de dispositivos adequados para essa finalidade, devendo a mesma ser efetuada a partir de pontes, barrancos e outros locais de acesso previamente definidos.

Nestes casos a coleta pode ser realizada com auxílio de um balde de plástico destinado exclusivamente para essa finalidade, previamente limpo e enxaguado com a água do próprio local, preso a uma corda de náilon, pois este material não absorve a água e não apodrece facilmente. Caso seja necessário coletar mais do que um balde, o volume de cada um deles deve ser distribuído igualmente entre todos os frascos, a fim de garantir a homogeneidade da amostra nos diversos frascos.

Nota 1. Sempre que for empregado um mesmo balde em várias amostragens sucessivas em pontos diferentes, este frasco deve ser lavado com amostra do local antes de nova coleta, tendo-se o cuidado de não contaminar a água do local ao processar esta lavagem.

Nota 2. Nos casos de amostragem a partir de margens, em locais de difícil acesso, utilizar o balde de transposição provido de peso, arremessando-o até um local bem distante da margem; segurando bem presa a extremidade livre da corda.

Nota 3. Em caso de coleta a partir de pontes, arremessar o balde contra a corrente segurando bem presa a extremidade livre da corda.

4.1.1.3. Amostragem de água de poço

Para a coleta de água em torneira localizada próxima ao poço, limpar a área externa da saída da torneira, desinfetar com álcool, abrir a torneira de forma a obter um fluxo de água lento para evitar incorporação de ar na amostra e deixar a água escorrer por 2 a 3 minutos para eliminar toda a coluna de líquido na canalização antes de recolher a amostra no frasco. A torneira não deve conter aeradores, filtros ou peneiras, nem apresentar vazamento.

Para a coleta de água em balde, utilizar o balde do próprio poço previamente limpo e enxaguado. Encher o balde com a água e, tocando somente na região externa do balde,

transferir a água para o frasco de coleta em posição inclinada e, quase no final, posicionar o frasco verticalmente até encher completamente, sem deixar bolhas de ar. Tomar cuidado para não agitar a amostra, evitando a incorporação de ar.

4.1.1.4. Transporte e estocagem das amostras

A preservação adequada da amostra e o tempo-limite para o início do exame são fatores críticos para a obtenção de dados válidos, não devendo ser analisadas as amostras que não atendam às especificações relativas a esses aspectos.

As amostras de água devem ser transportadas com a menor agitação possível e armazenadas sob refrigeração (4oC), o intervalo recomendado entre a coleta e o início das análises é de 6 horas, não devendo exceder 24 horas.

Cuidado especial deve ser tomado no transporte dos frascos de coleta a fim de se evitar quebras, danos, agitação excessiva e derramamentos. Utilizar uma caixa de isopor com preenchimento dos espaços vazios entre os frascos de modo a permitir o encaixe firme e seguro dos mesmos.

4.2 Principais características químicas da água para uso urbano

Os parâmetros químicos são de grande importância para se caracterizar a qualidade da água. Estes parâmetros permitem:

- Classificar a água por seu conteúdo mineral;
- Determinar o grau de contaminação, verificando-se também a origem dos poluentes;
- Caracterizar picos de concentração de poluentes tóxicos e as possíveis fontes;
- Avaliar o equilíbrio bioquímico que é necessário para manutenção da vida aquática, avaliar as necessidades de nutrientes.

Acidez: representa o teor de CO2 livre, ácidos minerais e sais de ácidos fortes, os quais por dissociação resultam em íons hidrogênio em solução. Em geral a acidez é classificada em carbônica, mineral e orgânica.

O CO2 é um componente natural das águas que levará à formação de acidez carbônica. A acidez mineral é resultante da presença de resíduos industriais, materiais orgânicos sintéticos e pela hidrólise de sais minerais de metais. A importância da acidez está vinculada a problemas de corrosão, tendo pouca importância no aspecto sanitário.

pH (potencial hidrogeniônico): representa o equilíbrio entre íons H+ e íons OH; varia de 7 a 14; indica se uma água é ácida (pH inferior a 7), neutra (pH igual a 7) ou alcalina (pH maior do que 7); o pH da água depende de sua origem e características naturais, mas pode ser alterado pela introdução de resíduos; pH baixo torna a água corrosiva; águas com pH elevado tendem a formar incrustações nas tubulações. A vida aquática depende do pH, sendo recomendável a faixa de 6 a 9.

Alcalinidade: causada por sais alcalinos, principalmente de sódio e cálcio. Normalmente é encontrada nas águas na forma de carbonato ou bicarbonato. A alcalinidade mede a capacidade da água de neutralizar os ácidos; em teores elevados, pode proporcionar sabor desagradável à água.

A quantificação da alcalinidade tem grande importância, pois se relaciona com o processo de coagulação com floculantes, que é uma das etapas do tratamento convencional de águas, com a prevenção de incrustações e da corrosão de canalizações de ferro fundido.

Existem três tipos de alcalinidade que podem ser encontradas em águas naturais:

Alcalinidade a hidróxido (OH-)
Alcalinidade a carbonato (CO3-)
Alcalinidade a bicarbonato (HCO3-)

A relação entre pH e as diversas formas de alcalinidade são:

Faixa de pH	Alcalinidade
> 9,4	Hidróxidos e carbonatos
8,3 a 9,4	Carbonatos e bicarbonatos
4,4 a 8,3	Bicarbonatos

Observação: alcalinidade, acidez e pH não são a mesma coisa

Alcalinidade ≠ acidez ≠ pH

Dureza: resulta da presença, principalmente, de sais alcalinos terrosos (cálcio e magnésio), ou de outros metais bivalentes, em menor intensidade, em teores elevados. Causa sabor desagradável e efeitos laxativos; reduz a formação da espuma do sabão, aumentando o seu consumo; provoca incrustações nas tubulações e caldeiras. Classificação das águas, em termos de dureza (em $CaCO_3$):

- Menor que 50 mg/l $CaCO_3$ – água mole
- Entre 50 e 150 mg/l $CaCO_3$ – água com dureza moderada
- Entre 150 e 300 mg/l $CaCO_3$ – água dura
- Maior que 300 mg/l $CaCO_3$ – água muito dura

A dureza por bicarbonatos, fonte da maioria dos problemas envolvendo os sais de cálcio e magnésio, é também chamada de dureza temporária. Pela ação do calor ou por reação com substâncias alcalinas ocorre a formação de carbonatos que são insolúveis e precipitam formando incrustações.

A dureza por sulfatos ou cloretos de cálcio e/ou magnésio em solução é chamada dureza permanente pois não é influenciada pelo calor, somente por substâncias alcalinas.

Cloretos: Os cloretos, geralmente, provêm da dissolução de minerais ou da intrusão de águas do mar; podem, também, advir dos esgotos domésticos ou industriais. Em altas concentrações, conferem sabor salgado à água ou propriedades laxativas.

Ferro e Manganês: podem originar-se da dissolução de compostos do solo ou de despejos industriais; causam coloração avermelhada à água, no caso do ferro, ou marrom, no caso do manganês, manchando roupas e outros produtos industrializados.
Conferem sabor metálico à água, as águas ferruginosas favorecem o desenvolvimento das ferrobactérias, que causam maus odores e coloração à água e obstruem as canalizações.

Nitrogênio: o nitrogênio pode estar presente na água sob várias formas: molecular, amônia, nitrito, nitrato. É um elemento indispensável ao crescimento de algas, mas, em excesso, pode ocasionar um exagerado desenvolvimento desses organismos, fenômeno chamado de eutrofização. São causas do aumento do nitrogênio na água: esgotos domésticos e industriais, fertilizantes e excrementos de animais.

Águas com predominância de nitrogênio orgânico e amoniacal caracterizam poluição por descarga de esgoto recente. Já os nitratos indicam poluição remota, porque os nitratos são o produto final da oxidação do nitrogênio.

Fósforo: encontra-se na água nas formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico. É essencial para o crescimento de algas, mas, em excesso, causa a eutrofização; suas principais fontes são: dissolução de compostos do solo; decomposição da matéria orgânica, esgotos domésticos e industriais; fertilizantes; detergentes e excrementos de animais.

Fluoretos: os fluoretos têm ação benéfica de prevenção da cárie dentária entretanto, em concentrações mais elevadas, podem provocar alterações da estrutura óssea ou a fluorose dentária (manchas escuras nos dentes).

Oxigênio Dissolvido (OD): é indispensável aos organismos aeróbios. A água, em condições normais, contém oxigênio dissolvido cujo teor de saturação depende da altitude e da temperatura. Águas com baixos teores de oxigênio dissolvido indicam que receberam matéria orgânica, já que a decomposição da matéria orgânica por bactérias aeróbias é, geralmente, acompanhada pelo consumo e redução do oxigênio dissolvido da água. Dependendo da capacidade de autodepuração do manancial, o teor de oxigênio dissolvido pode alcançar valores muito baixos, ou zero, extinguindo-se os organismos aquáticos aeróbios.

SAIBA MAIS:

Em ecologia, chama-se **Eutrofização** ao fenômeno causado pelo excesso de nutrientes (compostos químicos ricos em fósforo ou nitrogênio, normalmente causada pela descarga de efluentes agrícolas, urbanos ou industriais) num corpo de água mais ou menos fechado, o que leva à proliferação excessiva de algas, que, ao entrarem em decomposição, levam ao aumento do número de microorganismos e à conseqüente deterioração da qualidade do corpo d'água (rios, lagos, baías, estuários, etc).

Figura 23. Vista do Rio Alenquer (Portugal), onde observa a excessiva proliferação de algas, característica de um ambiente eutrofizado.

A proliferação e a cobertura da superfície aquática pelas algas, fazem baixar bruscamente o nível de oxigênio da água resultando na morte dos peixes e outros seres vivos.

Matéria Orgânica: a matéria orgânica da água é necessária aos seres heterótrofos, na sua nutrição, e aos autótrofos, como fonte de sais nutrientes e gás carbônico; em grandes quantidades, no entanto, podem causar alguns problemas, como: cor, odor, turbidez, consumo do oxigênio dissolvido, pelos organismos decompositores. O consumo de oxigênio é um dos problemas mais sérios do aumento do teor de matéria orgânica, pois provoca desequilíbrios ecológicos, podendo causar a extinção dos organismos aeróbios. Geralmente, são utilizados dois indicadores do teor de matéria orgânica na água: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO).

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO): é a quantidade de oxigênio necessária à oxidação da matéria orgânica por ação de bactérias aeróbias. Representa, portanto, a quantidade de oxigênio que seria necessário fornecer às bactérias aeróbias, para consumirem a matéria orgânica presente em um líquido (água ou esgoto). A DBO é determinada em laboratório, observando-se o oxigênio consumido em amostras do líquido, durante 5 dias, à 20 °C.

Demanda Química de Oxigênio (DQO): é a quantidade de oxigênio necessária à oxidação da matéria orgânica, através de um agente químico. A DQO também é determinada em laboratório, em prazo muito menor do que o teste da DBO. Para o mesmo líquido, a DQO é sempre maior que a DBO.

Componentes Inorgânicos: alguns componentes inorgânicos da água, entre eles os metais pesados, são tóxicos ao homem: arsênio, cádmio, cromo, chumbo, mercúrio, prata, cobre e zinco; além dos metais, pode-se citar os cianetos; esses componentes, geralmente, são incorporados à água através de despejos industriais, atividades agrícolas, de garimpo e de mineração.

Componentes orgânicos: alguns componentes orgânicos presentes na água são resistentes aos processos de tratamento convencionais tais como os agrotóxicos, alguns tipos de detergentes e outros produtos químicos.

Os padrões permitidos, de acordo com a Portaria 518/2004, para cor, dureza, turbidez, sólidos, cloretos e outros compostos são apresentados na figura 24:

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP(1)
Alumínio	mg/L	0,2
Amônia (como NH_3)	mg/L	1,5
Cloreto	mg/L	250
Cor Aparente	uH(2)	15
Dureza	mg/L	500
Etilbenzeno	mg/L	0,2
Ferro	mg/L	0,3
Manganês	mg/L	0,1
Monoclorobenzeno	mg/L	0,12
Odor	-	Não objetável(3)
Gosto	-	Não objetável(3)
Sódio	mg/L	200
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	1.000
Sulfato	mg/L	250
Sulfeto de Hidrogênio	mg/L	0,05
Surfactantes	mg/L	0,5
Tolueno	mg/L	0,17
Turbidez	UT(4)	5
Zinco	mg/L	5
Xileno	mg/L	0,3

NOTAS: (1) Valor máximo permitido.
(2) Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).
(3) critério de referência
(4) Unidade de turbidez.

Figura 24. Padrões de qualidade da água conforme Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde.

Também existem padrões para metais e agrotóxicos. A tabela a seguir apresenta os padrões para agrotóxico, na figura 25.

AGROTÓXICOS		
Alaclor	µg/L	20,0
Aldrin e Dieldrin	µg/L	0,03
Atrazina	µg/L	2
Bentazona	µg/L	300
Clordano (isômeros)	µg/L	0,2
2,4 D	µg/L	30
DDT (isômeros)	µg/L	2
Endossulfan	µg/L	20
Endrin	µg/L	0,6
Glifosato	µg/L	500
Heptacloro e Heptacloro epóxido	µg/L	0,03
Hexaclorobenzeno	µg/L	1
Lindano (γ-BHC)	µg/L	2
Metolacloro	µg/L	10
Metoxicloro	µg/L	20
Molinato	µg/L	6
Pendimetalina	µg/L	20
Pentaclorofenol	µg/L	9
Permetrina	µg/L	20
Propanil	µg/L	20
Simazina	µg/L	2
Trifluralina	µg/L	20

Figura 25. Padrões para alguns metais e agrotóxicos conforme Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde.

4.3 Principais características biológicas da água para uso urbano

No que diz respeito às características microbiológicas das águas de abastecimento, de acordo com a legislação atual, não pode haver a presença de bactérias do grupo coliforme. Amostras devem ser analisadas tanto na saída do tratamento quanto na rede de distribuição. Análises de bactérias heterotróficas não podem ultrapassar o valor de 500 unidades formadoras de colônias por 100 mL de amostra.

No caso de organismos como giardia e criptosporidium, tendo em vista a dificuldade de análise, é recomendada que a água apresente a turbidez inferior a 0,5 UNT. Com níveis de turbidez reduzidos, garante-se a ausência destes patogênicos.

5. Processos de Tratamento de Água

5.1. Tratamento Físico

Nesta etapa são utilizados métodos de tratamento nos quais predomina a aplicação de forças físicas para remoção de material particulado. Como a maioria destes métodos envolveu diretamente observações naturais, eles foram os primeiros métodos a serem usados para o tratamento de águas e efluentes líquidos. Peneiramento mistura floculação, sedimentação, flotação, filtração e transferência gasosa são operações físicas unitárias típicas.

5.1.1. Aplicação do gradeamento

O gradeamento constitui a primeira etapa de uma estação de tratamento de água. Tem como objetivo reter os sólidos grosseiros em suspensão e de corpos flutuantes, assim protegendo tubulações, válvulas, registros, bombas e outros equipamentos à sua jusante, contra obstruções. A remoção de sólidos pode ser feita mediante grades de barras de limpeza manual ou mecânica, conjugadas ou não com trituradores, ou ainda mediante peneiras rotativas, dependendo das características dos sólidos a serem removidos, conforme pode ser observado na Figura 26, e na Figura 27 onde é apresentado um desenho esquemático de uma grade mecanizada.

As unidades de gradeamento podem ser classificadas em função de:

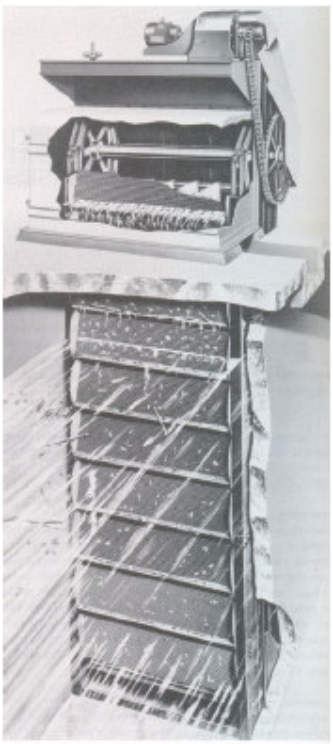
a) **Abertura entre as barras**: Grosseiras: abertura de 4 a 10 cm
Médias: abertura de 2 a 4 cm
Finas: abertura de 1 a 2 cm

b) **Sistema de limpeza**: Manual: pequenas ETAs
Mecanizado: médias e grandes ETAs

c) **Posição no canal**: Verticais: limpeza mecanizada
Inclinadas (≈ 60°): limpeza manual

Figura 26. Sistema de gradeamento mecanizado (esquerda) e canal de chegada da água bruta (direita) com vista anterior a grade.

5.1.2. Disposição do material gradeado



A quantidade de material retido é função do espaçamento entre barras. O material removido deve ser enviado para aterro sanitário. O material gradeado freqüentemente é acondicionado em containers, facilitando a remoção para um aterro sanitário. A escolha da abertura entre barras (espaçamento): definida em função das unidades posteriores do tratamento podendo ser empregadas grades grosseiras seguidas de grades médias ou finas (decisão do projetista). O número de unidades de gradeamento normalmente encontrada numa ETA é duas unidades, permanecendo uma de reserva.

Figura 27. Desenho esquemático de uma grade mecanizada.

A limpeza do sistema de gradeamento pode ser manual ou automática e, é realizada utilizando-se ancinhos. O acionamento automático dos ancinhos pode ser controlado por *timer* ou pelo diferencial de perda de carga.

A velocidade mínima recomendada de chegada na grade é de 0,4 m/s, desta forma evita-se a deposição de sólidos, e a velocidade máxima recomendada é de 0,9 m/s, visando evitar o arraste do material gradeado durante as vazões de pico. A perda de carga máxima entre as barras não deve ser superior a 150 mm (0,15 m).

5.2. Mistura

A etapa de mistura é a fase crucial do tratamento de água, dessa fase depende muitas vezes o sucesso de todo o restante do tratamento. Nela é adicionado o produto químico responsável pela desestabilização e posterior aglutinação das substâncias e/ou partículas que desejamos remover da água. Estas podem estar sob a forma de suspensões coloidais provenientes da erosão dos solos ou da decomposição de vegetais. No primeiro caso fazem surgir a turbidez e no segundo a cor real.

VOCÊ NÃO DEVE ESQUECER A DIFERENÇA ENTRE COR E TURBIDEZ!

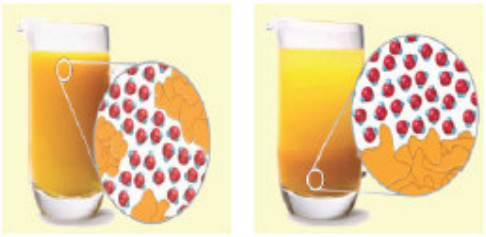
A COR de uma amostra de água está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la (e esta redução dá-se por absorção de parte da radiação eletromagnética), devido à presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal orgânico e inorgânico. Dentre os colóides orgânicos pode-se mencionar os ácidos húmico e fúlvico, substâncias naturais resultantes da decomposição parcial de compostos orgânicos presentes em folhas, dentre outros substratos.	**A TURBIDEZ** de uma amostra de água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la (e esta redução se dá por absorção e espalhamento, uma vez que as partículas que provocam turbidez nas águas são maiores que o comprimento de onda da luz branca), devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e de detritos orgânicos, algas e bactérias, plâncton em geral, etc.

VOCÊ SABE O QUE SÃO COLÓIDES?

Vejamos:

As misturas de substâncias não nascem todas iguais. Por exemplo, quando dissolvemos açúcar no chá, o açúcar já não se separa espontaneamente do chá, nem mesmo usando filtros extremamente finos ou centrifugas extremamente potentes. As estas misturas chamamos soluções.

Por outro lado, o sumo de laranja recém espremido é também uma mistura aparentemente homogênea. Porém, se esperarmos um pouco, a polpa da laranja deposita-se no fundo do copo sob a ação da gravidade. A estas misturas chamamos **suspensões**.



Existe ainda um terceiro tipo de misturas, onde as substâncias não se separam sob a ação da gravidade, mas onde é possível separá-las usando filtros extremamente finos ou centrífugas extremamente potentes. O leite é uma dessas misturas. A este tipo de misturas chamamos colóides.

5.2.1. Tipos de Misturadores

O agente físico para a realização tanto da coagulação como da floculação é a agitação mais, ou menos intensa da água, através da operação de mistura com a denominação de:

MISTUTA RÁPIDA: associada a etapa de coagulação
MISTURA LENTA: associada a etapa de floculação

A dispersão do agente coagulante deve ocorrer de forma imediata e homogênea, constituindo-se em um dos mais sérios problemas no tratamento de água, tendo em vista as pequenas dosagens de coagulantes. A eficiência da coagulação e, portanto,das fases subseqüentes do tratamento, está relacionada com a formação dos primeiros complexos de cátions metálicos hidrolisados, cuja composição depende das condições da água no momento e no ponto em que entram em contato.

5.2.1.1. Misturadores Hidráulicos

Os misturadores hidráulicos mais utilizados no Brasil são a Calha Parshall e a queda d' água originária de vertedouros. Outro tipo também usado no Brasil com menor freqüência é a malha difusora. As primeiras estações de tratamento de água não dispunham de dispositivos especiais para mistura rápida do coagulante à água. Os primeiros dispositivos foram hidráulicos, isto é, utilizavam a energia hidráulica para a dispersão através do ressalto hidráulico, fenômeno que ocorre quando a corrente líquida passa do regime rápido de escoamento para o regime lento acompanhado de agitação e de grande perda de energia. Normalmente este fenômeno é produzido através de uma das seguintes variações:

- canais retangulares (por mudança brusca de declividade);
- calhas Parshall;
- vertedores (provocados pela queda livre).

Dentre estes dispositivos, é o vertedor ou calha Parshall (Figura 28) o que encontra maior aplicação nas ETAs, por aliar a função de medição de vazão afluente à adequada dispersão do coagulante. Um único ponto de aplicação do agente coagulante, numa dada seção de um canal ou canalização, conduz a resultados bastante ineficientes. Como o sulfato de alumínio em contato com a água se hidroliza e polimeriza em frações de segundo, a eficiência das fases posteriores do tratamento fica prejudicada. Os difusores permitem uma melhor distribuição do coagulante na massa líquida.

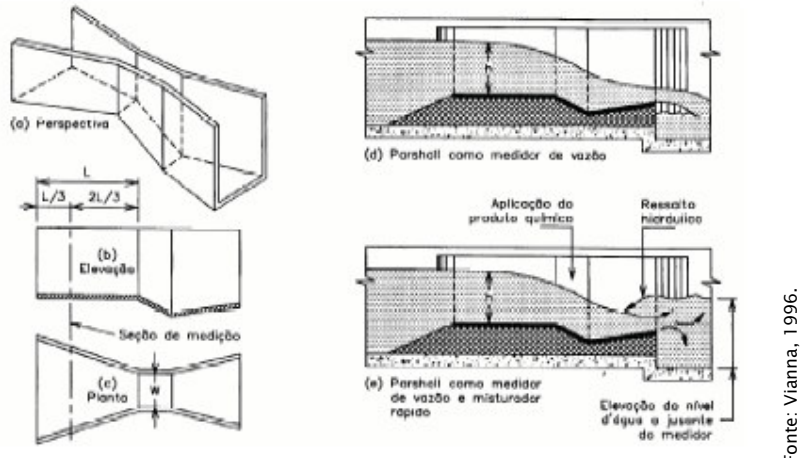
Medidor Parshall

O medidor Parshall alia a função de medidor de vazão à de misturador rápido, quando convenientemente utilizado. Hidraulicamente é definido como um medidor de vazão de regime crítico. A largura da garganta W (ver Figura 29) do medidor é a grandeza que o define.

Para que se utilize o medidor Parshall como misturador hidráulico para promover a mistura rápida basta aplicar o floculante na garganta do medidor. Isto porque, sendo esse local de seção mais estreita, e sendo aí a lâmina d'água bastante pequena, é possível fazer com que o floculante aplicado nesse local se disperse em praticamente todo o volume de água que o atravessa.

Figura 28. Aplicação de coagulante em calha Parshall.

É importante assegurar a formação do ressalto hidráulico imediatamente à jusante da garganta de preferência no interior do trecho divergente do Parshall. Isto porque, no interior do ressalto hidráulico, ocorre grande dissipação de energia num tempo muito curto, assegurando as condições ideais de mistura rápida.



Fonte: Vianna, 1996.

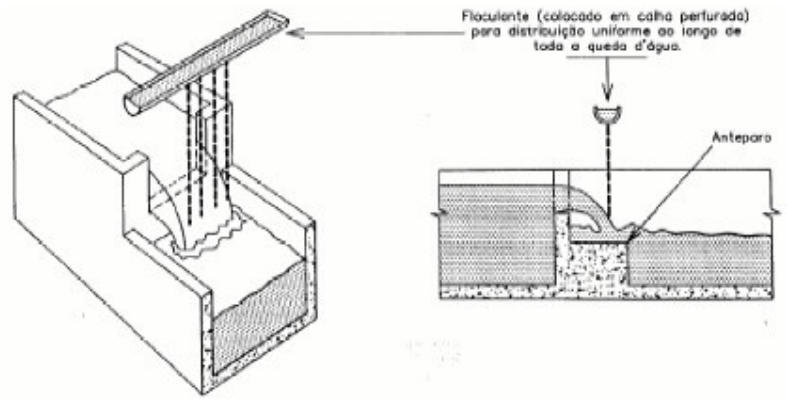
Figura 29. Medidor Parshall.

Vertedouro Retangular

Caso exista em uma ETA um vertedouro (Figura 30) para medir a vazão afluente, será possível aproveitar as queda d'água para efetuar a mistura rápida. Para tanto se deve distribuir do modo mais uniforme possível, o floculante ao longo da queda d'água. Utiliza-se uma calha perfurada, assegurando-se que todos seus orifícios estarão sempre desobstruídos. O ideal é que a lâmina d'água vertente caia sobre um anteparo.

Nestas condições a energia resultante dessa queda propiciará a máxima energia, possibilitando excelentes condições de mistura rápida.

O agente físico para a realização tanto da coagulação quanto da floculação é a agitação mais ou menos intensa da água, através da operação de *mistura rápida*, quando aplicada à coagulação e *mistura lenta* quando aplicada à floculação.

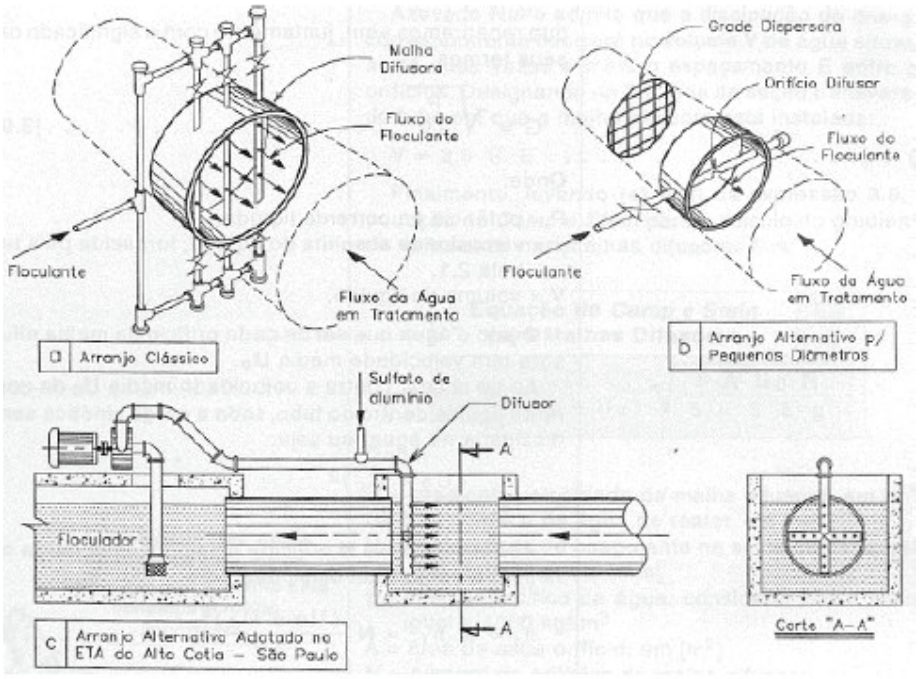


Fonte: Vianna, 1996.

Figura 30. Aplicação de coagulante/floculante em vertedouro retangular.

Malhas Difusoras

São dispositivos destinados exclusivamente à mistura rápida. Ao contrário dos medidores Parshall e vertedouros, eles não desempenham simultaneamente o papel de misturadores e medidores de vazão. Do ponto de vista de laboratório, as malhas difusoras (Figura 31) talvez sejam os misturadores rápidos mais eficientes. Entretanto do ponto de vista prático ainda deixam a desejar, pois são caras e de difícil manutenção.



Fonte: Vianna, 1996.

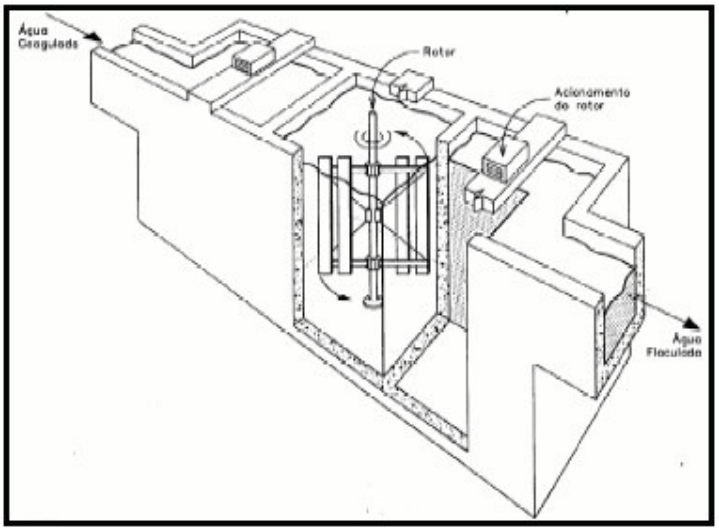
Figura 31. Malha Difusora de coagulante/floculante.

Misturadores Rápidos Mecânicos.

Os tipos mais comuns de rotores são as pás, hélices e turbinas, sendo estes últimos os mais adequados, quando instalados em tanques de seção quadrada. A potência aplicada à água pelas turbinas depende do volume e forma da câmara de mistura, da velocidade de rotação, da geometria do impulsor, e o fluxo poderá ser axial (movem o líquido paralelamente ao eixo do agitador) ou radial (movem o líquido perpendicularmente ao eixo).

Floculador Mecanizado de Paletas de Eixo Vertical

Neste tipo de floculador (Figura 32) a água coagulada é introduzida numa série de câmaras. No exemplo a baixo, elas são em número de 3. Na primeira delas, o grau de agitação (e portanto o gradiente de velocidade) é mais intenso que na segunda. Por sua vez o grau de agitação na segunda câmara é mais intenso que na terceira. O gradiente de velocidade depende da rotação do eixo e das características da paleta: altura, espessura e espaçamento, entre outras. Os eixos são movimentados por conjuntos motor-redutor, instalados sobre as passarelas do floculador.

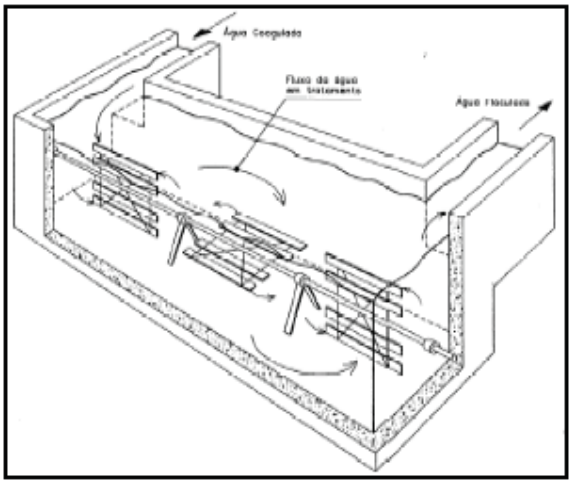


Fonte: Vianna, 1996.

Figura 32. Floculador mecanizado de paletas de eixo vertical.

Floculador Mecanizado de Paletas de Eixo Horizontal

Neste floculador a água coagulada é introduzida numa série de câmaras. No exemplo da figura apenas uma câmara dessas séries é representada. Em cada uma delas o gradiente de velocidade é mais intenso que na seguinte e menos intenso que na anterior. O gradiente de velocidade depende da velocidade de rotação do eixo e das características da paleta: altura, espessura e espaçamento, entre outras.



Fonte: Vianna, 1996.

Figura 33. Floculador mecanizado de paletas de eixo horizontal.

Gradiente de Velocidade: é o grau de agitação decorrente da variação de velocidade de escoamento, segundo uma direção perpendicular à direção do fluxo.

Os eixos são movimentados por conjuntos motor-redutor, instalados sobre as passarelas do floculador. Essa necessidade tem sido apontada por alguns como a principal desvantagem dos floculadores de eixo horizontal. Como pode ser observado na figura em dado local o eixo atravessa a estrutura. É portanto, necessário instalar aí uma gaxeta, ou dispositivo semelhante, que impeça o vazamento de água através desse local.

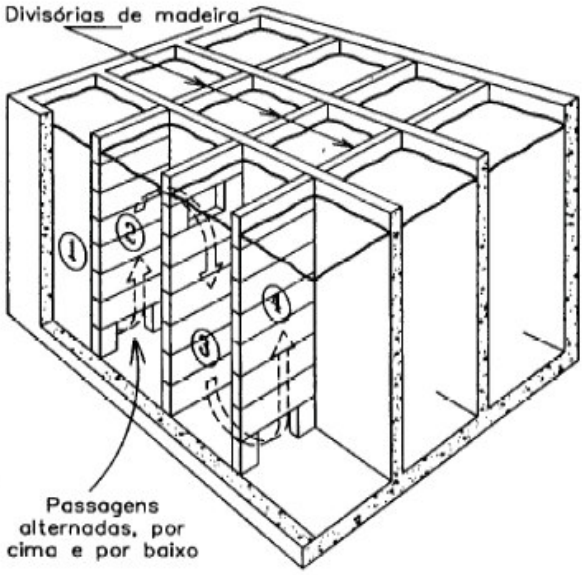
Floculador Hidráulico de Chicanas

Existem diversas formas através das quais podemos construir floculadores hidráulicos. Os floculadores hidráulicos mais comuns entre nós são do tipo Alabama e Cox. Estes floculadores podem ser de dois tipos: de chicanas verticais e de chicanas horizontais.

Floculador Hidráulico de Chicanas Verticais

No primeiro tipo, o de chicanas verticais (Figura 34), representado a seguir, a água percorre o floculador em movimentos sucessivamente ascendentes e descendentes. A água originária da câmara 1 passa para a câmara 2 através de uma passagem situada no fundo. Em seguida a água passa para a câmara 3 através de uma passagem superior, e assim sucessivamente.

Para evitar que os flocos se depositem no interior das câmaras de floculação a medida que vão sendo formados, os floculadores de chicanas verticais são projetados para que a velocidade média nesses locais não seja inferior a 10 cm/s.



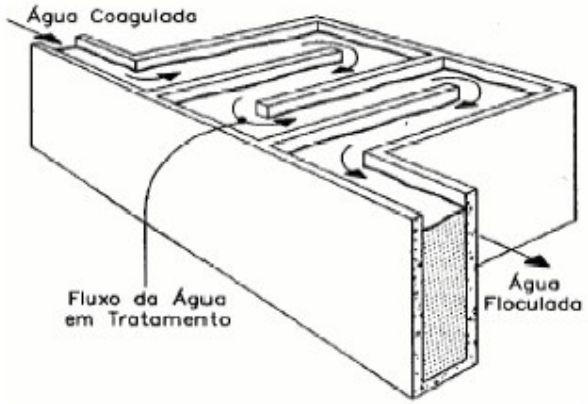
Fonte: Vianna, 1996.

Figura 34. Floculador Hidráulico de Chicanas Verticais.

Floculador Hidráulico de Chicanas Horizontais

No floculador de chicanas horizontais (Figuras 35) a agitação é assegurada pela passagem da água em tratamento por sucessivas mudanças horizontais de direção. Como no caso de chicanas verticais, é desejável que a velocidade média de escoamento da água em seu interior seja superior a 10 cm/s.

Para que essa condição seja atendida, de forma que os canais de floculação não resultem muito estreitos, costuma-se construir floculadores de chicanas horizontais somente para o tratamento de vazões elevadas.



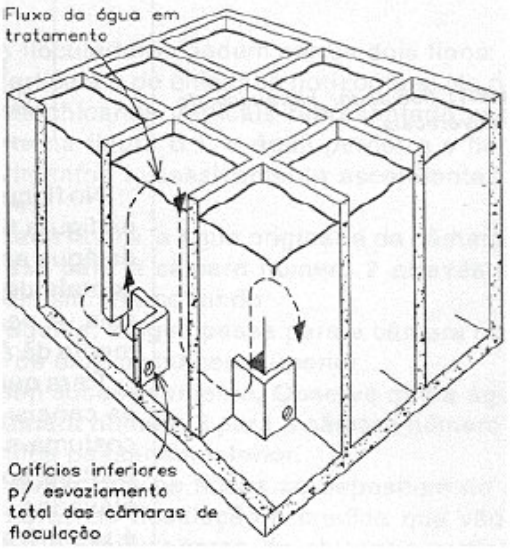
Fonte: Vianna, 1996.

Figura 35. Floculador Hidráulico de Chicanas Horizontais.

Floculadores do Tipo Alabama

Neste tipo de floculador as câmaras são sempre interligadas por baixo. A jusante de cada passagem de interligação é construído um anteparo, que tem por objetivo desviar para cima o fluxo da água em tratamento. Em seguida, o fluxo desce novamente, para atingir a passagem da interligação seguinte. Dentro de cada câmara de floculação os flocos em formação são lançados para cima, juntos com a água em tratamento, e em seguida descem com o fluxo da água em direção a passagem seguinte. Os flocos que estão subindo chocam-se com os que estão descendo e desses choques resulta a floculação.

No interior das câmaras dos floculadores Alabama (Figura 36) não há necessidade de se manter a velocidade média superior a 10 cm/s. Isto porque não há interesse em se arrastar os flocos para cima. Por esta razão os floculadores podem ter menos câmaras que os floculadores de chicanas verticais. Normalmente o número de câmaras dos floculadores Alabama é em torno de 20. São, por isto mais fáceis de operar, no que diz respeito a realização de limpezas e ajustes.

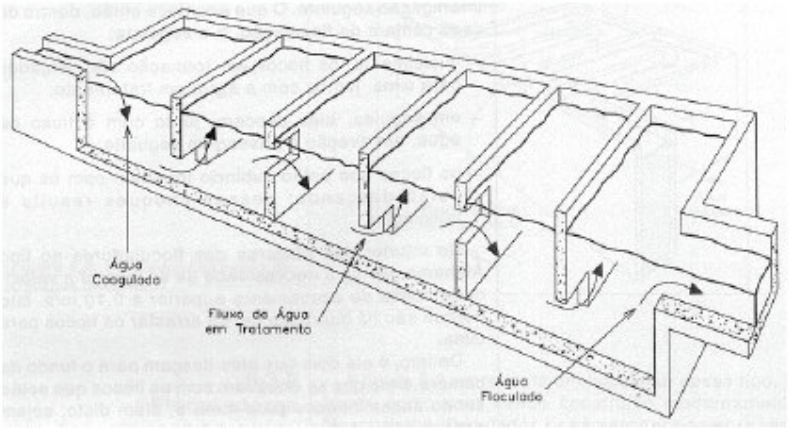


Fonte: Vianna, 1996.

Figura 36. Esquema de um floculador do tipo Alabama.

Floculadores Tipo Cox

Trata-se de um floculador com pequeno número de câmaras (normalmente em torno de 8), em que as interligações entre as câmaras alternam posições superiores e inferiores, conforme mostra a figura a seguir. Embora haja essa alternância, no que diz respeito ao posicionamento altimétrico todas elas são construídas alinhadas em planta.



Fonte: Vianna, 1996.

Figura 37. Esquema de um floculador Tipo Cox.

5.3. Coagulação/Floculação

5.3.1. Teoria da coagulação/floculação

Processo pelo qual as partículas se aglutinam em pequenas massas (flocos) com peso específico maior que o da água. É necessário distinguir dois aspectos fundamentais na coagulação-floculação da água:

COAGULAÇÃO: é a desestabilização das partículas suspensas, ou seja, a remoção das forças que as mantém separadas.

FLOCULAÇÃO: é o transporte destas partículas dentro do líquido para que tenham contato, geralmente estabelecendo pontes entre si e formando uma malha tridimensional de coágulos porosos.

Na floculação as partículas, já desestabilizadas, chocam-se umas com as outras para formar coágulos maiores, denominados flocos, que podem ser removidos por sedimentação, flotação ou filtração rápida. A ineficácia da floculação, intrinsecamente relacionada ao desempenho da coagulação, reduzirá a eficiência da sedimentação e o intervalo entre as lavagens das unidades de filtração, podendo tornar o processo de tratamento antieconômico.

O mecanismo de transporte será função das dimensões das partículas desestabilizadas e da progressiva formação e crescimento dos flocos. Tal transporte é resultado de dois mecanismos:

- **Floculação pericinética**: causada pelo movimento browniano, devido às diferenças de velocidade das linhas de corrente do fluido em escoamento;
- **Floculação ortocinética**: causada pela energia hidráulica ou mecânica introduzida no meio, e as distintas velocidades de sedimentação dos flocos.

Uma vez dispersados os coagulantes, temos que produzir uma lenta agitação na água para permitir o crescimento dos flocos. Este crescimento é induzido pelo contato entre as partículas maiores através da agitação da massa líquida. Deste modo, o gradiente de velocidade e o

tempo de detenção são essenciais para garantir a coesão dos pequenos flocos em partículas maiores, com peso específico superior ao da água, bem como evitar a pré-sedimentação ou a quebra de flocos.

Clarificação pode ser definida como sendo a remoção da matéria finamente dividida e em suspensão na água. É um processo que envolve, fundamentalmente, quatro etapas: coagulação, floculação, sedimentação e filtração. Os termos coagulação e floculação são freqüentemente combinados (coagulação-floculação), significando o processo integral de aglomeração de partículas.

Grande parte da matéria "suspensa" na água se encontra naturalmente no estado coloidal. Isto é particularmente verdadeiro para substâncias que causam cor e turbidez. Os colóides apresentam grande estabilidade em solução, dificultando a sua remoção através de processos de sedimentação e/ou filtração.

MOVIMENTO BROWNIANO

O movimento browniano (Figura 38) é o movimento aleatório de partículas macroscópicas num fluido como conseqüência dos choques das moléculas do fluido nas partículas. Também pode ser observado quando luz é incidida em lugares muito secos, onde macropartículas "flutuam" em movimentos aleatórios. (vulgarmente confunde-se com poeira).

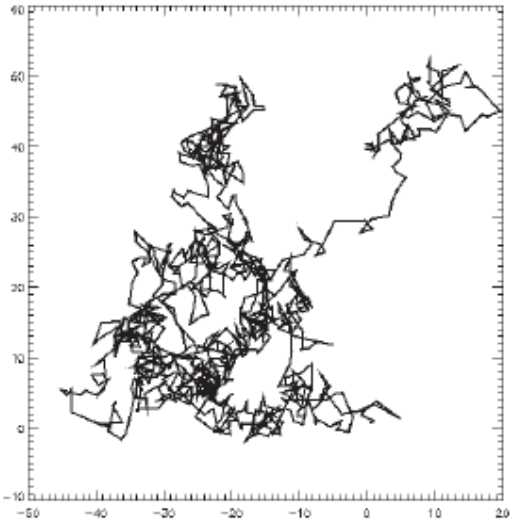


Figura 38. Trajetória do Movimento Browniano de uma partícula

O primeiro observar esse movimento, o biólogo Robert Brown, achou se tratar de uma nova forma de vida, pois ainda não se tinha completa ciência da existência de moléculas, e as partículas pareciam descrever movimentos por vontade própria. Nos colóides as partículas dispersas estão em movimento constante e errático devido às moléculas do fluido estarem constantemente a colidir contra elas. É por esta razão que as partículas dispersas não se depositam no fundo do recipiente sob a ação da gravidade.

Os colóides dispersos em águas cujo pH seja menor que 5 possuem carga positiva, portanto repelem-se entre si antes que possam colidir.

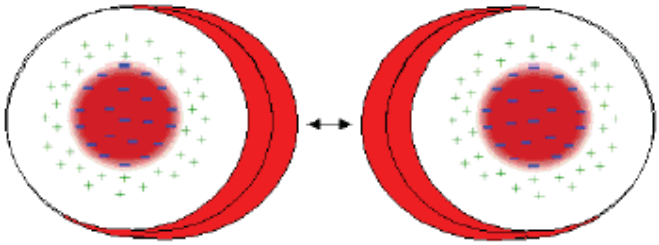


Figura 39. Repulsão entre partículas de cargas iguais.

Para que estas impurezas possam ser removidas, é necessário reduzir as forças repulsivas que as mantém separadas, agregando-as em um volume maior para posterior sedimentação. Isto é conseguido através da adição de um eletrólito carregado com cargas opostas as dos colóides, ou seja, negativamente. Tais partículas possuem tempos de sedimentação extremamente longos e de difícil sedimentação simples. A tabela 4 mostra o tempo necessário para sedimentação de diferentes materiais, em função do tamanho de suas partículas;

Tabela 4. Tempo de sedimentação das partículas em função do tamanho.

Diâmetro das partículas (mm)	*Tipo de partícula*	*Tempo para sedimentar um metro*
10	Cascalho	1 segundo
1	Areia	10 segundos
0,1	Areia fina	2 minutos
0,01	Argila	2 horas
0,001	Bactéria	8 dias
0,0001	Colóide	2 anos
0,00001	Colóide	20 anos
0,000001	Colóide	200 anos

Dentro do tratamento de água, o processo de coagulação-floculação tem por objetivos:

- Remoção de turbidez orgânica ou inorgânica que não sedimenta rapidamente;
- Remoção de cor verdadeira e aparente;
- Eliminação de bactérias, vírus e organismos patogênicos susceptíveis de serem separados por coagulação;
- Destruição de algas e plâncton em geral;
- Eliminação de substâncias produtoras de sabor e odor e de precipitados químicos;
- Remoção de fosfatos, os quais servem como nutrientes para o crescimento de algas.

A coagulação-floculação não promovida adequadamente pode acarretar os seguintes prejuízos ao tratamento de água:

- Consumo excessivo de produtos floculantes;
- Diminuição de rendimento da ETA devido a obstrução nos filtros ocasionada por flocos de baixa velocidade de sedimentação;
- Maior freqüência nas lavagens dos filtros, representando maior consumo de água e energia para esse fim;
- Aumento nas perdas de água na produção.

5.3.2. Principais Coagulantes/Floculantes

Tanto polímeros sintéticos como naturais (amidos em geral) têm sido usados como auxiliares de coagulação, floculação ou filtração. No primeiro caso têm-se os polímeros catiônicos, o que permite em muitas situações, reduzir consideravelmente a dosagem de coagulante primário quando este é um sal de alumínio ou de ferro.

Como auxiliar de floculação os polímeros são aplicados com o objetivo de aumentar a velocidade de sedimentação dos flocos, reduzir a ação de forças de cisalhamento nos flocos durante veiculação da água floculada e diminuir a dosagem de coagulante primário; também os polímeros, este caso, são usados para aumentar as forças atuantes nos flocos presentes no manto de lodo (em flotadores ou decantadores de manto de lodo).

No Brasil, devido às características de nossas águas e sólidos suspensos, somente os aniônicos e não iônicos encontram a sua melhor aplicação. A vantagem principal que os polieletrólitos oferecem é o tamanho avantajado de flocos, que proporcionam maior velocidade de sedimentação. Todos os polieletrólitos têm um limite máximo de dosagem após o qual, eles se tornam dispersantes e antieconômicos.

Por último como auxiliares de filtração, os polímeros reduzem a possibilidade de ocorrência do transpasse e concorrem para que sejam usadas taxas de filtração maiores que as tradicionais.

Polímeros Sintéticos Floculantes (Polieletrólitos)

Até a introdução dos materiais sintéticos, como coadjuvantes de floculação, chamados de polímeros polieletrólitos, a sílica ativada não possuía nenhum competidor sério em clarificação de água. Além de serem, nitidamente superiores estes produtos tem a vantagem de serem economicamente mais convincentes. Os polímeros sintéticos (Figura 40) podem ser agrupados em catiônicos, aniônicos, não iônicos e anfolíticos. A seguir são mostradas as estruturas químicas de alguns polímeros sintéticos.

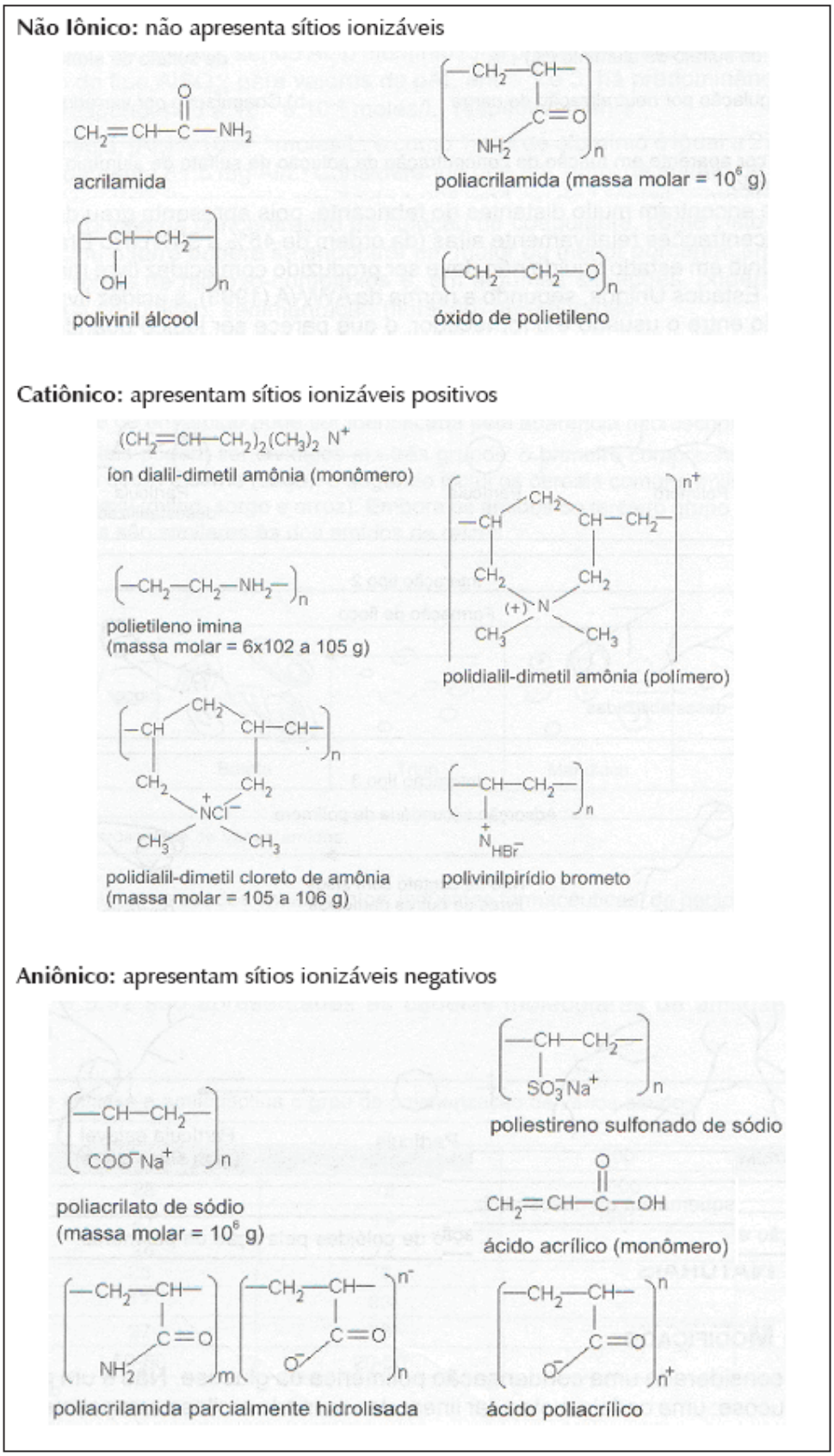


Figura 40. Estrutura químicas dos principais tipos de polímeros floculantes sintéticos.

Anfolítico: apresentam sítios ionizáveis negativos e positivos

Polímeros Naturais

O amido (Figura 41) pode ser considerado um polímero composto por monômeros de glicose. Entretanto as propriedades do amido natural podem não ser apropriadas para todas as aplicações, mas é possível modificá-las via modificações químicas, físicas e enzimáticas, processo conhecido como derivatização.

Modificação física: modificado fisicamente para melhorar a sua solubilidade em água e alterar o tamanho da partícula.

Modificações químicas: incluem o entrecruzamento de cadeias o que leva a um aumento da estabilidade molecular em relação ao cisalhamento mecânico, hidrólises ácidas e submissão a altas temperaturas.

Modificações enzimáticas: o polímero de amido é enzimaticamente modificado para produzir diferentes oligossacarídios (maltodextrina e ciclodextrina, por exemplo). Esta propriedade é importante fator para incrementar o uso do amido, pois pode intensificar a capacidade espessante, formação de gel, aderência, adesivo e formação de filme.

Os amidos catiônicos podem ser utilizados como coagulantes ou auxiliares de coagulação, floculação ou filtração.

Saiba mais: POLÍMEROS

Polímeros são grandes moléculas formadas por unidades básicas chamadas monômeros. O amido é um polímero natural, formado por monômeros de glicose.

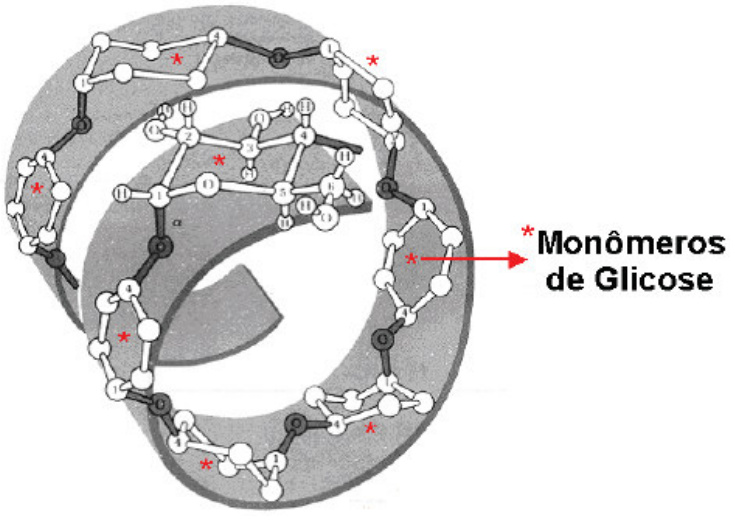


Figura 41. Estrutura quaternária de uma molécula de amido

5.3.3. Mecanismos de Desestabilização Química

A coagulação é um processo que começa no exato momento da adição do coagulante à água e dura frações de segundos. Basicamente, consiste de uma série de reações físicas e químicas, entre os coagulantes, a superfície das partículas, a alcalinidade da água e a própria água.

Quando o sulfato de alumínio é adicionado à água, as moléculas dissociam-se para produzir SO_4^{-2}, e vários complexos hidrolisados tais como $Al(OH)^{++}$, $Al(OH)_3$ e $Al(OH)_4^-$. Alguns dos produtos da hidrólise também se combinam para formar espécies poliméricas de longa cadeia e alta carga. As várias espécies positivas que são formadas podem combinar-se com os colóides carregados negativamente para neutralizar parte da carga das partículas coloidais, reduzindo as forças repulsivas a um valor onde é possível ocorrer a aglomeração das partículas.

Assim, pode-se dizer que a coagulação-floculação (Figuras 42 e 43) se desenvolve em cinco fases consecutivas, conforme pode ser observado na Figura 42:

1ª fase: hidrólise dos coagulantes e desestabilização das partículas existentes na suspensão;
2ª fase: precipitação e formação de compostos químicos que se polimerizam;
3ª fase: adsorção das cadeias poliméricas na superfície dos colóides;
4ª fase: adsorção mútua entre colóides;
5ª fase: ação de sedimentação e arraste (varredura).

É PROIBIDO ESQUECER !

A velocidade de sedimentação depende do peso das partículas coaguladas e floculadas.
Há dois aspectos fundamentais que devem ser distinguidos no processo:
A desestabilização das partículas suspensas, ou seja a remoção das forças que as mantém separadas está relacionado ao processo de coagulação. Transporte das partículas dentro do líquido que entram em contato mútuo, geralmente estabelecendo pontes entre si, formando uma malha de coágulos porosos, está relacionado ao processo de floculação.

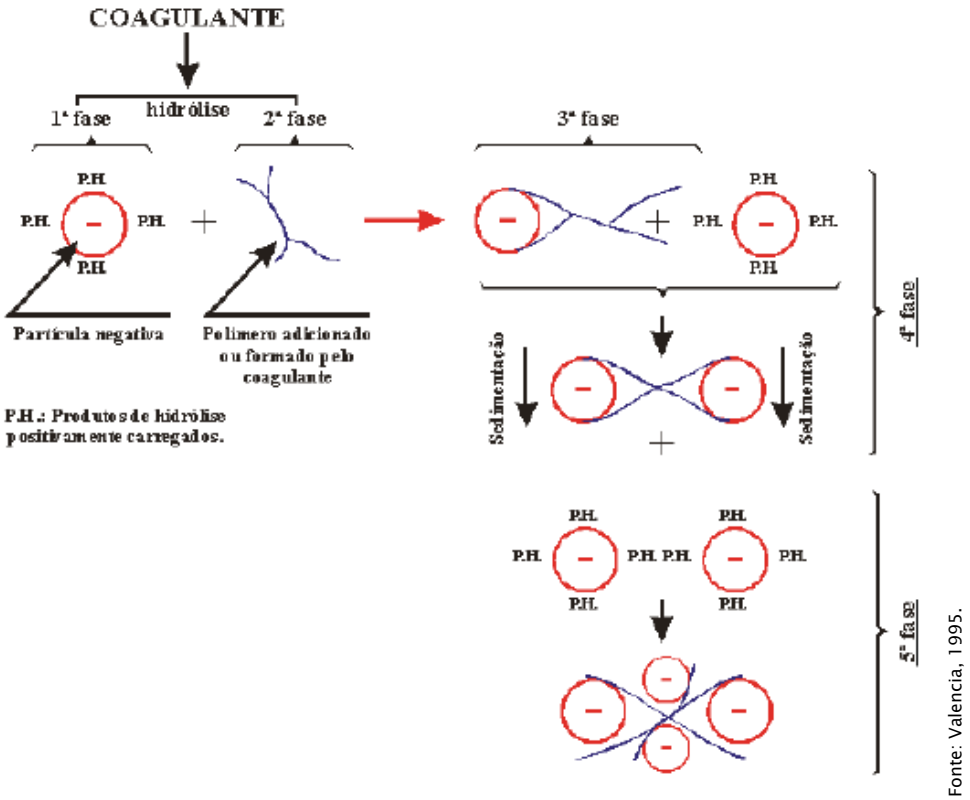


Figura 42. Esquema das 5 fases de coagulação/floculação.

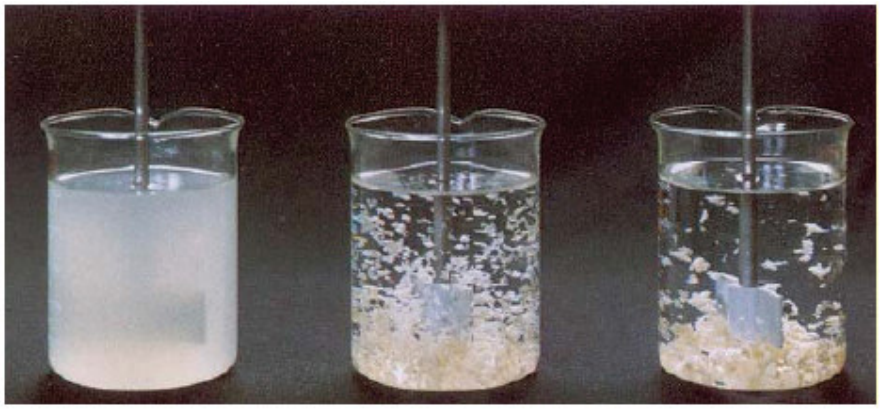


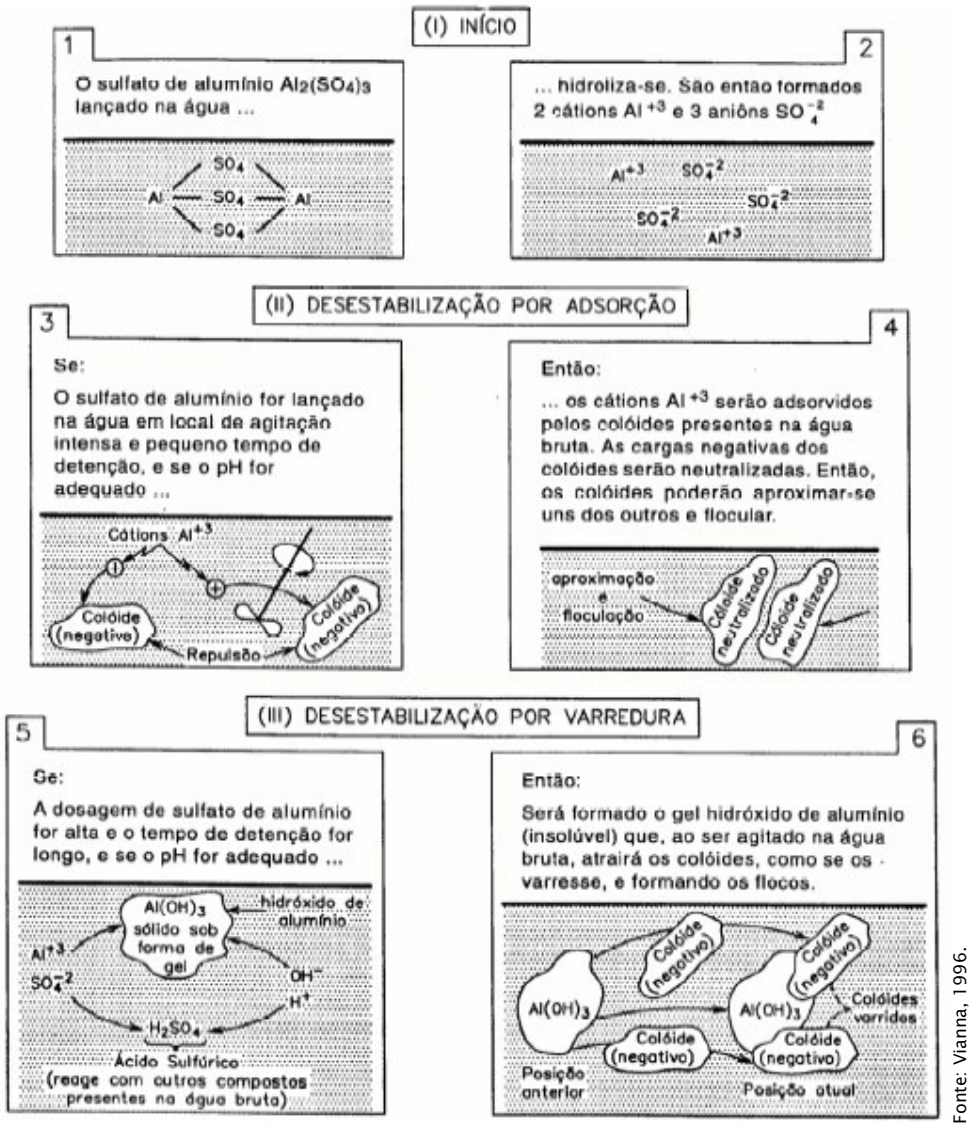
Figura 43. Processo de coagulação/floculação

Portanto, a coagulação é o resultado de dois fenômenos: o primeiro, essencialmente químico, consiste nas reações do coagulante com a água e na formação de espécies hidrolisadas com carga positiva e depende da concentração do metal e pH final da mistura; o segundo, fundamentalmente físico, consiste no transporte das espécies hidrolisadas para que haja contato com as impurezas presentes na água. As reações fundamentais envolvidas na química da coagulação são as seguintes:

Reações com a alcalinidade: O sulfato de alumínio, quando em solução, encontra-se hidrolizado, conforme a seguinte reação:

$$Al_2(SO_4)_3 + 6H_2O \rightarrow [Al(H_2O)_6]^{+++} + 3(SO_4)^{2-}$$

A figura 44 apresenta um resumo esquemático da desestabilização de suspensões coloidais através da adição de sulfato de alumínio a água.



Fonte: Vianna, 1996.

Figura 44. Desestabilização, pela ação do Sulfato de Alumínio, das partículas coloidais presentes na água bruta.

5.3.3.1. Produtos químicos empregados.

Coagulantes primários (sais metálicos).

A precipitação de um colóide é efetuada através da adição de um eletrólito à água que tenha uma carga (íon) oposta em sinal a das partículas coloidais e o efeito será tanto melhor, quanto maior o número de cargas do eletrólito. Um íon bivalente é de 30 a 60 vezes mais efetivo que um monovalente, e um trivalente de 10 a 100 vezes mais efetivo que um bivalente.

O sulfato de alumínio, por ser um eletrólito trivalente, é o agente coagulante mais empregado no tratamento de água. Entretanto, outros sais também são utilizados, tais como o cloreto férrico, sulfato ferroso, sulfato ferroso clorado, sulfato férrico e, mais recentemente, o cloreto de polialumínio (PAC).

O custo, a disponibilidade e o tipo de água são fatores decisivos na escolha do coagulante mais adequado.

Por exemplo:

- O sulfato de alumínio é fácil de transportar e manejar, seu custo é baixo e é produzido em várias regiões brasileiras;
- O cloreto férrico produz bons flocos em amplo intervalo de pH;
- O sulfato ferroso é muito útil para tratar águas que apresentem pH elevado;
- O sulfato férrico é conveniente para o tratamento de águas altamente coloridas ou ácidas.

Para que um produto seja empregado como agente coagulante, é evidentemente necessário que sua aplicação não cause problemas à saúde dos consumidores da água tratada.

O sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3.18H_2O$) é um pó de cor marfim, obtido a partir do ataque de ácido sulfúrico à bauxita. Atualmente, é fornecido às estações de tratamento de água na forma líquida, em soluções concentradas a 50%.

Os íons de alumínio hidratado atuam como um ácido e reagem com as bases que se encontram na água, diminuindo seu pH de tal modo que podem prejudicar ou mesmo impedir o processo de coagulação, a menos que estes íons sejam removidos a medida que sejam formados.

A alcalinidade atua, portanto, como uma solução atenuante (tampão) da queda brusca do pH. Pode-se estimar uma relação de 2:1 entre a adição de sulfato de alumínio e a alcalinidade consumida no processo. O pH ótimo para a coagulação na remoção dos colóides negativos varia com a natureza da água, usualmente situa-se entre 5,0 a 6,5.

Coagulantes secundários (polímeros sintéticos ou naturais)

São produtos utilizados nas estações de tratamento com a finalidade de ajustar as propriedades da água a valores que conduzam a uma eficiente coagulação. Também são empregados nas ETAs que operam acima da capacidade nominal ou nas unidades de decantação acelerada, que prescindem de floculadores.

O termo polieletrólito indica a presença de cargas elétricas na molécula orgânica. Polieletrólito catiônico é aquele cuja carga elétrica é positiva e aniônico aquele que a carga elétrica é negativa. Outro grupo de polímeros é os não iônicos (sem carga), que agem no processo acelerando a formação do floco e aumentando o seu peso. Já os polímeros com cargas elétricas interferem no processo de coagulação e dependendo do caráter catiônico ou aniônico podem complementar a ação do coagulante primário, reduzindo sua dosagem ou até mesmo

substituindo-o, bem como promovendo a floculação de organismos vivos tais como algas e bactérias.

Tanto os polímeros sintéticos quanto os naturais (amidos em geral) têm sido usados como auxiliares de floculação, buscando aumentar a velocidade de sedimentação dos flocos, a resistência dos mesmos às forças de cisalhamento que podem ocorrer no transporte da água floculada e a diminuição da dosagem de coagulante primário. Além das vantagens descritas, obtém-se uma grande redução do volume de lodo nos decantadores, na medida em que os flocos formados são mais compactos.

5.3.4. Principais sistemas destinados à coagulação/floculação

A dispersão do agente coagulante deve ocorrer de forma imediata e homogênea, constituindo-se em um dos mais sérios problemas no tratamento de água, tendo em vista as pequenas dosagens de coagulantes. A eficiência da coagulação e, portanto, das fases subseqüentes do tratamento, está relacionada com a formação dos primeiros complexos de cátions metálicos hidrolisados, cuja composição depende das condições da água no momento e no ponto em que entram em contato.

O agente físico para a realização tanto da coagulação quanto da floculação é a agitação mais ou menos intensa da água, através da operação de *mistura rápida*, quando aplicada à coagulação e *mistura lenta* quando aplicada à floculação. As dimensões e a densidade dos flocos formados são fortemente influenciadas pelas colisões decorrentes das diferentes velocidades geradas no escoamento hidráulico.

A este grau de agitação decorrente da variação de velocidade de escoamento, segundo uma direção perpendicular à direção do fluxo, dá-se o nome de *gradiente de velocidade*.

Nas unidades de mistura rápida são necessários tempos de detenção extremamente baixos, da ordem de 1 a 5 segundos. Nas unidades de mistura lenta os tempos de detenção característicos ficam na faixa de 20 a 80 minutos.

5.3.4.1. Unidades hidráulicas de mistura rápida

As primeiras estações de tratamento de água não dispunham de dispositivos especiais para mistura rápida do coagulante à água. Os primeiros dispositivos foram hidráulicos, isto é, utilizavam a energia hidráulica para a dispersão através do ressalto hidráulico, fenômeno que ocorre quando a corrente líquida passa do regime rápido de escoamento para o regime lento acompanhado de agitação e de grande perda de energia. Normalmente este fenômeno é produzido através de uma das seguintes variações:

- Canais retangulares (por mudança brusca de declividade) (Figura 30);
- Calha Parshall (Figura 29);
- Vertedores (provocados pela queda livre) (Figura 30);
- Malhas difusoras (Figura 31).

Dentre estes dispositivos, é o vertedor ou calha Parshall é o que encontra maior aplicação nas ETAs, por aliar a função de medição de vazão afluente à adequada dispersão do coagulante.

5.3.4.2. Unidades mecânicas de mistura rápida

Os tipos mais comuns de rotores são as pás, hélices e turbinas, sendo estes últimos os mais adequados, quando instalados em tanques de seção quadrada. A potência aplicada à água pelas turbinas depende do volume e forma da câmara de mistura, da velocidade de rotação e da geometria do impulsor, e o fluxo poderá ser axial (movem o líquido paralelamente ao eixo do agitador) ou radial (movem o líquido perpendicularmente ao eixo) (Figura 33).

No floculador mecânico de paletas (Figura 32) a água coagulada é introduzida numa série de câmaras. No exemplo da figura 33, elas são em número de 3. Na primeira delas, o grau de agitação (e portanto o gradiente de velocidade) é mais intenso que na segunda. Por sua vez o grau de agitação na segunda câmara é mais intenso que na terceira.

O gradiente de velocidade depende da rotação do eixo e das características da paleta: altura, espessura e espaçamento, entre outras. Os eixos são movimentados por conjuntos motor-redutor, instalados sobre as passarelas do floculador.

No floculador mecanizado de paletas de eixo horizontal (Figura 33) a água coagulada é introduzida numa série de câmaras. No exemplo da figura apenas uma câmara dessas séries é representada. Em cada uma delas o gradiente de velocidade é mais intenso que na seguinte e menos intenso que na anterior. O gradiente de velocidade depende da velocidade de rotação do eixo e das características da paleta: altura, espessura e espaçamento, entre outras. Os eixos são movimentados por conjuntos motor-redutor, instalados sobre as passarelas do floculador.

Essa necessidade tem sido apontada por alguns como a principal desvantagem dos floculadores de eixo horizontal. Como pode ser observado na figura em dado local o eixo atravessa a estrutura. É portanto, necessário instalar aí uma gaxeta, ou dispositivo semelhante, que impeça o vazamento de água através desse local.

5.3.4.3. Considerações Normativas.

Segundo a Norma Brasileira NB592/89, a mistura rápida é a operação destinada a dispersar produtos químicos na água a ser tratada, em particular no processo de coagulação, e as condições ideais em termos de gradiente de velocidade, tempo de mistura e concentração da solução de coagulante devem ser preferencialmente determinadas através de ensaios de laboratório.

Quando estes ensaios não podem ser realizados, orienta-se a dispersão de coagulantes metálicos hidrolisáveis em gradientes de velocidades compreendidos entre 700 e 1100 s-1, em um tempo de detenção inferior a 5 s. Constituem dispositivos de mistura:

- Qualquer trecho ou seção de canal ou de canalização que produza perda de carga compatível com as condições desejadas, em termos de gradiente de velocidade e tempo de mistura;
- Difusores que produzam jatos da solução de coagulante, aplicados no interior da água a ser tratada;
- Agitadores mecanizados;
- Entrada de bombas centrífugas.
- Podem ser utilizados como dispositivo hidráulico de mistura:
- Qualquer singularidade onde ocorra turbulência intensa;
- Canal ou canalização com anteparos ou chicanas;
- Ressalto hidráulico;
- Qualquer outro trecho ou seção de canal ou canalização que atenda as faixas estipuladas de gradiente de velocidade e tempo de mistura.

No caso de agitadores mecanizados, o produto químico a ser disperso deve ser introduzido logo abaixo da turbina ou hélice do agitador.

5.3.4.4. Ensaio de floculação (Teste de jarros).

O teste de jarros é muito utilizado para o controle de operações de ETAs, sendo realizados rotineiramente por operadores de estações de tratamento. O teste serve para indicar as dosagens químicas ótimas para remoção de turbidez e cor, incluindo testes auxiliares tais com ajustes de pH, dosagens de polieletrólitos, etc.

O teste de jarros (Figura 45), além disso, produz grande quantidade de informação qualitativa, sobre a taxa de aglomeração como função de insumo de energia (velocidade da pá) a sedimentabilidade do floco formado, e a claridade da água sobrenadante (que poderá ser relacionada com o tempo subseqüente de passagem pelo filtro).

Experimentos de coagulação-floculação também podem ser usados juntamente com outros testes, para estudar processos básicos, como exemplo, a cinética de reação e a remoção de componentes – traço de solução aquosa.

Se a coagulação não é processada convenientemente, resultará nas seguintes deficiências:

- Consumo excessivo de produtos floculantes;
- Diminuição do rendimento da ETA devido a baixa remoção no decantador e obstrução dos leitos dos filtros;
- Aumento da freqüência de lavagem dos filtros.

Através do ensaio de floculação, condicionamos as seguintes variáveis:

- Espécie de coagulante que apresenta melhor resultado (sulfato de alumínio, cloreto férrico);
- Produtos auxiliares de floculação para obtenção de efeitos específicos (polieletrólitos);

- Concentração de floculantes, produtos auxiliares alcalinizantes e acidificantes;
- Turbidez e cor da água bruta e clarificada;
- pH;
- Alcalinidade ou acidez natural e adicionada;
- Substâncias orgânicas quimicamente redutoras (DQO);
- Temperatura;
- Tempos de contato, com produtos coagulantes e auxiliares, para a formação dos flocos;
- Seqüência de adição, de produtos coagulantes e auxiliares, que garanta a formação dos flocos;
- Tempo de decantação que assegure a eficiente remoção dos flocos;
- Gradiente de velocidade (potência de agitação) necessário para a formação dos flocos.

Durante o ensaio de floculação são reproduzidas em bancada as condições do processo de clarificação, tais como os tempos de contato de reação e de formação dos flocos, as características de intensidade de mistura rápida e de formação dos flocos, etc.

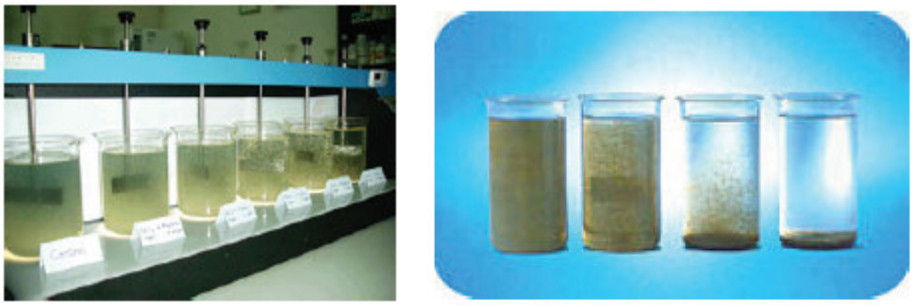


Figura 45. Equipamento para realização do Teste de Jarros.

A freqüência de execução do teste é determinada pela modificação qualitativa e quantitativa de uma ou mais variáveis citadas anteriormente. Alterações nas características da água bruta determinam a realização de novos ensaios para verificação das dosagens e do pH ótimo de floculação.

Este ensaio também é utilizado na obtenção de outras informações úteis, que podem auxiliar tanto no projeto de uma nova estação de tratamento como na avaliação ou revisão das estações existentes, otimizando o processo de clarificação.

Na função de determinar a melhor dosagem de coagulante, a chamada *dosagem ótima*, o teste de jarros simula em escala de bancada os processos de coagulação, floculação e decantação para amostras de água bruta de diferentes qualidades.

Os aparelhos para ensaio de floculação são dotados de três a seis cubas, de seção cilíndrica ou retangular, com volume de um a dois litros. Um mecanismo permite acionar mecânica ou magneticamente pás no interior de cada cuba, com variação de rotação da ordem de 100 RPM (rotações por minuto) à zero, permitindo simular os diferentes gradientes de velocidade ao longo do processo de clarificação.

Em síntese, adicionam-se quantidades crescentes do agente coagulante nas cubas, simultaneamente e sob agitação máxima. Após o tempo de mistura rápida, ajustar a velocidade angular ao correspondente gradiente de velocidade da estação, simulando a floculação. Passado o tempo de detenção previsto, desliga-se a agitação, mantendo-se as amostras em repouso pelo tempo correspondente a velocidade de sedimentação. Os aspectos qualitativos (formação, aspecto dos flocos e velocidade de sedimentação) e quantitativos (cor, turbidez) determinam a dosagem a ser adotada na escala real.

5.4. Sedimentação

5.4.1. Aplicação da sedimentação

O processo de consiste na utilização da ação da gravidade para separar partículas de densidade superior a da água, depositando-as em uma superfície ou zona de armazenamento. As partículas que não são removidas na sedimentação seja por seu pequeno tamanho ou por serem de densidade muito próxima a da água, deverão ser removidas na filtração.

Normalmente a água contém materiais finamente divididos, no estado coloidal ou em solução, que não podem ser removidos por sedimentação simples, sendo necessária a adição de coagulante para formar aglomerados ou flocos que sedimentam com facilidade. A sedimentação com coagulação prévia é um processo de clarificação usado na maioria das estações de tratamento, visando reduzir a carga de sólidos aplicada aos filtros.

As partículas relativamente grandes (diâmetro ou tamanho acima de 10mm) precipitam-se com um movimento acelerado, de acordo com a lei de Newton (queda dos corpos). Já as partículas relativamente pequenas (diâmetro inferior a 0,1mm), apresentam uma velocidade constante no seu movimento de deposição.

Tabela 5. Velocidade de sedimentação, a 20°C, de partículas com densidade de 2,65.

Partículas	Tamanho das partículas	Velocidade de sedimentação	Tempo necessário para cair 3,0 m
Areia	0,20 mm	2,4 cm/s	2 minutos
Areia fina	0,10 mm	0,9 cm/s	6 minutos
Silte	0,01 mm	0,01 cm/s	8 horas

A velocidade de escoamento deve ser tal que não arraste os flocos depositados, usualmente menores que 1,0 cm/s.

5.4.2. Teoria da sedimentação

A sedimentação de material suspenso, especialmente aquele constituído de partículas sólidas com velocidade de sedimentação relativamente alta, tem sido empregada no processamento de matérias-prima de muitas indústrias e particularmente no tratamento de águas para abastecimento. A teoria da sedimentação baseia-se no fato de que qualquer partícula não coloidal, suspensa em um meio líquido em repouso e de menor massa específica, será acelerada pela ação da gravidade até que as forças de resistência viscosa e de deformação do

líquido sejam iguais a resultante do peso efetivo da partícula. A partir deste momento sua velocidade descendente será constante, a qual é denominada velocidade terminal de sedimentação, ou simplesmente velocidade de sedimentação.

5.4.3. Sedimentação simples

5.4.3.1. Sedimentação de partículas discretas: a partícula discreta sedimenta individualmente, não mudando de tamanho, forma, densidade e velocidade de sedimentação
em sua descida. Acontecem normalmente em águas com baixa concentração de sólidos e com partículas do tipo areia, cinzas e semelhantes.

5.4.3.2. Sedimentação floculenta: entende-se por sedimentação de partículas aglomeráveis aquela em que os sólidos ao descerem no líquido se aderem entre si, aumentando o tamanho, o peso específico e a própria velocidade de sedimentação. Usualmente a velocidade cresce com o tempo de sedimentação e com a profundidade do tanque, sendo característica de partículas geradas em tratamento de água (floculação) e esgotos domésticos (precipitação química, lodos ativados) e industriais (curtumes, celulose e papel).

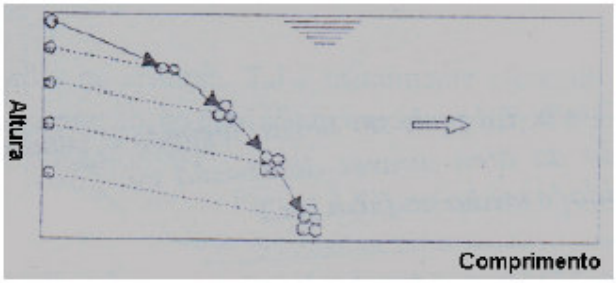


Figura 46. Diagrama da sedimentação floculenta.

5.4.3.3. Sedimentação por zona: a partícula sedimenta como um lençol único de partículas, com redução na velocidade de sedimentação. Normalmente ocorre em águas com concentração elevada de sólidos (maior que 500 mg/L), como no fundo dos decantadores.

A eficiência esperada de remoção das partículas em um processo de decantação no tratamento de água é de aproximadamente 80% para coliformes e entre 80 a 90% para turbidez.

5.4.4. Sedimentação com coagulação

A adição de certas substâncias químicas à água, forma-se um precipitado insolúvel gelatinoso, floculento o qual neutraliza e se combina com partículas carregadas e, em sua descida através da água, absorve e prende matéria em suspensão e coloidal, apressa a sedimentação e remove as partículas mais completamente e mais rapidamente que o faria a sedimentação simples.

As substâncias químicas usadas como coagulantes, quando adequadamente aplicadas são inofensivas ao usuário da água. As partículas removidas são as suspensas ou coloidais e são

compostas de argila e outros materiais inorgânicos, substâncias orgânicas, bactérias, vírus e até os responsáveis pela cor da água. São usados os seguintes reagentes:

a) Coagulantes

- Sulfato de alumínio
- Sulfato ferroso
- Hidróxido de Cálcio
- Aluminato de Sódio.

A sedimentação com coagulação não é comumente usada como um método completo de tratamento, mas como um preparo da água para a filtração e a distribuição do coagulante deve ser o mais homogênea possível.

b) Álcalis

- Hidróxido de Cálcio ou Cal (virgem ou hidratado)
- Carbonato de Sódio (barrilha).

Por razões de custo e facilidade de obtenção o sulfato de alumínio e a cal são os reagentes normalmente empregados nas estações de tratamento de água.

5.5. Sedimentação acelerada

5.5.1. Aspectos teóricos da decantação acelerada e do manto de lodos.

Antes de abordar o conceito de decantação acelerada ou dinâmica, vejamos o conceito de decantação estática, a qual corresponde ao processo convencional de decantação, onde a água coagulada-floculada entra em um tanque de relação comprimento/ largura elevada, através de uma extremidade, percorrendo o mesmo até a extremidade oposta.

Os processos acelerados ou dinâmicos são aqueles onde o fluxo de água situa-se na faixa de regime laminar, pela introdução de uma série de tubos de diferentes seções ou placas paralelas ao longo dos tanques de decantação, com inclinação adequada. Com este artifício, consegue-se obter taxas de aplicação da ordem de 4 a 10 vezes superiores às empregadas em decantadores convencionais, reduzindo-se a área necessária ao tratamento de iguais vazões.

Por sua vez, a passagem de água devidamente condicionada por agentes floculantes, como o sulfato de alumínio, através de uma camada de lodo originado no processo de decantação, aumenta de forma significativa a sedimentabilidade dos sólidos presentes. Este fato é explicado pela elevada concentração de partículas eletricamente equilibradas, já floculadas, que atenuam as forças de repulsão presentes nos materiais em suspensão e colóides da água bruta, responsáveis pela cor e turbidez da mesma.

O princípio do funcionamento do superpulsator consiste no emprego da decantação acelerada, em fluxo vertical ascendente através de um manto de lodo, tendo um sistema intermitente de pulsação que distribui a água, previamente condicionada, uniformemente ao longo do

decantador. O nome pulsator advém do mecanismo de suspensão do lodo utilizado, e o prefixo super da decantação acelerada, obtida pela introdução de placas paralelas inclinadas em 60° com a horizontal.

O sistema superpulsator consiste em uma unidade com manto de lodo de suspensão mecânica, do tipo pulsante ou de vácuo. Este sistema combina as vantagens da decantação por contato de sólidos e do fluxo laminar, possibilitando uma elevada concentração de sólidos no interior do reator, cerca de duas vezes superior ao de uma unidade pulsator. Esta grande concentração (10 a 50%, em volume) faz com que o sistema desempenhe o papel de um verdadeiro filtro de impurezas. A Figura 47 apresenta o esquema simplificado de uma unidade do tipo superpulsator, indicando os componentes básicos da mesma.

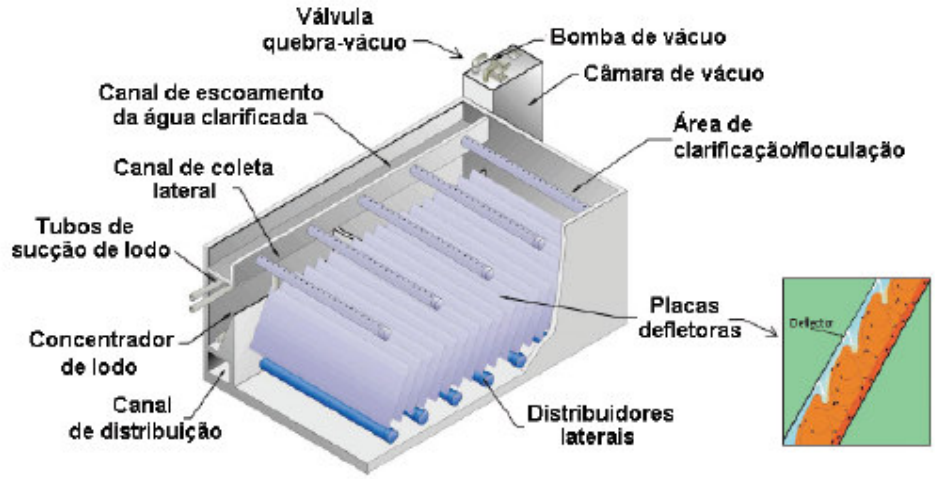


Figura 47. Desenho esquemático de um sistema Superpulsator.

5.5.2. Principais características do sistema superpulsator.

1) O processo de floculação e expansão do leito de lodos é comandado apenas pela energia hidráulica no interior do reator, ou seja, não existem mecanismos que possam promover a destruição dos flocos já formados;
2) A redução de sólidos em suspensão e colóides é significativamente maior neste sistema, se comparado ao convencional, graças a elevada concentração do manto de lodos e a adoção de placas que possibilitam um regime laminar de escoamento do líquido clarificado, com retenção das partículas mais leves;
3) As distribuições e captações de água bruta e decantada são realizadas em perfeita partição ao longo da superfície do decantador, praticamente inexistindo caminhos preferenciais;
4) A distribuição processa-se no sentido vertical ascendente, em filetes paralelos, garantindo a utilização plena do decantador, tanto em área quanto em altura;
5) Os concentradores de lodo são adaptados à turbidez da água, pois seus grandes volumes permitem a obtenção de elevadas concentrações (até 90% ou mais, em volume), reduzindo o volume de água descartada durante as extrações de lodo;

6) Não existe risco de enfraquecimento do colchão de lodo por inadequada regulagem da extração, uma vez que os concentradores são alimentados de modo intermitente pelo excesso de lodo do leito;
7) A altura do concentrador limita o tamanho do manto de lodos, garantindo uma coluna de líquido sobre o manto que restringe as perdas de sólidos leves por arraste, ocasionados por falha na operação do sistema;
8) Simplicidade de operação, traduzida pela ausência de modificações no sistema em trocas de vazão;
9) Baixa perda de água durante as extrações de lodo, atingindo no máximo a 5% da vazão total;
10) Ausência de equipamentos mecânicos e peças metálicas móveis em contato com a água, implicando em economia em pinturas anticorrosivas e manutenção mecânica.

5.5.3. Descrição do Funcionamento.

O decantador superpulsator é constituído por um tanque de concreto armado, de fundo plano, dotado na sua parte inferior de uma série de tubos perfurados, responsáveis pela distribuição uniforme da água bruta, já condicionada (sulfato de alumínio e polieletrólitos), em toda a área útil do decantador.

De forma semelhante, na superfície do mesmo existem calhas coletoras de concreto pré-moldado, dispostas de modo a coletar a água decantada uniformemente ao longo da superfície do decantador. Assim, promovemos a saída da água do interior do decantador em velocidades muito baixas, mesmo com elevadas taxas de aplicação.

As pulsações são obtidas através do emprego de equipamentos de aspiração do ar da câmara-pulmão, chamados extratores. Consistem em turbinas centrífugas acionadas eletricamente, e que continuamente aspiram o ar interno à câmara, elevando o nível de água interior através da redução da pressão interna (vácuo). Ao atingir-se o nível alto, determinado pela chave-bóia alta, automaticamente é acionado o atuador sobre a válvula quebra-vácuo, comunicando ar atmosférico à câmara-pulmão. A coluna de líquido elevada através do vácuo desce, então, até atingir a chave-bóia baixa, responsável pelo fechamento da válvula quebra-vácuo. Assim, inicia-se novamente o ciclo de pulsação.

Devido às pulsações, teremos também uma mistura íntima da água com os produtos químicos condicionantes (agentes e auxiliares de floculação), acelerando-se a formação dos flocos, que devem ser produzidos de modo mais rápido que no sistema convencional de decantação. Os flocos gerados serão integrados ao manto de lodo existente, o qual expande-se quando da pulsação, que tem por função básica a homogeneização desta camada de sólidos, evitando-se os caminhos preferenciais.

Tal camada tende a aumentar sua espessura naturalmente, pela introdução continuada de novos flocos. Para assegurar o tamanho ideal do manto de lodos, o decantador possui poços concentradores, os quais agem como zonas de baixa pressão no interior do decantador, coalescendo os flocos excedentes ao leito, aumentando a concentração dos mesmos visando o

expurgo do lodo, que ocorre de maneira automática, por sifonamento forçado, em intervalos programados de tempo.

O lodo dos concentradores é extraído automaticamente, por um sistema de sifonamento forçado. Quando o temporizador de pulsação encerra um ciclo, a válvula de interligação é acionada, fazendo com que o ar aspirado seja preferencialmente o contido na tubulação de extração de lodos, através da ligação existente no colo alto dos sifões. Como a outra extremidade do sifão possui um selo hidráulico, a redução da pressão interna provoca a entrada de líquido pelas extremidades que encontram-se nos poços de lodo (concentradores), de modo que ao atingir o colo alto, o sifonamento é obtido. Desta forma, consegue-se o descarte de lodo acumulado no interior dos concentradores, pelo tempo programado, quando a válvula de interligação é fechada, e abre-se a de quebra-vácuo da linha de lodos, causando a interrupção do sifonamento.

5.5.4. Principais tipos de decantadores.

Os principais tipos de decantadores utilizados no tratamento de água são: clássico ou convencional de fluxo horizontal; laminares (alta taxa) com tubos ou lâminas; manto de lodos de fluxo vertical.

Os decantadores convencionais são empregados até hoje em projetos de ETAs devido a simplicidade, boa eficiência na remoção de partículas e baixa sensibilidade a sobrecargas. Os decantadores de alta taxa (Figura 48) com fluxo laminar (lamelar) são utilizados para o aumento da produção de água em estações convencionais ou quando a área disponível inviabiliza a construção de decantadores clássicos.

Figura 48. Decantador de alta taxa.

Os decantadores do tipo manto de lodos são normalmente modelos patenteados no mercado para aplicações específicas, tais como uso industrial e ETAs compactas. O modelo Superpulsator (Figura 47) é um exemplo de sistema acelerado do tipo manto de lodos.

Os decantadores podem ser classificados em função do escoamento da água (horizontal ou vertical) ou de acordo com as condições de funcionamento:

5.5.4.1. Decantadores Clássicos

Após sair do floculador esperamos que praticamente toda a matéria em suspensão existente na água bruta esteja aglutinada entre si com o hidróxido de alumínio, constituindo o que denominamos de flocos.

Da mesma forma, esperamos que esses flocos tenham adquirido tamanho e peso suficientes para que possam ser separados da água em tratamento através da decantação. Nesse processo os flocos sedimentam-se no interior da água.

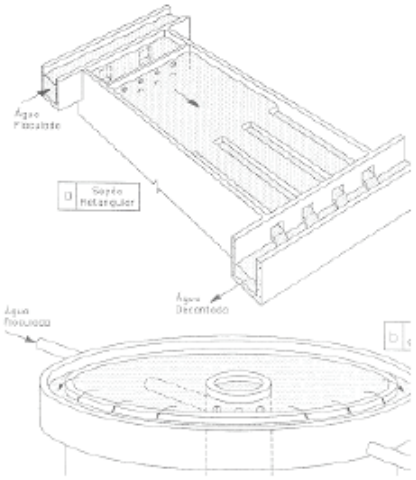
Nos decantadores de fluxo horizontal a água entra em uma extremidade, move-se na direção longitudinal e sai pela outra extremidade (Figura 49). O comprimento destas unidades é grande, em relação as demais dimensões. A velocidade do escoamento deve ser baixa para impedir o arraste de flocos. Possuem profundidades da ordem de 3 a 5 metros.

Nos decantadores de escoamento vertical a água entra pela parte inferior, seguindo em movimento ascendente até a superfície da unidade, as quais apresentam profundidades relativamente grandes. A velocidade ascendente deve ser limitada, de modo a evitar-se o arraste de partículas.

De modo geral dois tipos de decantadores são utilizados no Brasil. Para o tratamento de água: os decantadores clássicos e os decantadores tubulares.

Decantadores em geral são unidades capazes de dar ao efluente condições de tranqüilidade necessária a deposição dos sólidos orgânicos e inorgânicos e, sua posterior remoção. Atuam numa faixa de eficiência de 40 – 60% na remoção de sólidos.

As condições de decantação estão vinculadas a velocidade de sedimentação dentro do tanque, isto é taxa de escoamento superficial dividida pelo TRH (± 2h). O lodo de fundo não deve levantar pelo fluxo do líquido.



Fonte: Vianna, 1996.

Figura 49. Esquema de decantadores clássicos de escoamento horizontal.

LEMBRE-SE:
Os flocos separam-se da água porque sedimentam-se. A água isenta desses flocos é chamada de água decantada. Portanto o floco não decanta, mas sedimenta; quem decanta é a água!

5.5.4.1.1. Fatores de Desempenho

a) Taxa de Escoamento Superficial

O principal fator para o adequado desempenho dos decantadores clássicos é a taxa de escoamento superficial.

$$T_{ES} = \frac{Q}{As}$$

Se a TES for inferior à velocidade de sedimentação dos flocos que se deseja remover, então o decantador terá desempenho satisfatório. De acordo com a NB-592, a taxa limite de escoamento superficial depende da capacidade da ETA, conforme Tabela 6.

Tabela 6. Taxa limite de escoamento superficial e velocidade de sedimentação.

Capacidade da ETA Q [m³/dia]	Velocidade de Sedimentação Correspondente V_s [cm/min]	Taxa Limite de Aplicação Superficial T_{ES} [m³/(m².dia)]
Até 1000	1,74	25
De 1000 até 10000[a]	2,43	35
De 1000 até 10000[b]	1,74	25
Acima de 10000	2,8	40

(a) se o nível operacional for bom.
(b) Se o nível operacional não for bom.

SAIBA MAIS:
TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL (Q/A)
Os decantadores são dimensionados com base nas taxas de aplicação ou escoamento superficial, expressas em m^3 de água por m^2 de área superficial aplicada. A taxa de escoamento superficial é numericamente igual à velocidade crítica de sedimentação, ou seja, todas as partículas com velocidade de sedimentação igual ou superior a velocidade crítica de sedimentação serão integralmente removidas no decantador.

b) Velocidade de Escoamento Horizontal

Para assegurar o adequado desempenho do decantador, não é suficiente observar apenas a taxa de escoamento superficial. Deve-se também observar a velocidade de escoamento horizontal em seu interior, para evitar que sejam arrastados os flocos sedimentados.

A velocidade máxima de escoamento horizontal é dada pela fórmula abaixo:

$$U_{max} = 18.V_s$$

Vs = velocidade de sedimentação dos flocos, fornecida pela Tabela 3 anterior.

c) Comportas de Acesso

A distribuição eqüitativa da água floculada através das comportas de acesso para o interior do decantador depende muito de se haver feito um bom projeto da unidade a montante dessas comportas.

Se o projeto não tiver sido bem feito restará ao operador a tarefa de tentar regular a vazão através da regulagem do grau de abertura das comportas. Essa é sem dúvida uma tarefa difícil. Isto porque a regulagem da vazão terá que ser feita no "olhômetro". Além disso comportas muito estreitas poderão quebrar os flocos, comprometendo o funcionamento do decantador.

d) Gradiente de Velocidade nas Comportas de acesso

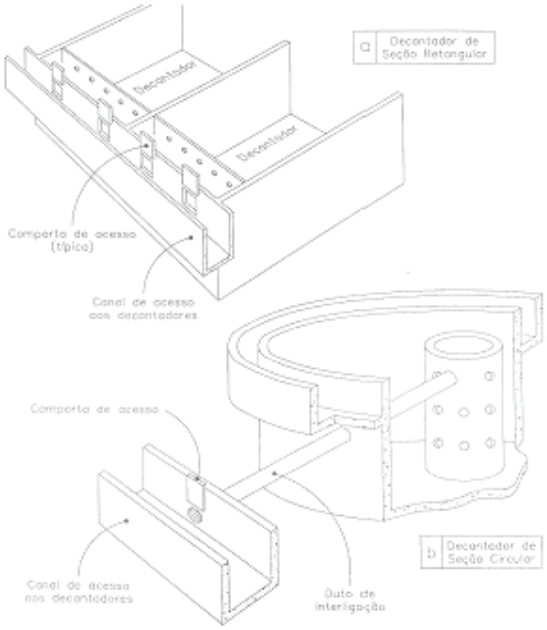
É importante verificar o gradiente de velocidade nessas comportas, o qual deverá ser inferior ao gradiente de velocidade correspondente a última câmara de floculação, para evitar que os flocos se quebrem ao passar por elas.

e) Equilíbrio das Vazões no Canal de Acesso

A melhor forma de assegurar a distribuição eqüitativa da água no interior dos canais de acesso aos decantadores clássicos (Figura 50) é fazer com que a velocidade ao longo deles se mantenha constante, e sempre superior a 0,10 m/s (para evitar a sedimentação dos flocos em seu interior), embora nunca superior a 0,45 m/s (de forma a evitar a quebra desses flocos).

Assim é que a seção do canal que alimenta as comportas deve ter seção decrescente de montante para jusante.

Nos decantadores circulares deve-se ter cuidado para assegurar que não haja existência de fluxos preferenciais na distribuição das vazões para cada uma dessas unidades.



Fonte: Vianna, 1996.

Figura 50. Esquema dos canais de acesso em decantadores clássicos.

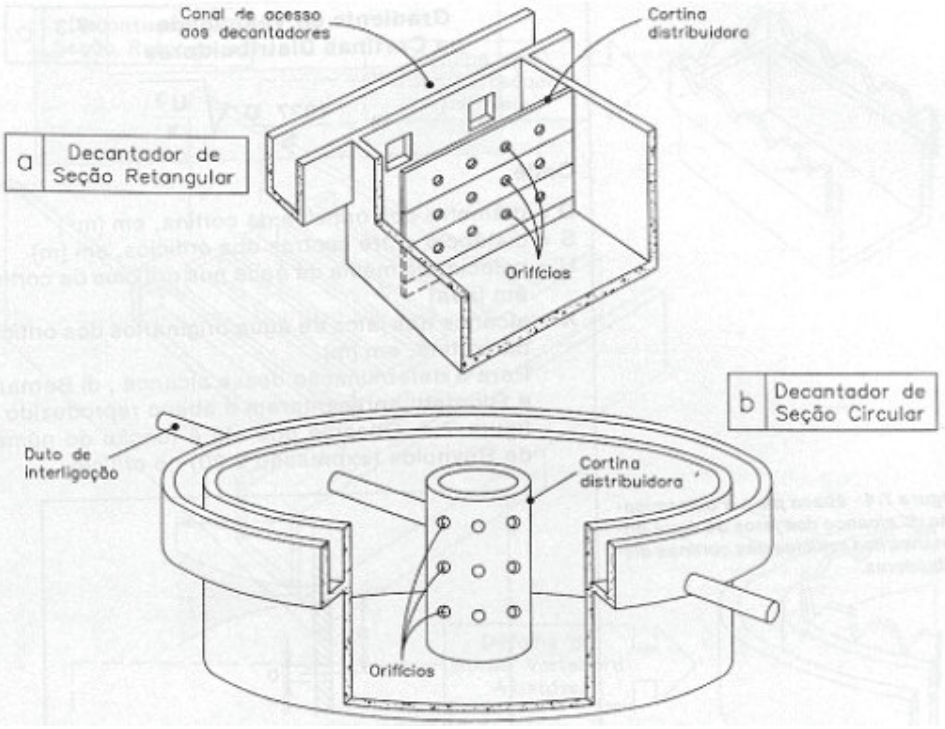
f) Cortina Distribuidora em Decantadores Clássicos

A eficiência de funcionamento de um decantador depende das condições em que a água entra e se distribui na unidade, devendo-se assegurar uma distribuição tão uniforme quanto possível.

Após entrar no decantador a água atravessa uma cortina perfurada, que tem por objetivo uniformizar o fluxo de água em tratamento. O que esperamos dessa cortina é que a vazão seja aproximadamente a mesma em todos os seus orifícios, de modo a evitar-se caminhos preferenciais que provoquem redução na eficiência da separação sólido-líquido. As velocidades de entrada são normalmente 10 vezes a do escoamento.

Cortinas bem projetadas permitem que obtenhamos esse efeito. Por outro lado cortinas mal projetadas poderão distribuir mal as vazões, ou a quebra do floco, caso a velocidade de passagem da água através dos orifícios seja muito alta. Por isso aumentar a vazão tratada pelos decantadores, é conveniente verificar o dimensionamento das cortinas, para ver se o diâmetro dos orifícios é compatível com a vazão que os atravessará.

As cortinas difusoras (Figura 51) poderão ser construídas de concreto ou de alvenaria.



Fonte: Vianna, 1996.

Figura 51. Esquema das cortinas difusoras em decantadores clássicos.

g) Calhas Coletoras de Água Decantada

A figura abaixo apresenta algumas concepções utilizadas para as calhas coletoras de água decantada. Quanto maior o comprimento de soleiras vertedouras no interior do decantador, menor será altura da lâmina d'água vertente sobre eles. Em conseqüência melhor será a qualidade da água decantada que será recolhida pelas calhas.

Na Figura 52 foram projetados vertedouros triangulares nas bordas reguláveis. Bordas desse tipo permitem obter excelente ajustagem da vazão ao longo das bordas vertedouras.

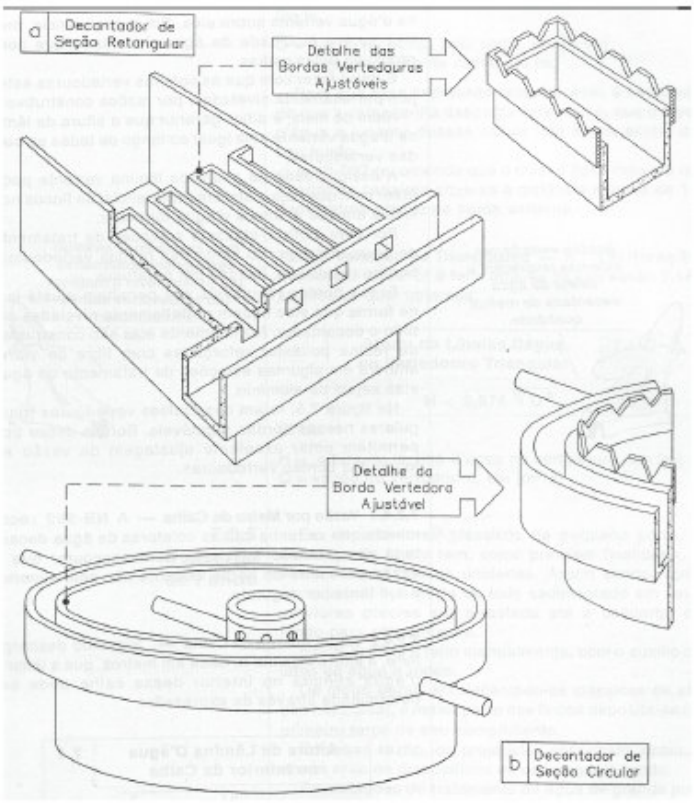


Figura 52. Esquema da calha coletora de água decantada nos decantadores clássicos.

h) Descarga de Fundo

A zona de lodos também deve ser considerada como um dispositivo de saída do decantador, e sua correta operação é essencial para manter a eficiência da unidade. Cada grama de sulfato de alumínio gera aproximadamente 100 a 300 mL de lodo não compactado, que deverá ser removido através da limpeza dos decantadores, de modo manual, mecanizado ou hidráulico.

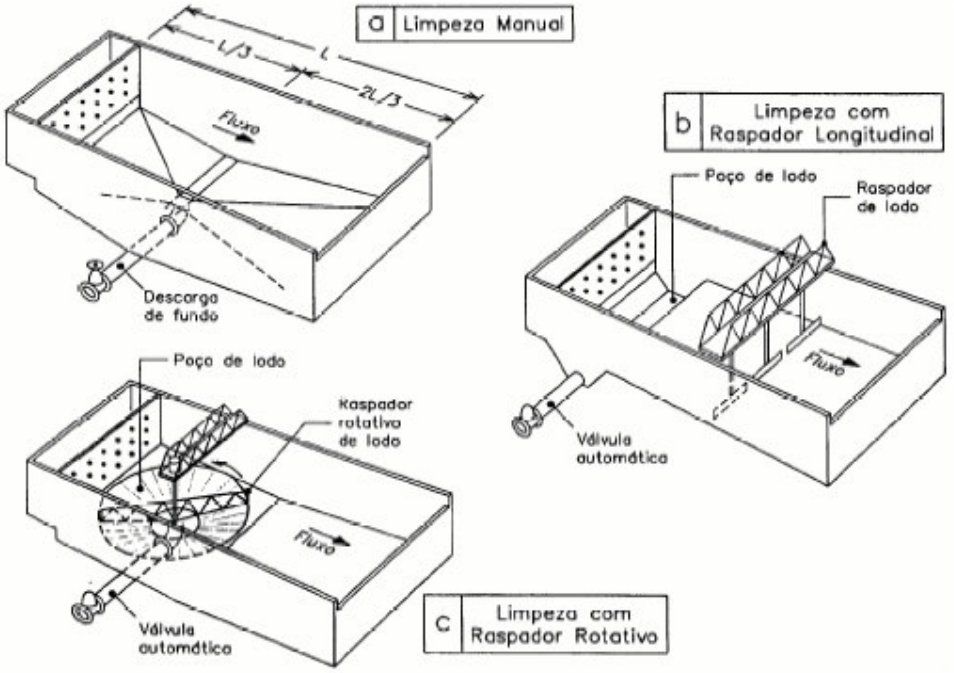
Os decantadores não mecanizados, de escoamento horizontal com limpeza manual, trabalham em regime de batelada por períodos entre 30 e 60 dias, quando são esvaziados para limpeza e lavagem.

Em decantadores clássicos de pequeno porte a descarga de fundo tem como principal finalidade, o esvaziamento dessas unidades. Desta forma boa parte do lodo sedimentado no interior do decantador precisa ser arrastado até a descarga de fundo para ser removido. Este arraste pode ser manual ou com auxílio de jatos de água e rodo.

De modo geral em decantadores clássicos de seção horizontal (Figura 49) a maior parte dos flocos deposita-se no primeiro terço do seu comprimento.

Em ETAs de grande porte podem ser utilizados raspadores de lodo do tipo de arraste longitudinal ou rotativos. Quando esses equipamentos são utilizados raramente é necessário

esvaziar completamente os decantadores. A figura 53 ilustra alguns exemplos de dispositivos de descarga de fundo utilizados em decantadores clássicos de seção retangular.



Fonte: Vianna, 1996.

Figura 53. Esquema da descarga de fundo em decantadores clássicos de seção retangular.

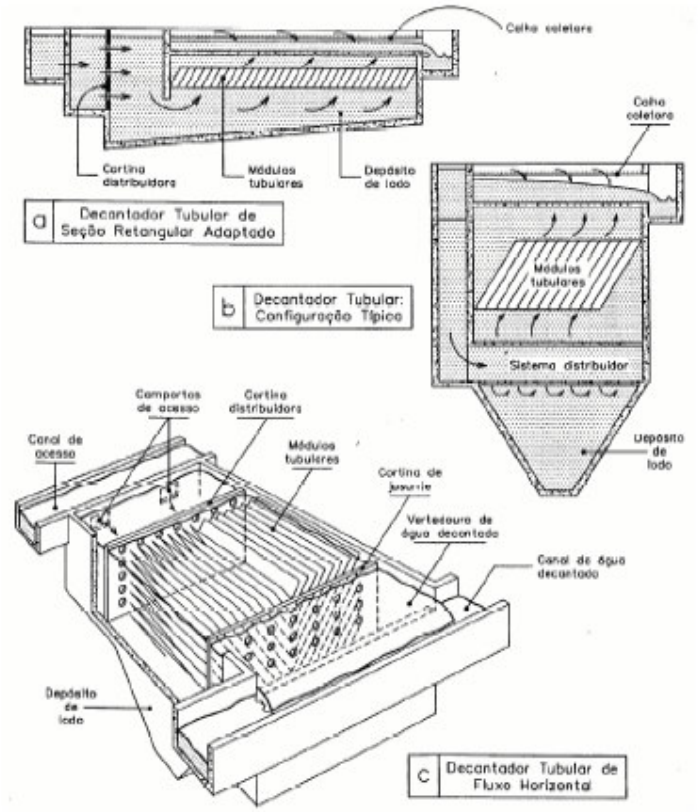
5.5.4.2. Decantadores Tubulares

A figura 54 representa em seção retangular um decantador tubular típico, do tipo placas paralelas inclinadas de 60 graus. Nele a água floculada é introduzida sobre as placas a uma velocidade pré-determinada, pela parte inferior das lamelas ascendendo, através destas, até a parte superior das lamelas. Ao escoar entre elas ocorre a sedimentação dos flocos. A água decantada sai pela parte de cima do decantador, após haver escoado entre as placas paralelas, e é coletada por calhas coletoras.

O fluxo de água através dos tubos lamelares deve manter-se totalmente ausente de turbulências visando facilitar a sedimentação das partículas sólidas. Além disso no percurso da água muitas partículas pequenas tendem a se agrupar formando partículas de peso e tamanho maiores, e portanto de fácil sedimentabilidade.

Em algumas situações, em que se faz necessário ampliar a capacidade de tratamento de ETAs, cujos decantadores são clássicos, e em que não há possibilidade de se construir novos decantadores desse tipo, eles podem ser convertidos para decantadores tubulares. Observe na figura a seguir que foram instalados módulos tubulares cobrindo grande parte da superfície do decantador clássico. Com isto, é possível, muitas vezes, dobrar a vazão tratada pelo decantador, ou até mais do que isto.

Na figura 54 ilustra-se uma nova tendência de se projetar decantadores tubulares. Nesse tipo de unidade o fluxo da água é horizontal. Módulos tubulares, instalados como placas paralelas entre si, inclinadas de 60 graus, são interpostas a passagem da água em tratamento. Entre elas ocorre a sedimentação dos flocos.



Fonte: Vianna, 1996.

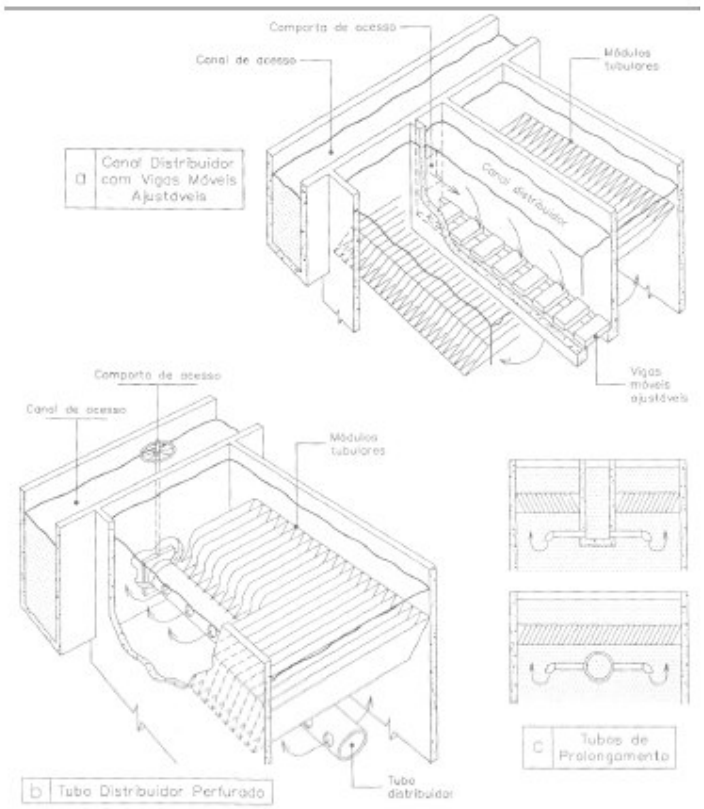
Figura 54. Esquema de diferentes tipos de decantadores tubulares.

a) Comportas de Acesso

As considerações deste item são idênticas àquelas apresentadas nos itens 5.4.5.1.1 (d), (e) e (f).

b) Sistema Distribuidor

Após entrar no decantador a água deve ser distribuída uniformemente sob os módulos tubulares. A figura 55 apresenta diferentes concepções que podem ser adotadas.



Fonte: Vianna, 1996.

Figura. 55. Exemplo dos sistemas distribuidores dos decantadores tubulares.

Nos decantadores tubulares a água floculada após passar pela comporta de acesso (alguns decantadores podem ter mais de uma comporta de aceso) é conduzida a um canal, de onde segue para região sob os módulos. A passagem da água floculada desde o canal até a região sob os módulos é feita através de uma seção na qual existem pequenas vigas soltas, que podem ser movimentadas livremente, umas em relação as outras. Com isto, e através do movimento dessas vigas, pode-se regular o fluxo de água, uniformizando-o ao longo de toda extensão da seção.

Desta forma, caso esteja saindo mais água no final da seção que em seu trecho inicial, pode-se aproximar mais, umas das outras, as vigas existentes no final da seção, deixando assim a seção inicial do canal com mais espaço para o escoamento da água floculada.

Na figura 55b a distribuição da água floculada é feita através de uma canalização perfurada (alguns decantadores podem ter mais de uma canalização perfurada). Neste caso não é possível ao operador efetuar qualquer tipo de ajuste.

A figura 55c ilustra o caso em que são utilizados tubos de prolongamento. Esses tubos tem por objetivo conduzir a água floculada até a região mais central sob os módulos. Consegue-se, desta forma, melhor distribuição da água floculada e, desse modo, melhor desempenho do decantador. Como pode ser visto, os tubos podem partir de um canal ou de um tubo distribuídos. Este sistema não permite ao operador efetuar qualquer tipo de ajuste.

O sistema distribuidor deve ser dimensionado de modo que o gradiente de velocidade em seu interior seja, no máximo, igual ao da última câmara de floculação, com o objetivo de evitar a quebra dos flocos previamente formados. A verificação do gradiente de velocidade é feita da mesma forma que se verifica o gradiente de velocidade nas passagens entre as câmaras de floculação. Além disso deve-se assegurar que a água floculada seja distribuída de modo mais uniforme possível sob as placas dos decantadores.

Para atingir esse objetivo, pode-se fazer com que o duto principal (que distribui a água floculada para os orifícios ou tubos de prolongamento) tenha seção variável, como feito no canal de acesso aos decantadores clássicos. Se isto não for possível uma alternativa que costuma dar certo é fazer com que a área da seção transversal do duto distribuidor seja igual ou superior ao dobro da soma das áreas dos orifícios ou tubos de prolongamento alimentados por ele.

Finalmente, é importante salientar que a velocidade média no interior do duto principal seja igual ou superior a 0,10 m/s, com objetivo de impedir a sedimentação de flocos em seu interior.

c) Módulos Tubulares

A colocação de lâminas de plástico ou de lona, no sentido longitudinal da unidade, propicia um aumento da área e uma redução da altura destinada a sedimentação, além de facilitar o deslizamento do material depositado para o fundo do decantador.

Umas enormes variedades de soluções podem ser empregadas para construção dos módulos tubulares. Na figura 56 são apresentadas algumas alternativas adotadas. As lamelas podem ter superfícies transversais de forma quadrada, hexagonal, octogonal, etc., com inclinação de 60 graus. Podem ser fabricados em PVC, polipropileno, madeira, etc. As lamelas podem estar agrupadas em pacotes com múltiplos tubos independentes com comprimento definido, os quais formam zonas de fluxo laminar ideais para desenvolver a sedimentação das partículas.

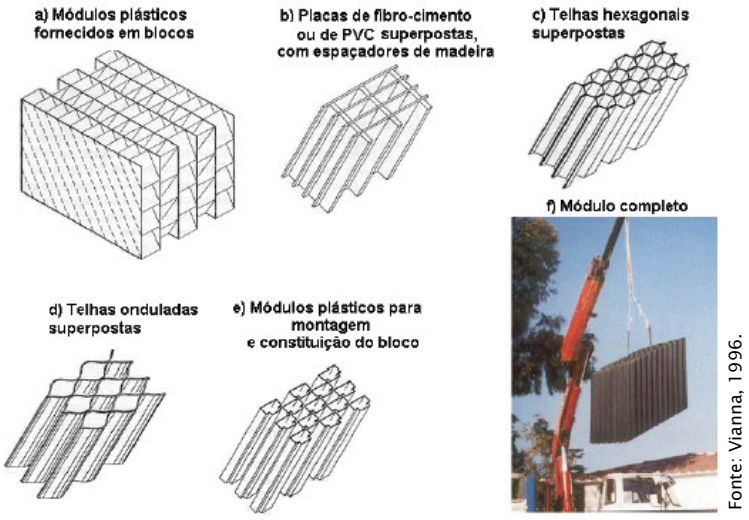


Figura 56. Módulos tubulares.

5.5.4.3. Classificação dos decantadores de acordo com as condições de Funcionamento

Decantadores do tipo clássico ou convencional: recebem a água já floculada, processando apenas a sedimentação no interior da unidade. A remoção dos lodos pode ser simples (regime de trabalho por batelada) ou contínua (remoção mecanizada ou hidráulica).

Decantadores com escoamento laminar (tubulares ou de placas): o escoamento se dá em regime laminar, proporcionando maior eficiência de remoção para uma mesma vazão e área superficial, quando comparado ao sistema clássico.

Decantadores com contato de sólidos: são unidades compactas, que promovem simultaneamente a floculação e a decantação, além da remoção do excesso de lodos da unidade.

5.5.4.4. Considerações normativas

Segundo a NB-592/89, os decantadores são unidades destinadas à remoção de partículas presentes na água, pela ação da gravidade. Podem ser convencionais ou de baixa taxa, e de elementos tubulares ou de alta taxa. Estações com capacidade superior a 10.000 m^3/dia ou com período de funcionamento superior a 18h/dia ou com unidades mecanizadas devem contar com pelo menos duas unidades iguais.

Não sendo possível proceder a ensaios de laboratório, as taxas de aplicação superficial para ETAs com capacidade até 1.000 m^3/dia, entre 1.000 e 10.000 e acima de 10.000 m^3/dia devem ser, respectivamente, de 25, 35 e 40 m^3/m^2.dia.

A entrada de água nos decantadores deve ser feita por dispositivo hidráulico capaz de distribuir a vazão uniformemente, através de toda a seção transversal, e garantir velocidade longitudinal uniforme e coincidente em intensidade, direção e sentido com a que, teoricamente, lhe seria atribuída.

A coleta de água decantada deve ser feita por um sistema de tubos perfurados submersos ou de vertedores não-afogados organizados de modo a garantir vazão uniforme ao longo deles.

O decantador com remoção manual de lodo deve apresentar as seguintes características:

- Ser provido de descarga de fundo, dimensionada para esvaziamento no tempo máximo de 6 horas;
- A descarga do decantador deve situar-se preferencialmente na zona de maior acumulação de lodo;
- O fundo deve ter declividade mínima de 5% no sentido do ponto de descarga.
- Deve ser previsto destino para o lodo dos decantadores, sujeito a disposições legais e aspectos econômicos.

6. Preparação e padronização de uma solução 0,1 M de Ácido Clorídrico

6.1. Objetivos

Pretende-se que os alunos fiquem aptos a

1) Preparar uma solução de ácido de concentração aproximada por diluição a partir do ácido concentrado.
2) Determinar a concentração de uma solução diluída de ácido usando a solução padrão secundário de NaHO.
3) Avaliar o erro da concentração do ácido.

6.2. Trabalho Proposto

1) Preparar 500 mL de solução aproximadamente 0,1 M de ácido clorídrico (HCl).
2) Determinar o título da solução diluída de HCl por titulação com a solução de NaoH preparada e padronizada anteriormente.

6.3. Materiais e Reagentes

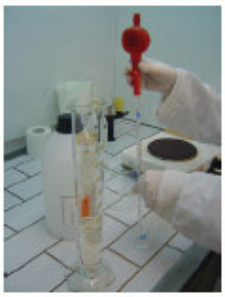
Copo de becker de 500 mL (para resíduos), pêra para pipetar, proveta de 500 mL, proveta de 25 mL, pipeta graduada de 5 mL, pipeta volumétrica de 25 mL, 4 erlenmeyers de 250 mL, bureta de 50 mL, funil de vidro, bastão de vidro, frasco de vidro de 500 mL, funil de buretas e 2 copos de becker 50 mL. Ácido clorídrico concentrado, fenolftaleína, solução padronizada de NaHO 0,1 M.

6.4. Procedimento Experimental

6.4.1. Solução de hidróxido de sódio 0,1M

1. Calcule a massa de hidróxido de sódio necessária para preparar 250mL de solução 0,1 M.
2. Pese a massa calculada diretamente num béquer, utilizando balança semi-analítica. Use espátula de porcelana.
3. Dissolva a massa pesada no mínimo de água destilada.
4. Transfira quantitativamente a solução para um balão volumétrico de 250mL, utilizando funil e bagueta na operação. Lave várias vezes todo o material utilizado com porções de água destilada, recolhendo todo o volume no balão.
5. Complete o volume até a marca do balão. Agite a solução para homogeneizar.
6. Transfira a solução preparada para um frasco de polietileno limpo e rotulado.

6.4.2. Preparação da solução diluída de ácido clorídrico 0,1 M:



1 – Medir 4,9 mL de ácido clorídrico concentrado puro com uma pipeta graduada e transferir para uma proveta de 500 mL que deve conter alguma água (±200 mL).

2 – Completar com água destilada até a marca (500 mL) e homogeneizar com um bastão de vidro.

3 – Transferir para um frasco de vidro .

4 – Rotular. Colocar sempre o nome da solução, o dia, a identificação do grupo e no final da padronização a concentração exata da solução.

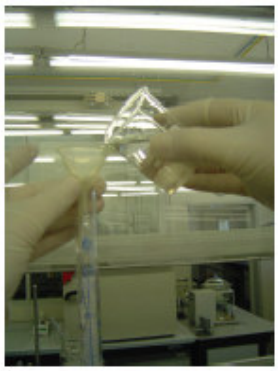
6.4.3. Padronização do ácido com a solução padrão de NaHO 0,1M

Colocar alguns mililitros de HCl na pipeta e fazer rodar o seu eixo quase na horizontal, de modo a que toda a solução percorra a pipeta. Em seguida colocar o HCl no frasco destinado aos resíduos.

1- Pipetar 25 mL de solução de ácido clorídrico para um erlenmeyer de 250 mL: ter o cuidado de encher a pipeta um pouco acima do traço de aferição, depois limpar a ponta da pipeta e de seguida acertar pelo traço.
Este volume a ser desprezado para o acerto do nível do líquido no traço de aferição deve ser descartado no frasco destinado aos resíduos.

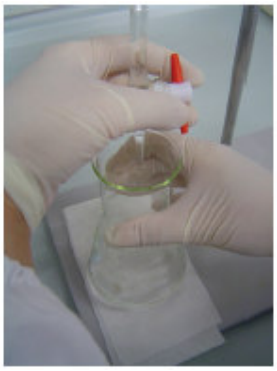
2- Diluir com cerca de 25 mL de água.

3- Colocar alguns mililitros de NaHO (preparado anteriormente) na bureta e fazer rodar o seu eixo quase na horizontal, de modo a que toda a solução percorra a bureta. Em seguida verter o NaHO para o recipiente dos resíduos, através da torneira da bureta.

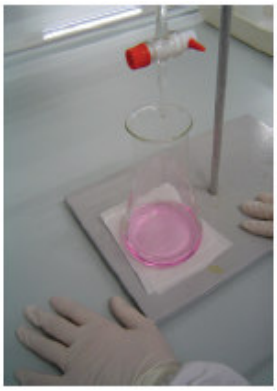


4- Encher a bureta até uns 2 a 3 cm acima do traço do zero e abrir momentaneamente a torneira, a fim de encher a ponta da bureta com a solução. Examinar a ponta para verificar a retenção de bolhas de ar. No caso de haver bolhas, verter mais líquido com a bureta inclinada até a ponta estar completamente cheia. Se for necessário, encher outra vez a bureta para que o nível do líquido fique acima do zero, e acertar novamente o nível lentamente até ao zero. Acertar a bureta pelo zero, tendo o cuidado de retirar o funil antes do acerto.

5- Juntar 3 gotas de fenolftaleína ao erlenmeyer.



6- Colocar o erlenmeyer por baixo da bureta e adicionar a base lentamente, agitando-o continuamente. Durante a adição da base, agitar circularmente o erlenmeyer com uma mão enquanto a outra controla a torneira.



Continuar a adição até que apareça a cor rosa na solução, assinalando o ponto final da titulação.

A leitura da bureta deve ser anotada e registrada no caderno de laboratório. O procedimento deve ser repetido até que se obtenham duas leituras que não difiram entre si mais que 0,1 mL. O ensaio deve ser feito em triplicata.

VOCÊ SABIA?

Vogel, A. I. "Análise Química Quantitativa", 6ªed., LTC, Rio de Janeiro, 2002.

7. Aula prática: coagulação/ floculação

Teste de Jarros

7.1. Considerações

Os processos de coagulação e floculação constituem uma importante e fundamental fase do tratamento de água e são comumente os primeiros processos numa seqüência de tratamento de água. A coagulação ou desestabilização de uma suspensão coloidal é usada para criar condições químicas que facilitem a aglomeração ou floculação de pequenas partículas coloidais em partículas maiores permitindo a sua remoção nas etapas de sedimentação e filtração.

As partículas coloidais presentes naturalmente em águas naturais têm tipicamente uma carga superficial negativa causando repulsão entre elas, isto é, são partículas eletricamente estabilizadas, ou seja, não se agregam. Portanto a regra básica do processo de coagulação química é neutralizar ou reduzir esta repulsão entre as partículas. A adsorção de formas iônicas também ocorre em graus variáveis, dependendo do tipo de íon envolvido, da presença e quantidade de outros componentes químicos na água ou esgoto.

A análise de uma água ou esgoto, preparatória ao projeto de uma seqüência de tratamento, freqüentemente envolve experimentos de coagulação em laboratório.

Sais de alumínio ou de ferro podem ser usados para coagular partículas e formar flocos sedimentáveis, compostos de precipitados de hidróxidos metálicos e impurezas.

Esses testes chamados por *JAR-TEST* ou TESTE DE JARROS, são muito utilizados para o controle de operações de ETAS, sendo realizados rotineiramente por operadores de estações de tratamento. Os testes de coagulação e floculação servem para indicar as dosagens químicas ótimas para remoção de turbidez e cor, incluindo testes auxiliares tais com ajustes de pH, dosagens de polieletrólitos, etc.

O teste de jarros, além disso, produz grande quantidade de informação qualitativa, sobre a taxa de aglomeração como função de insumo de energia (velocidade da pá) a sedimentabilidade do floco formado, e a claridade da água sobrenadante (que poderá ser relacionada com o tempo subseqüente de passagem pelo filtro).

Experimentos de coagulação-floculação também podem ser usados juntamente com outros testes, para estudar processos básicos, como exemplo, a cinética de reação e a remoção de componentes – traço de solução aquosa.

7.2. Prova de clarificação – dosagem ótima

7.2.1. Objetivo: Simular em laboratório os processos de coagulação, floculação e sedimentação visando a determinação da melhor dosagem de coagulante, medir cor, turbidez, pH e determinar o volume de lodo produzido.

7.2.2. Agente Coagulante: Solução de Sulfato de alumínio – $Al_2(SO_4)_3$ a 4%.

7.2.3. Sugestão de dosagens do agente coagulante

Dosagem (mg/L)	15	20	25	30	35	40
mL de solução	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8

7.3. Procedimento Experimental

7.3.1. Determinação de Dosagem Ótima de Coagulante

1) Medir cor, turbidez e pH da água bruta.
2) Colocar 800 mL de água bruta em cada jarro.
3) Ligar agitação do aparelho de Teste de Jarros com velocidade correspondente a 120 rpm.
4) Adicionar simultaneamente a cada jarro dosagens crescentes de coagulante de modo a cobrir a faixa de floculação da água.
5) Imediatamente após a adição, marcar 1 minuto de mistura a 120 rpm (mistura rápida).
6) Baixar a rotação para 30 rpm e deixar girando por 10 min (mistura intermediária).
7) Baixar novamente a rotação para 15 rpm durante 20 min, após desligar a agitação (mistura lenta).
8) Após 30 minutos de sedimentação coletar com cuidado a água clarificada, para não revolver o sedimento, e medir cor, turbidez e pH de cada jarro.
9) Anotar os resultados na tabela abaixo.
10) Traçar dois gráficos representativos:
11) Dosagem x turbidez e cor residual.
12) Dosagem x eficiência de remoção de cor e turbidez.
13) Através da análise dos dados, estimar a dosagem ótima de coagulante e a dosagem econômica de coagulante para água estudada.
14) Verificar se a remoção de turbidez após a filtração atenderá o padrão de potabilidade.
15) Estimar a eficiência do processo de sedimentação, calculando o percentual de matéria sólida (turbidez) removida após este processo e comparar com remoção teórica esperada.

7.3.2. Determinação do pH ótimo

VOCÊ SABIA ?

pH é o símbolo para a grandeza físico-química '***potencial hidrogeniônico***'. Essa grandeza (potencial hidrogeniônico) é um índice que indica o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade de um meio qualquer. O conceito foi introduzido por S. P. L. Sørensen em 1909. O "p" vem do alemão potenz, que significa poder de concentração, e o "H" é para o íon de hidrogênio (H+).

Substância	pH
Ácido de bateria	<1.0
Suco gástrico	2.0
Sumo de limão	2.4
Cola (refrigerante)	2.5
Vinagre	2.9
Sumo de laranja ou maçã	3.5
Cerveja	4.5
Café	5.0
Chá	5.5
Chuva ácida	<5.6
Saliva pacientes com câncer (cancro)	4.5-5.7
Leite	6.5
Água pura	7.0
Saliva humana	6.5-7.4
Sangue	7.34 – 7.45
Água do mar	8.0
Sabonete de mão	9.0 – 10.0
Amônia caseira	11.5
Cloro	12.5
Hidróxido de sódio caseiro	6.5

1) Repita o teste de jarros usando a dosagem ótima observada, porém ajustando o pH da amostra para 5, 6, 7, 8, 9 e 10 com Hidróxido de Sódio 0,1 N ou Ácido Sulfúrico 0,1N antes de adicionar o coagulante.
2) Medir o pH final, turbidez e cor do sobrenadante de cada amostra. Compare a profundidade do lodo depositado no recipiente.
3) Trace um gráfico com turbidez e cor versus pH inicial e pH final. Escolha o pH inicial ótimo, baseado no uso da dosagem ótima do coagulante.

7.3.3. Efeito do tempo e intensidade da mistura (cinética de agregação)

1) Prepare para todos os recipientes dosagens do coagulante na concentração ótima determinada na primeira etapa do teste.
2) Use a mesma intensidade de mistura rápida que antes, porém, varie o tempo de mistura lenta a 30 rpm.
Use 3) 5, 10, 15, 20, 30 e 45 minutos para os seis recipientes respectivamente.
4) Terminada a mistura aguarde 30 min para a sedimentação.

5) Analisar a cor, turbidez e pH do sobrenadante em cada recipiente.
6) Observe e anote o resultado.

Dados da água bruta		
Data	Hora	Procedência
Características da água bruta		
Cor (mg Pt/Co)	pH	Turbidez (UNT)
Dados do Teste de Jarros		
Tempo de Coagulação (min)	Tempo de sedimentação (min)	Tempo de floculação (min)
Observações		

Figura 57. Quadro de controle do experimento.

Jarro	Dosagem mg/L	Turbidez Residual	Cor Residual	pH final	Turbidez Eficiência (%)	Cor Eficiência (%)
1						
2						
3						
4						
5						
6						

8. Discussão das Práticas de Laboratório

PRÁTICA 1 – Preparação e padronização de uma solução 0,1 M de Ácido Clorídrico.

Observações e discussão dos procedimentos e resultados.

PRÁTICA 2 – Prova de Clarificação (*Jar Test*) – Ajuste de pH e determinação da dosagem ótima de coagulante.

Observações e discussão dos procedimentos e resultados.

9. Filtração

9.1. Teoria da Filtração

Após decantada, a água em tratamento é encaminhada aos filtros das estações de tratamento de água. Em algumas estações de tratamento, a água é encaminhada diretamente aos filtros, após coagulada ou, noutros casos, após coagulada e floculada. Denominamos de estações clássicas (ou convencionais) de tratamento de água as estações que realizam, em unidades separadas: a mistura rápida, a floculação, a decantação e a filtração. Quando os filtros recebem água coagulada ou floculada, sem passar, portanto, pelo decantador, dizemos que a estação de tratamento de água é do tipo Filtração Direta.

Os filtros podem ser de fluxo descendente ou de fluxo ascendente. No primeiro caso, podem ser de leito filtrante único, duplo ou triplo (embora esses últimos sejam raros no Brasil).

Filtros de leito filtrante simples utilizam quase sempre, como material filtrante, a areia. Filtros de leito filtrante duplo utilizam quase sempre, como material filtrante, a areia e o antracito (nesta ordem, de baixo para cima). Filtros de leito filtrante triplo utilizam quase sempre, como material filtrante, a granada, a areia o antracito (nesta ordem, de baixo para cima).

O material filtrante é sustentado pelo denominado *fundo falso,* constituído, por exemplo, por uma laje cheia de orifícios, através dos quais a água filtrada escoará. Existem diversos tipos de fundo falso, alguns dos quais podem ser fabricados no próprio canteiro de obras; outros são patenteados por diversos fabricantes.

Com objetivo de impedir que o material filtrante passe através dos orifícios do fundo falso, coloca-se, entre os dois, a camada suporte, normalmente constituída de seixos rolados. Para que possa desempenhar satisfatoriamente essa função, a camada suporte deve ser cuidadosamente especificada, do ponto de vista granulométrico. Essa especificação dependerá da granulometria do leito filtrante e das dimensões dos orifícios do fundo falso.

A camada suporte tem também por função distribuir adequadamente o fluxo da água através de todo o leito filtrante, tanto durante a filtração quanto durante a lavagem do filtro.

Alguns tipos de fundo falso (pouco comuns no Brasil) dispensam a utilização de camada suporte: o leito filtrante pode ser colocado diretamente sobre eles. É o caso de tipos especiais de fundo falso, construídos utilizando placas porosas.

A lavagem dos filtros é sempre efetuada no sentido ascendente.

No Brasil, quase sempre lava-se os filtros com velocidade suficiente para provocar a expansão do leito filtrante (isto é, de tal forma que os grãos constituintes do leito filtrante separem-se uns dos outros).

Em muitas estações de tratamento de água, a lavagem dos filtros utiliza também equipamentos auxiliares, tais como: bocais fixos ou rotativos, que espalham água sobre o leito filtrante ou em seu interior; injeção de ar comprimido, antecedendo a lavagem com água ou durante essa lavagem.

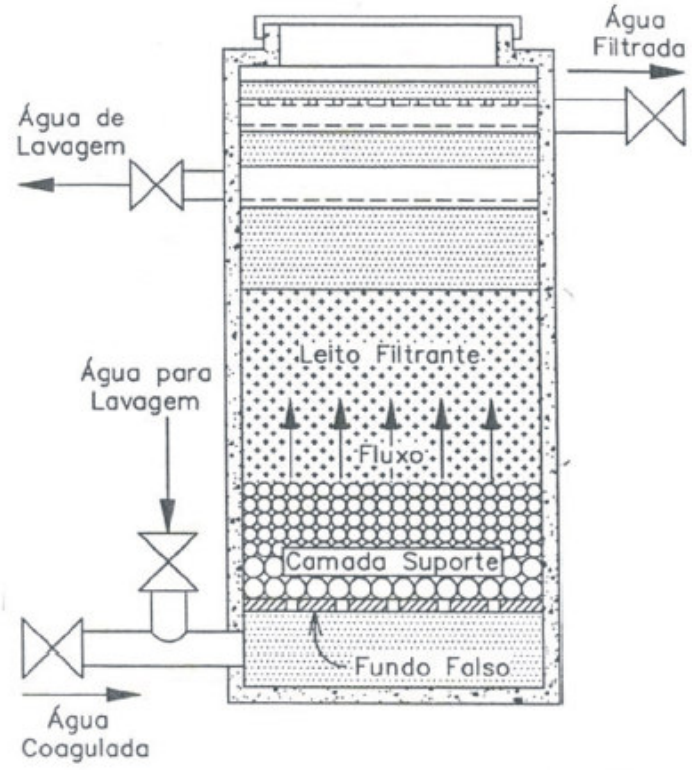
Em alguns casos, a lavagem auxiliar com ar, quando efetuada em conjunto com a lavagem com água, dispensa a necessidade de se provocar a expansão do leito filtrante.

9.1.1. Filtros Ascendentes

Esses filtros foram introduzidos no Brasil com a denominação de filtros russos. Posteriormente, alguns autores preferiram denominá-los de clarificadores de contato. Autores modernos tem utilizado a denominação de filtros ascendentes. Nenhum desses nomes faz justiça ao que esses filtros são, de fato. No interior dos filtros ascendentes, ocorrem, simultaneamente, a floculação, a decantação e a filtração.

Muitos estudos vêm sendo realizados a respeito desse tipo de filtro, procurando determinar as especificações mais adequadas para a camada de areia e para a camada suporte.

Basicamente como mostra a Figura 58 os filtros ascendentes são constituídos de uma camada espessa de areia cerca de 2 metros de espessura) colocada sob uma camada suporte de seixos rolados (cerca de 60 cm).



Fonte: Vianna, 1996.

Figura 58. Filtro rápido ascendente.

A água, previamente coagulada, é introduzida sob a camada suporte, e escoa no sentido de baixo para cima através, sucessivamente, da camada suporte e do leito de areia. Acima da camada de areia, calhas coletoras ou tubos perfurados recolhem a água filtrada. Um dos elementos fundamentais no projeto e operação de filtros ascendentes é a denominada taxa de filtração.

De acordo com a NB-592, que é a norma brasileira que fixa as diretrizes para o projeto de estações de tratamento de água, o valor máximo dessa taxa deve ser determinada através de ensaios realizados em filtros-piloto. Se não for possível realizar esses ensaios, então não deverá ser ultrapassado o valor de 120 $m^3/(m^2.dia)$.

A lavagem é efetuada injetando-se água de baixo para cima com velocidade suficiente para expandir o leito de areia. A água de lavagem é recolhida por calhas coletoras instaladas acima do leito de areia. Em alguns casos, a mesma calha que recolhe a água filtrada recolhe também a água de lavagem, veja a Figura 59.

Assim sendo, o destino da água que cai em seu interior – se vai para o reservatório de contato ou para o esgoto – é determinado por comportas instaladas a jusante dessas calhas. Alguns autores consideram que a grande falha dos filtros ascendentes é que eles não são à *prova de descuido* (um operador descuidado pode permitir a contaminação da água tratada, se manobrar equivocadamente essas comportas, e permitir o desvio de água de lavagem para o reservatório de contato). Outros criticam o fato de que pela parte superior dos filtros ascendentes passa água filtrada ou água de lavagem, conforme a hora, o que torna vulnerável à contaminação Existe também a evidente limitação dos filtros ascendentes para o tratamento de águas com elevados teores de sólidos, que podem fazer com que eles sujem rapidamente. Nesses casos, a necessidade de lavagem dos filtros pode tornar-se muito freqüente.

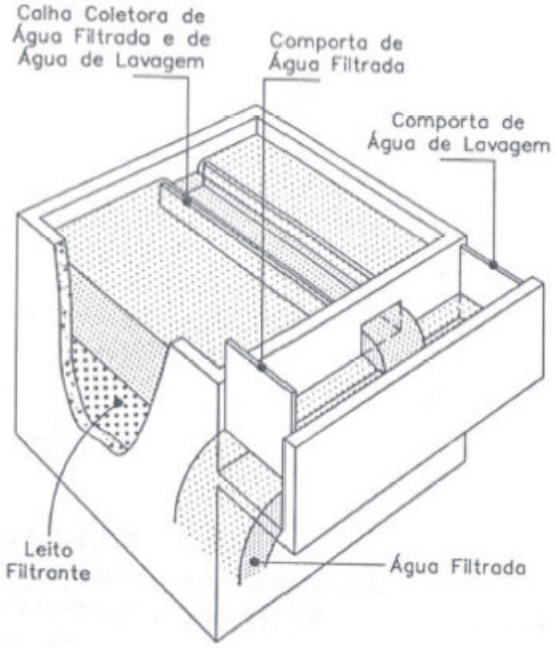


Figura 59. Calha coletora de água filtrada. É a mesma calha que recolhe a água de lavagem.

9.1.2. Filtros Descendentes

São os filtros mais utilizados em estações clássicas de tratamento de água. A Figura 60 representa como é o arranjo geral desse tipo de filtros. Observe que a água a filtrar é introduzida na parte superior do filtro e percola, em seguida, através do leito filtrante e, logo após, através da camada suporte; atravessa o fundo falso e é encaminhada, finalmente, ao duto ou reservatório de água filtrada.

Um dos elementos fundamentais no projeto e operação de filtros é a denominada *taxa de filtração,* dada pela expressão abaixo:

$$T_F = \frac{Q}{A}$$

Onde:
Q = vazão filtrada, em m^3/h
A = área da superfície filtrante, em m^2

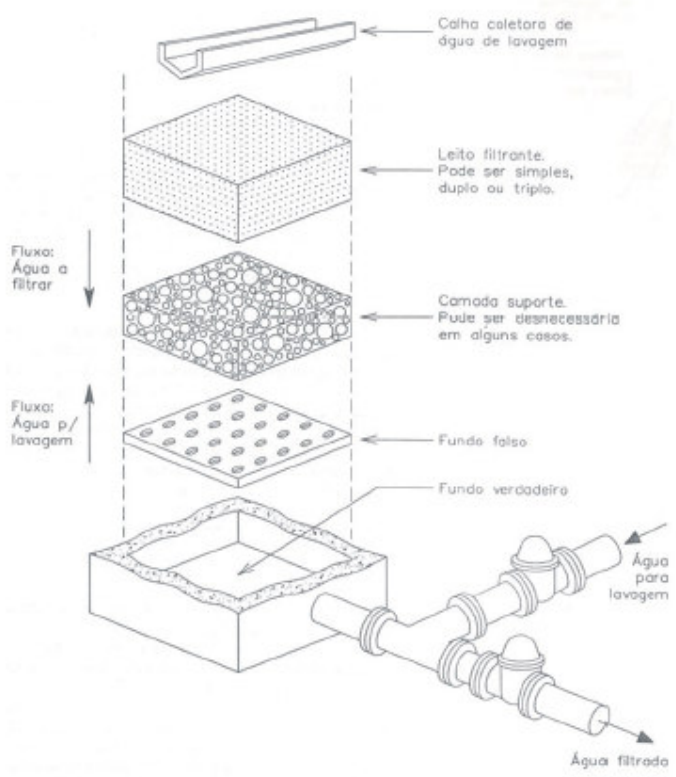


Figura 60. Esquema explicativo do filtro de fluxo ascendente.

De acordo com a NB-592, o valor máximo dessa taxa deve ser determinado através de ensaios realizados em filtros-piloto. Se não for possível realizar esses ensaios, então não deverão ser ultrapassados os seguintes valores:

- Filtros de camada simples: 180 $m^3/(m^2.dia)$
- Filtros de camada dupla: 360 $m^3/(m^2.dia)$

9.1.3. Filtro Lento

A filtração lenta em areia e uma tecnologia relativamente simples, sendo, portanto, indicada para locais que não possuem mão de obra especializada. Este tipo de filtração imita o processo de purificação natural, quando a água atravessa os extratos da crosta terrestre e forma os aqüíferos ou rios subterrâneos. Este tipo de filtro é utilizado principalmente para eliminar a turbidez da água, porém se projetado e operado adequadamente pode ser considerado como um sistema de desinfecção de água. Entretanto, a qualidade da água bruta pode limitar substancialmente o emprego dessa tecnologia, o que torna imprescindível à realização de uma etapa de tratamento, precedendo a filtração lenta.

Basicamente um filtro lento (Figura 61) constitui-se de um tanque com uma camada superior de água que possui um leito filtrante de areia, sistema de drenagem e dispositivos de controle e regulação do fluxo. O filtro lento se caracteriza por ser um sistema simples, limpo e eficiente para o tratamento de água. Comparado com o filtro rápido, requer áreas maiores para tratar o mesmo volume de água, portanto, tem um maior custo inicial. Entretanto, sua simplicidade e baixo custo de operação e manutenção o torna um sistema ideal para zonas rurais e pequenas comunidades, tendo em conta que os custos por área do terreno som comparativamente menores nestas localidades.

Figura 61. Filtro lento de areia em uma zona rural.

A desinfecção por meio da filtração lenta ocorre pela circulação da água a baixa velocidade através de um manto poroso de areia. Durante o processo as impurezas entram em contato com a superfície das partículas do meio filtrante e são retidas, desenvolvendo-se adicionalmente processos de degradação química e biológica que reduzem a matéria retida a formas mais simples, as quais são solubilizadas ou retidas como material inerte até a subseqüente limpeza. A água bruta que ingressa no filtro permanece na unidade sobre o meio filtrante de 3 a 12 horas, dependendo das velocidades de filtração adotadas. Nesse tempo as partículas mais pesadas que se encontram em suspensão sedimentam-se e as partículas mais leves podem aglutinar-se, o que facilita sua posterior remoção.

Durante o dia devido a influência da luz solar, ocorre o crescimento de algas, as quais absorvem dióxido de carbono, nitratos, fosfatos e outros nutrientes da água para formar material celular e oxigênio. O oxigênio assim formado se dissolve na água, entra em reação química com as impurezas orgânicas e faz com que estas sejam mais facilmente assimiláveis pelos microrganismos.

Na superfície forma-se uma película constituída de material de origem orgânica, conhecida pelo nome de *"schmutzdecke"* ou "pele do filtro", através da qual a água tem que passar antes de chegar ao próprio meio filtrante. Esta película biológica é formada principalmente por algas e outras numerosas formas de vida, como plâncton, diatomáceas, protozoários, rotíferos e bactérias. A ação destas numerosas formas de vida aderidas digere e degrada a matéria orgânica contida na água. As algas mortas, assim como as bactérias vivas da água bruta são também consumidas neste processo, ao mesmo tempo em que são também degradados compostos nitrogenados. Também são removidas parcelas da cor, e partículas inertes em suspensão são retidas por adsorção.

Uma vez que a água passa através da película biológica (pele do filtro) é forçada a atravessar o leito filtrante em um processo que leva várias horas, no qual se desenvolvem diversos mecanismos físicos e biológicos que constituem o processo de purificação da água.

Como o rendimento do filtro lento (Figura 62) depende principalmente do processo biológico, enquanto a película biológica (*schmutzdecke*) este em processo de desenvolvimento, a eficiência é baixa e não se deve considerar o filtro lento de areia como um eliminador de matéria orgânica, e sim como um melhorador da qualidade da água, sobretudo a turbidez. A maturação de um filtro lento pode levar de 2 a 4 semanas.

Fonte:www.ceset.unicamp.br/~pelegrini/ST502_3/FILTRA%C7%C3O%20LENTA.ppt -

Figura 62. Filtro lento (bairro Ana Benta – Capão Bonito SP) ETA construída em 1992, ocupa uma área de 66 m² com capacidade de tratar 1,5 L/s de água.

A Tabela 7 apresenta uma síntese das alternativas de pré-tratamento em função das variações da qualidade da fonte de água bruta para instalação de um filtro lento de areia, e a Tabela 8 apresenta algumas vantagens e desvantagens da filtração lenta.

Tabela 7. Critérios de seleção dos processos em função da qualidade da fonte de água bruta.

Alternativas	Limites de qualidade aceitáveis para água bruta		
	90 % do tempo	80 % do tempo	Esporadicamente
Filtro lento de areia	Turbidez ≤ 50 UNT Cor ≤ 50 UC C. fecais ≤ 10^4 UFC/100 mL	Turbidez ≤ 20 UNT Cor ≤ 40 UC	Turbidez máxima ≤ 100 UNT
Filtro lento de areia + pré-filtro de pedra	Turbidez ≤ 100 UNT Cor ≤ 60 UC C. fecais ≤ 10^4 UFC/100 mL	Turbidez ≤ 60 UNT Cor ≤ 40 UC	Turbidez máxima ≤ 150 UNT
Filtro lento de areia + Pré-filtro de pedra + Sedimetador	Turbidez ≤ 300 UNT Cor ≤ 60 UC C. fecais ≤ 10^4 UFC/100 mL	Turbidez ≤ 200 UNT Cor ≤ 40 UC	Turbidez máxima ≤ 500 UNT
Pré-sedimentador + Filtro lento de areia + Pré-filtro de pedra + Sedimetador	Turbidez ≤ 500 UNT Cor ≤ 60 UC C. fecais ≤ 10^4 UFC/100 mL	Turbidez ≤ 200 UNT Cor ≤ 40 UC	Turbidez máxima ≤ 1000 UNT

Cor: unidade de cor cloro platina cobalto; UNT: unidades neflométricas de turbidez

Tabela 8. Vantagens e desvantagens da filtração lenta.

Vantagens	Desvantages
• Simplicidade contrutiva; • Filtro lento sem controle de velocidade e com controle de níveis por vertedouros é muito sensível, confiável e fácil de operar com mínimos recursos, principalmente em áreas rurais e em países em desenvolvimento; • Não produz mudanças organoléticas na qualidade da água; • Boa aceitação pelas comunidades.	• Filtro lento sem prétraameto não pode operar com águas com turbidez maior que 20 ou 30 UNT, esporadicamente são aceitos picos de 50 a 100 UNT; • Eficiência é reduzida em locais com temperaturas baixas; • A presença de biocidas ou praguicidas na água bruta pode modificar ou destruir o processo microbiológico em que se baseia a filtração lenta.

9.1.4. Filtro Rápido

O filtro rápido é formado de uma camada de areia, e pode ainda possuir uma outra camada de um meio poroso mais grosso e menos denso, como o antracito, que é colocado sobre a areia, o que permite taxas de filtrações ainda maiores. Na Figura 63 é apresentado um esquema de um filtro rápido de fluxo ascendente. Nos filtros de camada única, utiliza-se a "camada torpedo" que é uma camada de areia mais grossa colocada sob a camada filtrante de areia.

A camada de pedregulho assenta sobre uma placa provida de orifícios, denominado fundo falso, situado pouco acima do fundo verdadeiro. Os filtros rápidos são lavados contracorrente, ou seja, por inversão de fluxo com uma vazão de assegurar a expansão adequada para o meio filtrante. Expansões acima de 50% são indesejáveis, porque reduzem o processo de atrito entre os grãos e permitem a perda do material filtrante. Na prática consideram-se como ideais expansões do material filtrante que variam de 25 a 50%, sendo o valor mais comum de 40%.

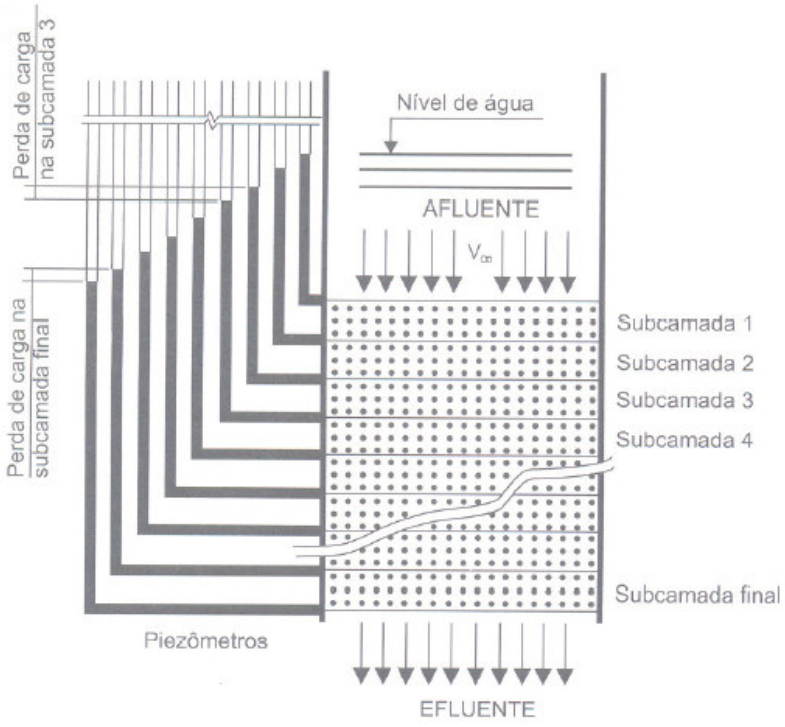
O funcionamento dos filtros rápidos depende das condições hidráulicas previstas no dimensionamento, envolvendo a carga hidráulica disponível e a taxa de filtração para que resultem carreiras de filtração com duração razoável e produção de água com pequena quantidade de impurezas, para que a desinfecção final seja realizada de forma satisfatória.

Fonte: SABESP.

Figura 63. Vista interna de um filtro rápido ascendente da ETA Rio Grande.

9.1.4.1. Filtração com ação de profundidade e de ação superficial

Na filtração rápida descendente com ação de profundidade, as impurezas são retidas ao longo do meio filtrante, ficando retidas principalmente na camada de início do meio filtrante. A filtração com ação de profundidade pode ser entendida como o resultado de uma sucessão de estágios relativos a colmatação das subcamadas que compõem o meio filtrante, conforme podemos observar na Figura 64.



Fonte: Di Bernardo, 2005.

Figura 64. Esquema de um filtro com piezômetros instalados entre as subcamadas do meio filtrante.

A primeira subcamada (subcamada 1) retém as partículas até o momento em que as forças de cisalhamento, em razão do escoamento, superam as forças que mantém as partículas aderidas aos grãos do meio filtrante, arrastando-as para a subcamada subseqüente (subcamada 2); nesse instante, podem-se assumir que a quantidade de partículas no efluente da subcamada 1 iguala a quantidade de partículas no afluente da, ou seja, ocorre a saturação da subcamada 1. Na realidade outras subcamadas situadas abaixo da subcamada 1 estavam retendo partículas durante o período de tempo em que ocorria a saturação, porém, são pequenas as quantidades retidas em cada uma delas (maior na subcamada 2). Em seguida a subcamada 2 passa a reter maior quantidade de partículas, até o instante em que também ocorre sua saturação, e assim por diante, até que todas as subcamadas estejam saturadas.

A saturação de cada subcamada pode ser acompanhada por meio de coleta de amostras ao longo do meio filtrante, ou visualização do nível de água em cada piezômetro; a partir do instante em que a diferença de leitura piezométrica entre dois piezômetros (correspondentes a uma subcamada qualquer) não muda com o tempo de filtração, significa que aquela subcamada encontra-se saturada, ou seja, daí em diante, a quantidade de partículas que sai é igual a quantidade que entra. A perda de carga em qualquer subcamada é igual a diferença entre os níveis de água nos piezômetros situados acima e abaixo da mesma.

A filtração rápida de água coagulada, floculada ou decantada (ou flotada) deve preferencialmente ser realizada com ação de profundidade, pois poderão resultar carreiras de filtração curta, com baixa produção efetiva de água, se a filtração ocorrer, predominantemente, com ação superficial.

Os mecanismos responsáveis pela remoção de partículas durante a filtração com ação de profundidade são complexos e influenciados principalmente por características físicas e químicas das partículas, da água e do meio filtrante, da taxa de filtração e do método de operação dos filtros. Considera-se a filtração como o resultado da ação de três mecanismos distintos: transporte, aderência e desprendimento.

Os mecanismos de transporte são responsáveis por conduzir as partículas suspensas para as proximidades da superfície dos coletores (grãos de antracito, areia ou material granular), podendo permanecer aderidas a estes por meio de forças superficiais, que resistam as forças de cisalhamento resultantes das características do escoamento ao longo do meio filtrante. Quando tais forças superam as forças de aderência tem-se o desprendimento.

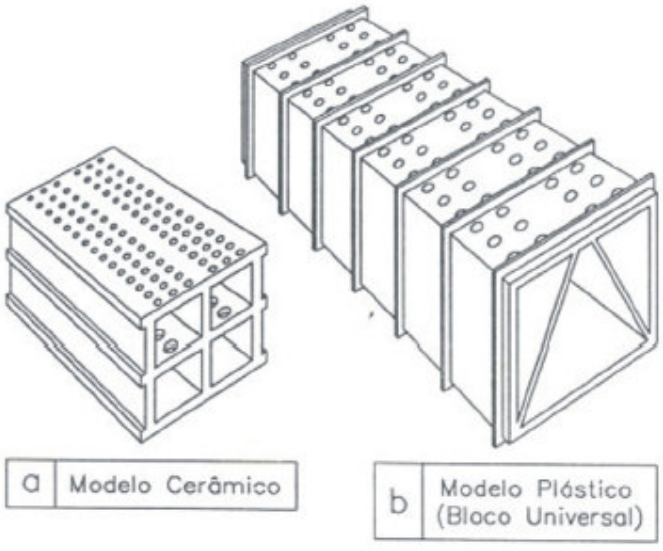
Um filtro pode ser provido de diferentes materiais filtrantes, como:

Areia e carvão antracito mineral – com essa camada dupla, a vantagem deste modelo é poder trabalhar com taxas de filtração maiores, logo com menor área de filtração, menor volume de material filtrante e menor consumo de água de lavagem, devido ao carvão antracitomineral.
Areia fina – classificada para retenção de sólidos em suspensão, flocos, etc.
Carvão ativo vegetal – para a eliminação de cloro residual, gostos e odores, fenóis, etc e Dolomita para a correção do pH.

Quando próxima a superfície dos grãos (coletores) do meio filtrante, as partículas são capturadas e aderidas a estes por meio de mecanismos de aderência. A eficiência da aderência entre as partículas transportadas e os grãos depende, principalmente, das propriedades da superfície de ambos as partículas tanto podem aderir diretamente a superfície dos grãos como às partículas previamente retidas. A aderência é atribuída a duas categorias de fenômenos: interação entre as forças eletrostáticas e as de van der Walls e interação superficial de origem química.

9.1.5. Tipos de Fundo Falso

Existe uma infinidade de tipos de fundos falsos tantos quantos se desejar inventar. Durante a filtração, os fundos falsos coletam a água filtrada, sob a camada filtrante. Por ocasião da lavagem dos filtros, os fundos falsos distribuem uniformemente, no leito filtrante, a água destinada a esse fim. Cada fabricante apresenta suas próprias recomendações para a camada suporte ideal que deverá ser colocada sobre eles. Na Figura 65 é apresentado um modelo de fundo falso em polietileno.



Fonte: Vianna, 1996.

Figura 65. Blocos para fundos falsos.

9.1.6. Bocais Para Fundos Falsos

São representados esquematicamente na Figura 66. Originalmente esses bocais eram fabricados de porcelana. Atualmente podem ser encontrados fabricados de plástico ou nylon.

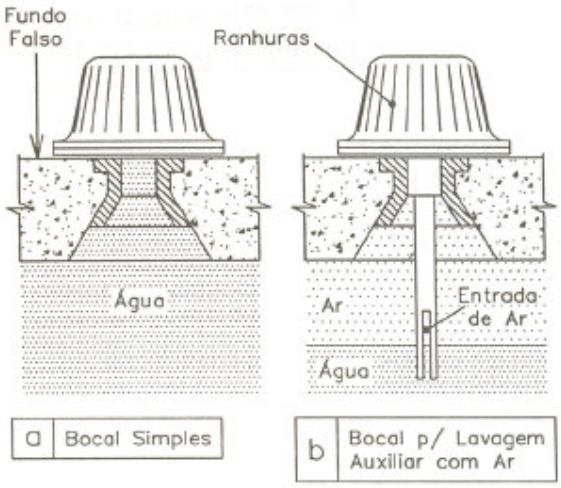


Figura 66. Bocais para fundos falsos.

9.1.7. Lavagem do Filtro

À medida que vão retendo a sujeira, os filtros vão se tornando mais colmatados, isto é, mais sujos. Assim, sendo, de tempos em tempos precisam ser lavados. O que determina a necessidade de se lavar o filtro, é um dos seguintes fatores:

- Se o filtro sujar mais, a ETA transborda;
- Se continuar filtrando, a turbidez da água filtrada excederá o limite aceitável pelo padrão de potabilidade.

Normalmente, nas ETAs brasileiras, a lavagem é efetuada introduzindo água tratada em contracorrente no filtro a ser lavado, com velocidade suficiente para fluidificar o leito filtrante. Dizemos que o leito está fluidificado quando os grãos do material que o constituem ficam separados uns dos outros, como que suspensos na corrente da água de lavagem.

A vazão da água para lavagem é tal que proporciona uma velocidade ascencional, no interior do filtro, da ordem de 0,9 metros por minuto. Algumas vezes, efetua-se também a lavagem auxiliar, com água ou com ar.

A seguir, descreveremos as formas pelas quais se efetua a lavagem em contra-corrente, utilizada em qualquer caso: com ou sem a lavagem auxiliar.

9.1.7.1. Lavagem Via Reservatório

É o modo mais utilizado no Brasil. A água tratada é bombeada até um reservatório situado em cota mais elevada que as calhas coletoras de água de lavagem dos filtros. Esse reservatório pode ser elevado, apoiado ou semi-enterrado. O importante é sua posição altimétrica. Essa posição deverá ser tal que, para a vazão necessária à lavagem do filtro, ela seja capaz de vencer o desnível altimétrico mais as perdas de carga que ocorrerão no trajeto entre o reservatório e a calha coletora de água de lavagem.

Em alguns casos, esse reservatório é construído sobre a casa de química. O reservatório de água para lavagem pode também armazenar a água de consumo da casa de química. Na hora de lavar, basta abrir o registro de água para lavagem, situado na galeria de tubulações, conforme pose ser observado nas Figuras 67 e 68.

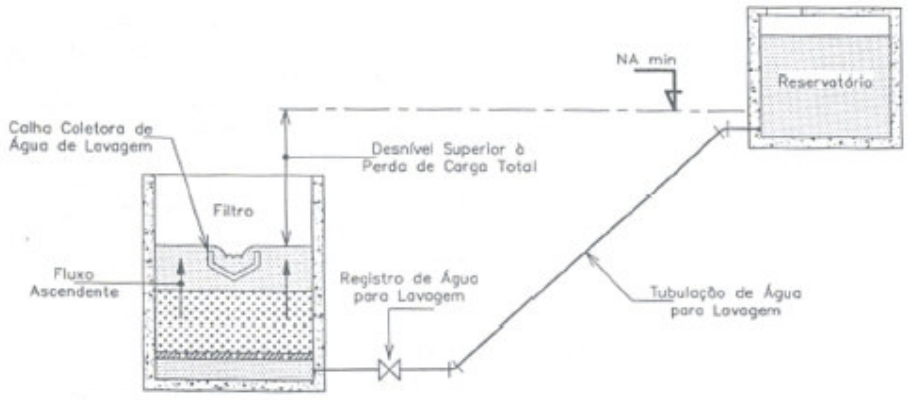


Figura 67. Lavagem via reservatório para filtros de fluxo descendente.

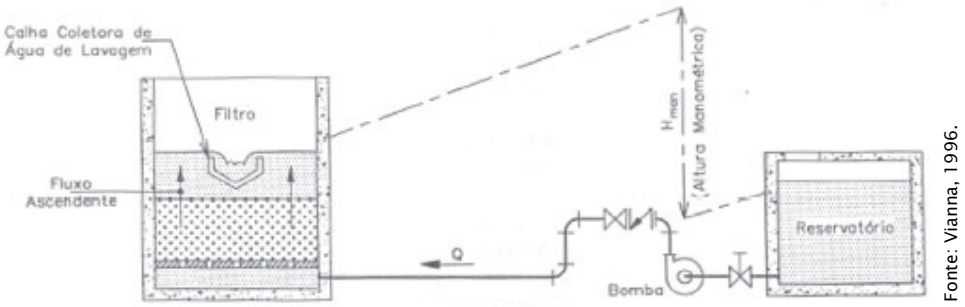


Figura 68. Lavagem via bombeamento para filtros de fluxo descendentes.

9.2. Materiais Filtrantes

É nos materiais filtrantes que de fato ocorrerá a filtração propriamente dita da água em tratamento. Basicamente, os materiais utilizados nos filtros das ETAs são materiais granulares, especificados adequadamente. Normalmente são utilizados, com essa finalidade, o antracito e a areia.

A rigor, cada água a tratar deveria merecer uma especificação própria para o leito filtrante ser utilizado, em função, entre outros fatores, das características das impurezas a serem retidas e da facilidade de obtenção dos materiais que o comporão.

Entretanto, a NB-592 indica as características que a areia e o antracito deverão apresentar, caso tais características não tenham sido determinadas através de estudos experimentais realizados com a água a ser tratada.

Deve ser ressaltado que, nas ETAs brasileiras, os materiais filtrantes ficam estratificados no interior dos filtros. Estratificado significa que os grãos menores ficam em cima; os grãos

maiores ficam em baixo; e que o tamanho dos grãos vai decrescendo de baixo para cima no interior do leito filtrante. Esta estratificação ocorre porque, nas ETAs brasileiras, a lavagem dos filtros é feita com uma velocidade ascencional (isto é, de baixo para cima) da água de lavagem suficiente para fluidificar (isto é, separar os grãos uns dos outros) o leito filtrante. Quando isto acontece, os grãos menores são arrastados mais para cima do que os grãos maiores.

Entretanto, não é sempre assim em todo o mundo. Na Europa, existem filtros constituídos de leitos não estratificados, que são lavados sem que se expanda o leito filtrante (lava-se o leito simultaneamente com ar e água).

9.2.1. Areia

A areia utilizada nos filtros das ETAs pode ser obtida nos rios ou lagos, ou mesmo em praias de água salgada. O importante é que seja limpa, sem barro ou matéria orgânica. Além disto, ela não deve conter mais de 1 % de partículas laminares ou micáceas (partículas de mica ou malacacheta).

Para saber se a areia está limpa, efetua-se o denominado teste de solubilidade em ácido clorídrico (HCl) a 40%. Após esse teste, em que a areia permanece em contato com o ácido durante 24 horas, a perda de material deve ser inferior a 5%.

É feito também o teste de perda por ignição. Neste caso, a perda de material deve ser inferior a 0,7%. O peso específico da areia é da ordem de 2,6 gramas por centímetro cúbico. Para filtros rápidos de fluxo descendente, a NB-592 estabelece as seguintes características granulométricas para a areia:

Filtros de camada simples:

tamanho efetivo: 0,45 a 0,55 mm
coeficiente de uniformidade: 1,4 a 1,6
espessura mínima: 0,45 m

Filtros de camada dupla:

tamanho efetivo: 0,40 a 0,45 mm
coeficiente de uniformidade: 1,4 a 1,6
espessura mínima: 0,25 m

9.2.2. Antracito

O antracito é um carvão mineral (portanto, de origem fóssil), de cor negra, podendo ter aspecto brilhante e pobre em substâncias voláteis.

SAIBA MAIS: Antracito

O antracite, ou o antracito, é uma variedade compacta e dura do mineral carvão que possui elevado lustre. Difere do carvão betuminoso por conter pouco ou nenhum betume, o que faz com que arda com uma chama quase invisível. Os espécimes mais puros são compostos quase inteiramente por carbono.

Perfil de um leito filtrante e as camadas constituintes do filtro: carvão, antracito, areia e pedregulho em diferentes granulometrias e fundo falso em PVC

Sua massa específica é da ordem de 1,4 a 1,6 gramas por centímetro cúbico, inferior, portanto, à da areia. Isto faz com que ele possa ser utilizado sobre a areia, sem se misturar com ela. De fato, sendo o antracito mais leve, todas as vezes que o filtro for lavado em contra-corrente (isto é, injetando-se água no leito filtrante de baixo para cima), o antracito subirá mais que a areia. Terminada a lavagem, a areia ficará por baixo e o antracito por cima.

A diferença de pesos específicos é tão sensível que o antracito poderá ser de grãos maiores que a areia: a areia continuará ficando por baixo e o antracito por cima. Graças a isto, filtros com areia e antracito podem trabalhar com taxas de filtração superiores aos filtros que só utilizam areia. Isto porque, nos filtros de areia e antracito, a água passa primeiro pelo antracito, que tem grãos maiores (que retém grande parte da sujeira); assim sendo, a areia só precisará reter a parcela remanescente de sujeira, que atravessou a camada de antracito. O antracito é comum nos filtros rápidos.

9.2.3. Camada Suporte

Conforme dissemos, a camada suporte depende do material filtrante a ser colocado sobre ela e do fundo falso sobre a qual ela se apóia. Normalmente, ela é constituídade seixos rolados, colocados em camadas sucessivas, umas sobre as outras, de forma a possibilitar a transição entre o tamanho dos grãos do leito filtrante e o tamanho dos orifícios do fundo falso. Ambos, leito filtrante e fundo falso, definirão o número de camadas e dos diâmetros (máximo e mínimo) dos seixos rolados que a constituem.

Mais adiante ao tratarmos de fundos falsos, serão apresentados os desenhos de alguns tipos desses fundos, bem como da camada suporte.

A denominada camada suporte simétrica difere da camada suporte tradicional porque, enquanto nestas, a granulometria é decrescente de baixo para cima, na primeira a granulometria é decrescente até certa altura, voltando a crescer em seguida. Ela tem se mostrado útil em filtros que utilizam lavagem auxiliar com ar e também em modernos filtros ascendentes, conforme será visto nos itens a seguir. A Figura 69 compara os dois tipos descritos e a Figura 70 apresenta um esquema de um leito filtrante.

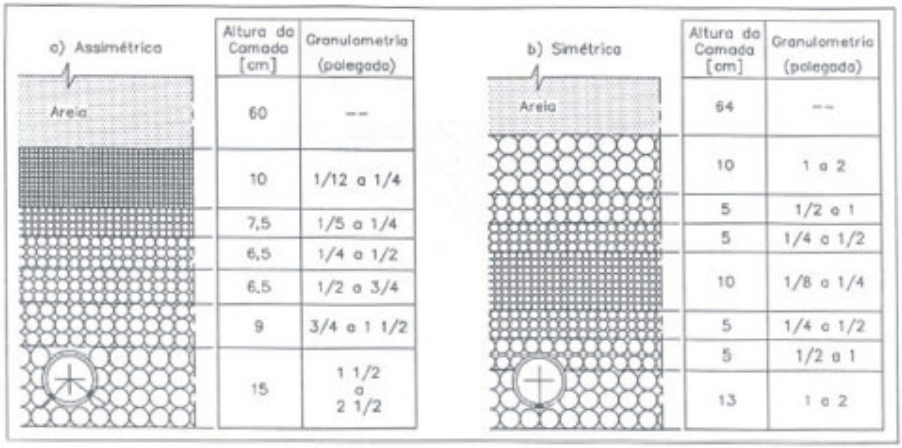
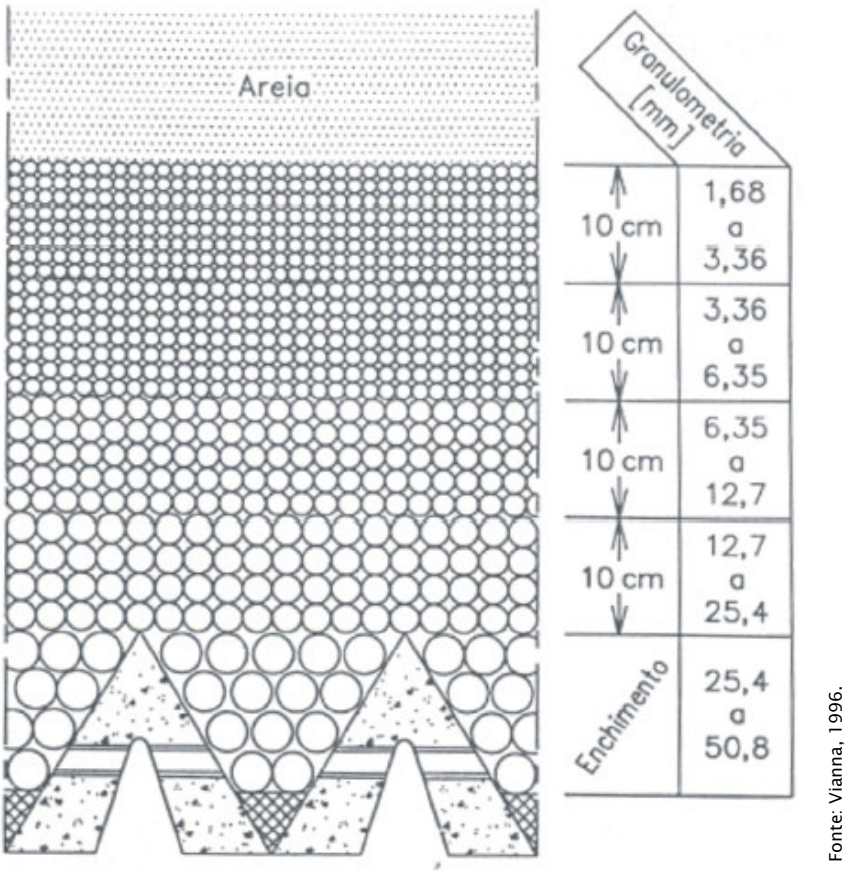


Figura 69. Tipos de camadas suporte para filtros de fluxo descendente.



Fonte: Vianna, 1996.

Figura 70. Camada suporte utilizada pela COPASA-MG para fundos falsos que utilizam vigas californianas.

10. Aula prática – filtro rápido de fluxo ascendente

Filtração em Meio Granular

10.1. Considerações

Filtração é a separação dos sólidos da massa líquida pela passagem da água através de um meio poroso. Este processo é comumente utilizado no tratamento de água, também recebendo atenção no tratamento terciário de efluentes. Os filtros rápidos de areia têm sido utilizados principalmente no tratamento de água para abastecimento urbano. A utilização de filtros rápidos no tratamento de águas superficiais pode ser precedida de coagulação, floculação, sedimentação, visando melhorar a performance operacional dos filtros.

Recentemente muitas investigações têm sido feitas sobre a teoria da filtração. Modificações no design dos filtros também têm sido propostas num esforço de melhorar a eficiência e as taxas de filtração. Diferentes meios de filtração em comparação com a areia têm sido testados, para filtros com dupla ou tripla camada. Filtros de dupla camada geralmente empregam areia e antracito. Alguns filtros de tripla camada empregam antracito, areia e granada. Alguns destes filtros têm apresentado ótimos resultados, especialmente proporcionando uma diminuição no número de ciclos ou aumento do volume de água filtrada por ciclo em comparação com filtros de camada simples.

Unidades em escala de laboratório são utilizadas para reproduzir e/ou estudar parâmetros ou fenômenos da filtração. A altura deve corresponder a altura da unidade escala real, enquanto a área é ajustada para um valor que permita minimizar os efeitos de parede.

10.2. Prova de filtração – filtro rápido de fluxo ascencional

10.2.1. Objetivo: Simular em laboratório um processo de filtração utilizando um filtro rápido de fluxo ascensional, avaliando a performance do filtro na remoção de cor e turbidez.

10.3. Procedimento Experimental – Montagem do filtro e carreira de filtração

1) Preparar um filtro de fluxo ascendente de seção quadrada (com lado igual a 20 cm) e/ou redonda com 20 cm de diâmetro, preferencialmente em acrílico.
2) A camada suporte será constituída de pedregulho com tamanhos decrescentes entre 63,5 (parte inferior) e 2,0 mm (parte superior).
3) A camada de areia terá espessura de 1,6 m de altura;
4) Dotar o sistema de uma câmara de carga para depósito da água bruta, conforme pode ser observado no esquema da Figura 71. Neste caso o fundo da câmara de carga deverá estar no mínimo a 1,5 m abaixo da calha coletora de água filtrada no interior do filtro. No caso de alimentação por bombeamento deve ser prevista uma bomba que permita vazões de alimentação entre 120 e 210 m3/m2.d.

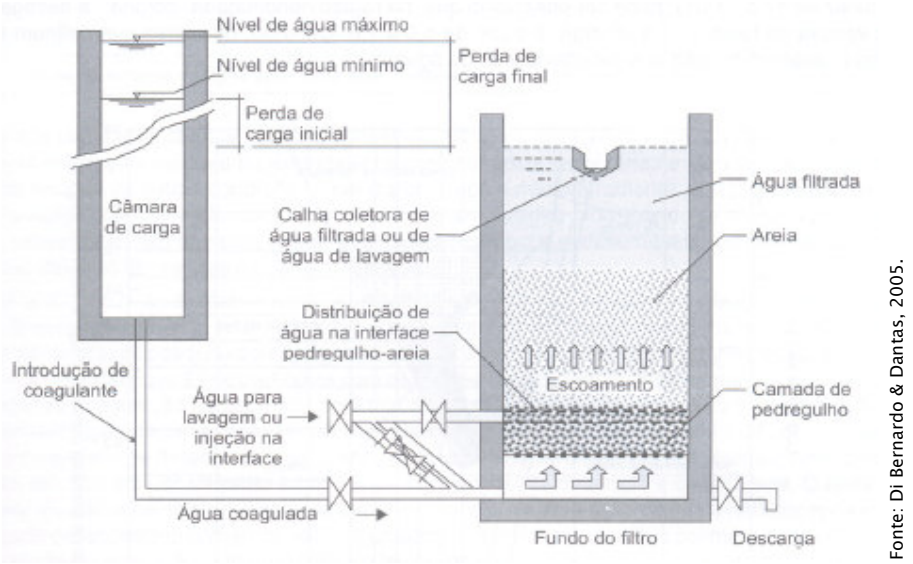


Figura 71. Esquema de uma unidade de filtração direta ascendente.

5) Na tubulação de alimentação do filtro deve ser previsto um injetor que permita a entrada de produto químico, possibilitando a filtração assistida com coagulante.
6) Após a câmara de carga estar cheia de água bruta e/ou reservatório para bombeamento, o pH deve ser corrigido para a faixa da neutralidade e a alcalinidade corrigida para valores próximos a 80 mg de CaCO3/L.
7) Iniciar a carreira de filtração aplicando taxas crescentes de filtração de 120, 150, 180 e 210 m3/m2.d, por tempos de 30 minutos cada um, avaliando em cada período a eficiência do filtro na remoção de cor e turbidez.
8) A água bruta, coagulada ou não, deve entrar na parte inferior do filtro, passar pelo sistema de drenagem, pela camada suporte e pela areia, sendo coletada em calhas ou tubos perfurados situados na parte superior da unidade filtrante.
9) Controlar a eficiência do filtro pela análise de cor e turbidez.
10) Em decorrência da retenção de impurezas na camada de pedregulho e subcamadas inferiores da areia, a operação deverá ser realizada com descargas de fundo intermediárias, ou seja, durante a carreira de filtração, é introduzida água filtrada (por meio de bombeamento) na interface areia-pedregulho, é aberta a descarga de fundo, ocasionando a retirada de grande parte das impurezas retidas naquela região dos materiais granulares.
11) Anotar os dados de cor e turbidez e graficar: cor e turbidez versus tempo de filtração.

Dados da água bruta		
Data	Hora (Início do teste)	Procedência
Características da água bruta		
Cor (mg Pt/Co)	pH	Turbidez (UNT)

Figura 72. Quadro de controle do experimento.

Parâmetros do Processo de Filtração				
Amostra	Vazão (L/s)	Cor (mg Pt/Co)	Turbidez (UNT)	Tempo de Filtração (min)
0				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
Observações				

11. Tipos de Lodo e Fonte de Sólidos

De uma forma geral, os resíduos gerados em ETAs podem ser divididos em quatro grandes categorias:

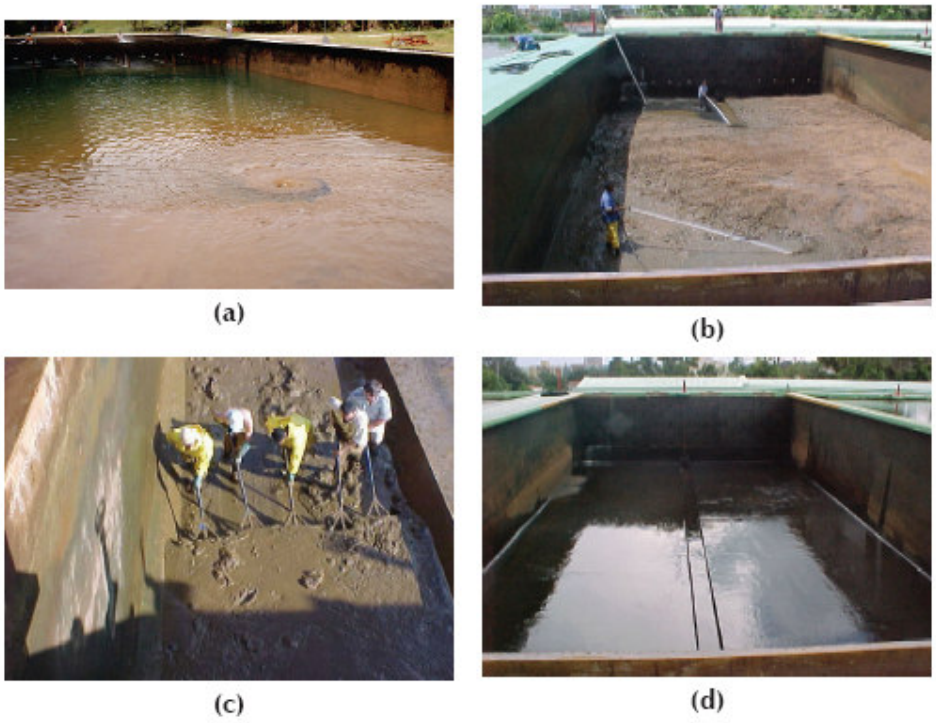
- Resíduos gerados durante processos de tratamento de água visando a remoção de cor e turbidez. Em geral, os resíduos sólidos produzidos englobam os lodos gerados nos decantadores (ou eventualmente de flotadores com ar dissolvido) e as água de lavagem dos filtros.
- Resíduos sólidos gerados durante processos de abrandamento.
- Resíduos gerados em processos de tratamento avançado visando a redução de compostos orgânicos presentes na água bruta, tais como carvão ativado granular saturado, ar proveniente de processos de arraste com ar, etc.
- Resíduos líquidos gerados durante processos visando a redução de compostos inorgânicos presentes na água bruta, tais como processos de membrana (osmose reversa, ultrafiltração, nanofiltração, etc.

O tratamento da água é composto por várias etapas. Na etapa de clarificação, a água bruta sofre processos físico-químicos a fim de eliminar as partículas causadoras de turbidez. Ao final deste processo, tem-se água clarificada e um resíduo que fica retido no fundo dos decantadores das ETAs e que é denominado *lodo de ETA*. Este lodo é uma substância extremamente gelatinosa e resistente ao adensamento, principalmente quando a água bruta possui baixa turbidez.

A natureza e a quantidade de lodos gerados numa ETA depende, entre outros, dos seguintes fatores:

- Sólidos em suspensão, turbidez e cor aparente da água bruta;
- Dosagens de produtos químicos: sulfato de alumínio, cloreto férrico, tanino, PAC, polieletrólitos, cal, carvão ativado, etc;
- Freqüência de remoção de lodo dos decantadores;

Durante o processo convencional de tratamento de água são gerados basicamente dois tipos de resíduos, a saber: o primeiro deles é o resíduo sólido gerado nos decantadores (ou eventualmente em flotadores com ar dissolvido) o segundo, contém os resíduos gerados na operação de lavagem dos filtros. A figura 73 ilustra seqüência de limpeza dos decantadores de uma ETA convencional.



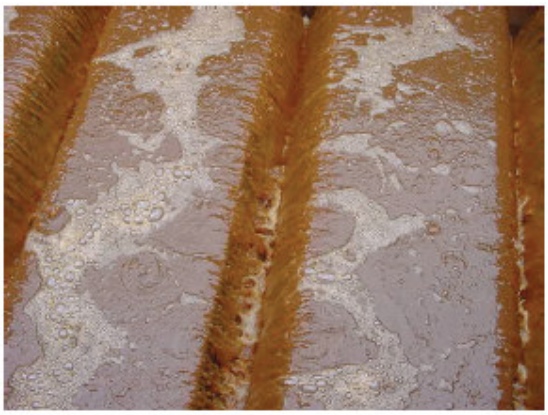
Fonte: CORDEIRO (2007).

Figura 73. Operação de limpeza dos decantadores de uma ETA convencional. (a) esgotamento do decantador através de abertura de válvula de fundo; (b) e (c) remoção do lodo; (d) decantador ao final do processo de limpeza.

Em termos volumétricos, a maior quantidade de resíduo gerado é proveniente dos decantadores, e em termos mássicos, a maior quantidade de lodo produzida é proveniente do sistema de separação sólido-líquido que, em uma estação convencional de tratamento de água, é basicamente efetuada também nos decantadores convencionais de fluxo horizontal ou decantadores laminares.

Cada linha geradora de resíduos sólidos apresenta características distintas em termos de vazão e concentração de sólidos, razão pela qual diferentes concepções de tratamento devem ser consideradas.

Outro resíduo do tratamento de água é gerado durante a etapa de filtração: a água de lavagem dos filtros, conforme ilustrado nas figuras 74 e 75.



Fonte: Barbosa, 2007.

Figura 74. Operação de lavagem de um filtro rápido em uma ETA convencional.

Fonte: Barbosa, 2007.

Figura 75. Aspecto da água removida no início do processo.

Historicamente, no Brasil, o tratamento dos resíduos sólidos gerados durante o processo de lavagem de meios filtrantes e o seu posterior reaproveitamento é o que tem recebido maior atenção. No entanto, são pouco conhecidos os processos de tratamento do lodo gerado nos decantadores convencionais de escoamento horizontal ou de fluxo laminar, mais especificamente, as operações unitárias de adensamento, que é processo preparatório para o seu posterior condicionamento e desidratação final.

Sabe-se através de levantamentos realizados nas próprias estações que o volume de lodo gerado (sólidos) nos decantadores é muito preocupante uma vez que hoje se busca estar protegendo os mananciais, principalmente quanto à qualidade dos mesmos, para que num futuro próximo a situação que hoje já é alarmante não fique ainda pior.

Nos países desenvolvidos, o lançamento destes resíduos vem sendo drasticamente reduzido, como resultado de legislações mais rigorosas de controle da poluição, da crescente escassez de recursos hídricos, e também por causa do grande desperdício que representa descartar de 2 a 6% do volume de água produzido numa Estação de Tratamento de Água (ETA), gastos nas atividades de lavagem dos filtros, e descargas dos decantadores.

O lodo produzido nas estações é composto de argila, siltes, areia fina, material húmico e microrganismos, bem como de produtos provenientes do processo de coagulação. Devido à

esses fatores os lodos formados por hidróxidos de alumínio e ferro são de difícil adensamento e desidratação, sendo necessário o seu pré-condicionamento, antes de serem submetidos a esses processos.

Classificação das frações de água contida nos lodos

A água contida nos lodos pode ser dividida em três frações, conforme ilustrado na figura 76.

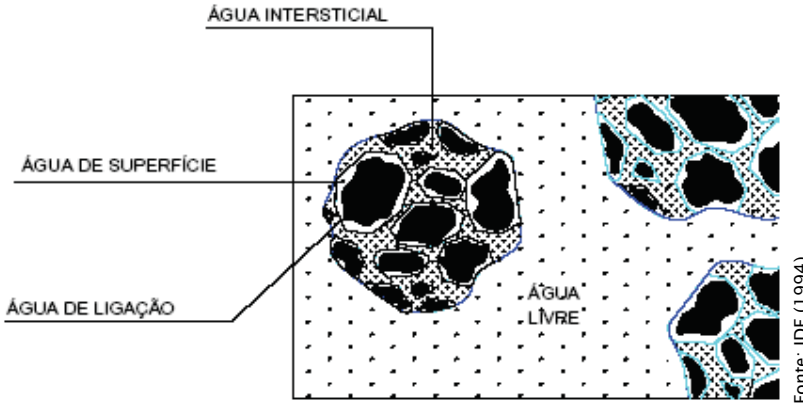


Figura 76: Distribuição da água no lodo.

Água intersticial: está adsorvida na superfície das partículas sólidas. Somente pode ser removida por força mecânica ou pelo uso de floculante.

Água de ligação: É a água de constituição da partícula. É parte da fase sólida e só pode ser removida através de forças térmicas.

Água superficial: água de superfície ou coloidal, que é a umidade que está presa na superfície das partículas sólidas por adsorsão e adesão.

Água livre: é a água retida entre os flocos de maneira similar a uma esponja; não é associada com as partículas sólidas, e pode ser facilmente separada por gravidade;

O lodo gerado nos decantadores possui teor de sólidos entre 0,1% e 4,0 %, dependendo do tipo decantador e da freqüência de limpeza. Quanto à água de lavagem de filtros, como o teor de sólidos é menor, entre 0,01% a 0,1% a recirculação da água de lavagem para o início da estação torna-se um procedimento interessante.

A água de hidratação presa nos flocos torna o lodo volumoso e gelatinoso o que dificulta o desaguamento. Esse lodo é tixotrópico, isto é, apresenta-se em estado gel quando em repouso e relativamente líquido quando agitado. Esta característica faz com que os sólidos presentes no lodo praticamente não sedimentem, permanecendo em suspensão.

TIXOTRÓPICA
Substância que se comporta como líquido quando agitada e como gel, quando em repouso.

De acordo com a NBR-10.004 (2004), os lodos são enquadrados como resíduos sólidos - Classe II A - não inertes e, portanto, devem ser tratados e dispostos dentro dos critérios estabelecidos por esta norma.

11.1. Quantidade de Lodo

Para que o lodo possa ser utilizado como matéria-prima de um processo industrial, é necessário que o mesmo seja previamente desidratado. Caso contrário, torna-se inviável seu destino devido aos elevados custos de transporte, uma vez que aproximadamente 97% do lodo é constituído de água.

Uma pequena remoção na umidade produz uma alta redução do volume inicial, como demonstra a figura 77.

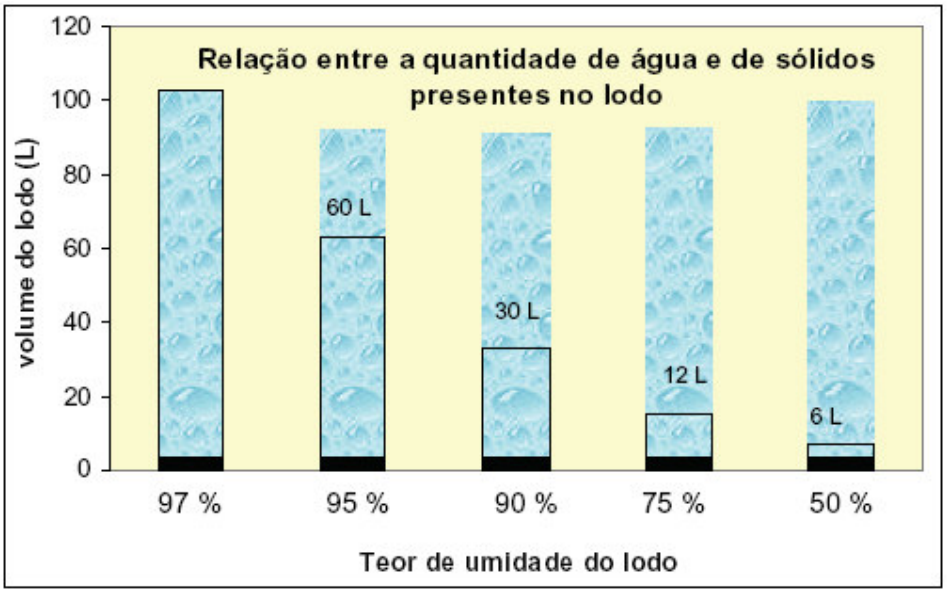


Figura 77: Redução do volume do lodo em função da redução do teor umidade do mesmo.

11.2. Métodos de Processamento

A desidratação pode ser realizada por meios naturais ou mecânicos. Entre os naturais, estão os leitos de secagem e as lagoas de lodo (Figura 78). Já a desidratação mecanizada faz uso de equipamentos tais como: centrífugas, filtro-prensas, flotadores, etc (Figura 79).

Fonte: Sampaio, 2007 e Pieper, 2007.

(a) (b)

Figura 78: Sistemas naturais de desidratação de lodos. (a) leitos de secagem (b) lagoas de lodo.

Fonte: Sampaio, 2007 e www.pieralisi.com

(a) (b)

Figura 79: Sistemas mecanizados de desidratação de lodos. (a) filtro-prensa (b) centrífuga.

A relação entre a umidade e o estado físico do lodo é definida através das seguintes faixas:

- Umidade de 100 a 75 %: lodo fluido.
- Umidade de 75 a 65 %: torta semi-sólida.
- Umidade de 65 a 40 %: sólido duro.
- Umidade de 40 a 15 %: lodo em grânulos.
- Umidade de 15 a 0 %: lodo desintegrado em pó fino.

12. Filtração Por Membranas

12.1. Fundamentos

Os Processos de Separação com Membranas apresentam diversas aplicações na separação e purificação de misturas gasosas e líquidas. Os principais processos são os de Microfiltração, Ultrafiltração, Nanofiltração, Osmose Inversa, Diálise, Eletrodiálise, Pervaporação, Permeação de gases e vapores.

Os **filtros** convencionais, amplamente empregados em residências e estabelecimentos comerciais, não conseguem reter a totalidade de microorganismos presentes na água. O emprego de material bacteriostático, como resinas contendo metais de transição ou carvão ativado impregnado com prata coloidal, também não consegue retenção absoluta, havendo possibilidades da passagem de microorganismos.

A **filtração com membranas é uma filtração absoluta**, baseada na exclusão por tamanho, garantindo a qualidade da água e ausência microbiana. Neste sentido, atua na purificação da água e representa uma garantia de saúde e qualidade para os produtos, podendo ser utilizada em diversas aplicações no setor hospitalar, na fabricação de medicamentos e de alimentos. **Membranas de microfiltração e ultrafiltração** possuem muitas outras aplicações tais como:

- Concentração e Purificação de proteínas e enzimas;
- Pasteurização do leite e outras bebidas lácteas;
- Recuperação de corantes;
- Concentração de tintas;
- Produção de água estéril para hospitais e aplicações farmacêuticas.
- Biotecnologia e Farmácia
- Purificação bacteriológica de meios de cultura;
- Purificação bacteriológica de meios injetáveis (injeção e soros) – como garantia bacteriológica, antes do envase final do produto ou antes do uso, como no caso de soros;
- Purificação de Ar
- Purificação de ar de processo em biotecnologia;
- Melhoria da qualidade do ar em sistemas de ar condicionado;
- Fornecimento de ar isento de bactérias para Centros Cirúrgicos e UTIs.
- Pré-Tratamento de Processos de Nanofiltração e Osmose Inversa – protegem as membranas de nanofiltração e de osmose inversa, eliminando todo material em suspensão e aumentando a vida útil das membranas;

12.1.1. Filtração por Membrana

As membranas usadas no tratamento de água, utilizam a pressão como força motriz para a separação. Dentro dessa categoria de membranas, existem diversos tipos, sendo que cada um

deles é mais adequado para um determinado propósito de tratamento de água. A microfiltração e a ultrafiltração, que são processos a baixas pressões, removem mais eficientemente partículas e microorganismos.

O processo de osmose reversa dessaliniza e remove compostos orgânicos e inorgânicos sintéticos e matéria orgânica natural, enquanto que a nanofiltração remove íons cálcio e magnésio. As vantagens associadas à filtração por membranas são a produção de um menor volume de lama, menor espaço ocupado na usina, potencial de automação do processo e uma redução considerável das unidades utilizadas em clarificação para processos que se utilizem dessas duas técnicas de separação sólido-líquido.

A principal desvantagem da filtração por membranas é a possibilidade de obstrução irreversível dos poros devido à presença de sólidos em suspensão, havendo a necessidade prévia de remoção desses sólidos por outros métodos.

12.1.2. Tecnologia de filtração de membrana oca

A tecnologia de filtração de membrana oca para o tratamento de água, fornece uma das maneiras mais simples e efetivas para clarificação e desinfecção. As membranas de fibra oca, que mais parecem fios de macarrão ocos por dentro, utilizam uma exclusão física para filtrar a água. As paredes poliméricas dos fios da membrana têm bilhões de poros, que agem como uma peneira para filtrar as partículas, turbidez e patogênicos, permitindo a vazão da água com virtualmente nenhuma queda de pressão.

APLICABILIDADE: Estudo de caso da Região Chaco, Paraguai

PROBLEMA:
Comunidades locais coletam água durante a estação de chuva em açudes chamados "Tajamars". Exposição ao ar e sol permite que bactérias, protozoários e alga proliferem. Os níveis de Turbidez são freqüentemente mais altos do que 100 NTU. Durante a estação da seca, esta água é utilizada para irrigação e como "uma última fonte" para suprimento de água potável quando os poços secam.

SOLUÇÃO:
Um simples filtro manual de areia acompanhado de um Sistema de Ultrafiltração produz 38 L/min de água potável utilizando fontes bombeadas diretamente de um "Tajamar". A água é utilizada para as casa locais na comunidade e engarrafada para venda para as comunidades vizinhas. Um hospital laboratório local foi utilizado para testar a água produzida e "não acredita que esta água de alta qualidade tenha sido produzida localmente".

As membranas de fibra oca estão disponíveis em níveis de microfiltração (MF) ou ultrafiltração(UF). As membranas de microfiltração filtram a 0.2-0.1 micron nominal. As membranas de ultrafiltração(UF) filtram aproximadamente a 0.05-0.02 micron nominal.

A eficiência e atuação da membrana de UF é baseada no tamanho do poro, na distribuição do tamanho do poro, na permeabilidade, na área de superfície, nas características de encrustamento e consistência da membrana.

O tamanho nominal do poro é o fator determinante das características de rejeição partícula/patogênica da membrana. Caso muitos dos poros forem maiores do que o tamanho nominal do poro, ou se houverem menos poros que sejam significativamente maiores do que o tamanho nominal do poro, a membrana terá características pobres de rejeição contra patógenes pequenos, tais como os vírus. A distribuição do tamanho do poro é controlada através de uma boa base química da membrana e um processo de fabricação de poros fechados controlado. Para que as membranas de UF sejam capazes de rejeitar os vírus, a distribuição dos poros da membrana devem ser bem fechados.

A permeabilidade é a medida da taxa de fluxo da membrana. Representa a pressão necessária para atingir uma taxa de vazão específica. Quanto maior a permeabilidade da membrana, maior será a sua eficiência. A área de superfície representa a quantidade de área da membrana disponível para que a água passe por ela. Uma superfície maior, combinada com uma alta permeabilidade resultará em maior produção de água.

Tanto a sentido de vazão de fora para dentro como de dentro para fora através das paredes da membrana são utilizadas hoje no setor de tratamento de água. Uma passagem de vazão de fora-para-dentro, fornece uma filtração significativamente maior da superfície de área devido a parte externa da circunferência da membrana. Além disso, uma vazão de fora para dentro previne as partículas grandes de se acomodarem nos furos da membrana, que pode ocorrer com a vazão de dentro para fora. Isto pode resultar num aumento de stress, levando ao enfraquecimento e quebra da fibra através do tempo, já que as fibras da membrana flexionam durante uma operação normal.

As características de encrustamento e um regime de limpeza são cruciais para a vida útil da fibra da membrana. O desenho e a composição química da casca da membrana afeta as características de encrustamento. As membranas não-descartáveis são limpas de forma regular, utilizando-se uma membrana de vazão linear para as membranas de dentro para fora ou uma combinação de vazão linear aliada a uma limpeza da parede “através da membrana” para as membranas de vazões de fora para dentro. Geralmente, a limpeza da parede “através da membrana”, utilizando-se água pré-filtrada na direção oposta do fluxo normal é o método mais eficiente, já que ambos, empurram os resíduos/patogenes que foram coletados na casca da membrana, e desacomoda as partículas que começam a grudar nos poros durante a filtração normal.

Existem numeras empresas trabalhando com fibras de membrana oca em todo o mundo. Muitas delas conseguiram produzir uma membrana satisfatória numa base de produção limitada em laboratório.

12.2. Osmose Reversa

A osmose natural ocorre quando duas soluções salinas de concentrações diferentes encontram-se separadas por uma membrana semipermeável. Neste caso, a água (solvente) da solução menos concentrada tenderá a passar para o lado da solução de maior salinidade. Com isto, esta solução mais concentrada, ao receber mais solvente, se dilui, num processo impulsionado por uma grandeza chamada "pressão osmótica", até que as duas soluções atinjam concentrações iguais. (Figura 80)

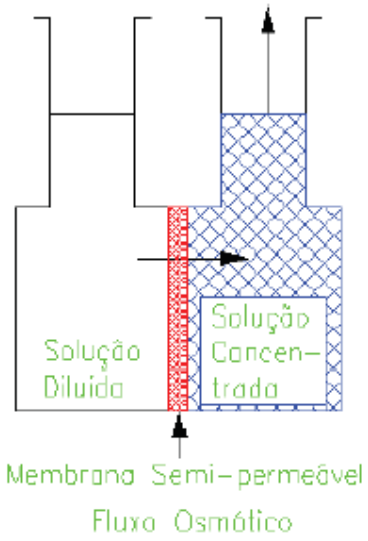


Figura 80: Esquema da osmose reversa

A Osmose é um fenômeno natural físico-químico. Quando duas soluções, com diferentes concentrações, são colocadas num mesmo recipiente separados por uma membrana semi-permeável, ocorre naturalmente a passagem do solvente da solução mais diluída para a solução mais concentrada, até que se encontre um equilíbrio.

Neste ponto a coluna de solução do lado da solução mais concentrada estará acima da coluna do lado da solução mais diluída. Esta diferença entre colunas de solução se denominou Pressão Osmótica (Figuras 81 e 82).

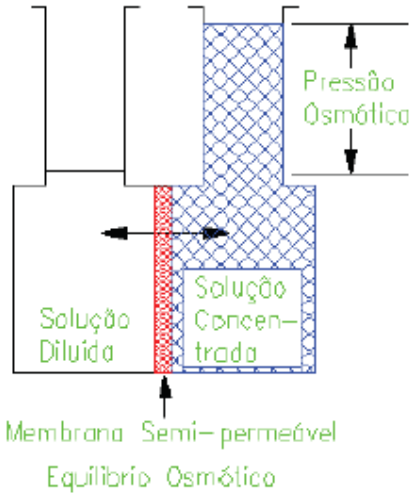


Figura 81: Detalhamento da pressão osmótica.

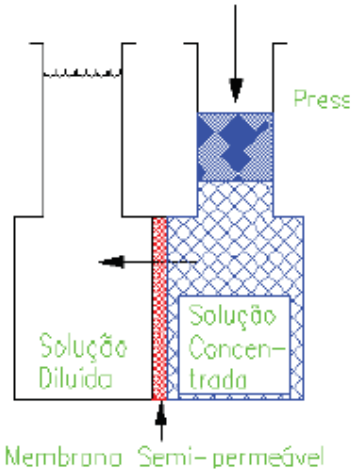


Figura 82: Detalhamento da pressão na solução mais concentrada.

A Osmose Reversa é obtida através da aplicação mecânica de uma pressão superior à Pressão Osmótica do lado da solução mais concentrada.

SAIBA MAIS:
Osmose é uma palavra adicionada aos nossos dicionários desde o final do século passado. A palavra vem do grego (*osmós*) e significa "impulso". Popularmente, os estudantes caracterizam a tentativa de "aprender por osmose" como a prática de andar com um livro debaixo do braço. A brincadeira conceitua bem o fenômeno: o conhecimento (a essência) seria absorvido, ficando as páginas do livro.

A osmose reversa ocorre quando se aplica uma pressão no lado da solução mais salina ou concentrada, revertendo-se à tendência natural. Neste caso, a água da solução salina passa para o lado da água pura, ficando retidos os íons dos sais nela dissolvidos. A pressão a ser aplicada equivale a uma pressão maior do que a pressão osmótica característica da solução.

Um dos problemas no uso da osmose reversa é a presença de certas substâncias na água de alimentação do processo que, sem a devida atenção, podem diminuir a produtividade, diminuindo o fluxo de água doce produzida, ou tornar a água produto mais concentrada em sais, até torná-la imprópria para consumo. A pressão de operação tende também a aumentar gradativamente, para superar a diminuição de área útil de permeação da membrana.

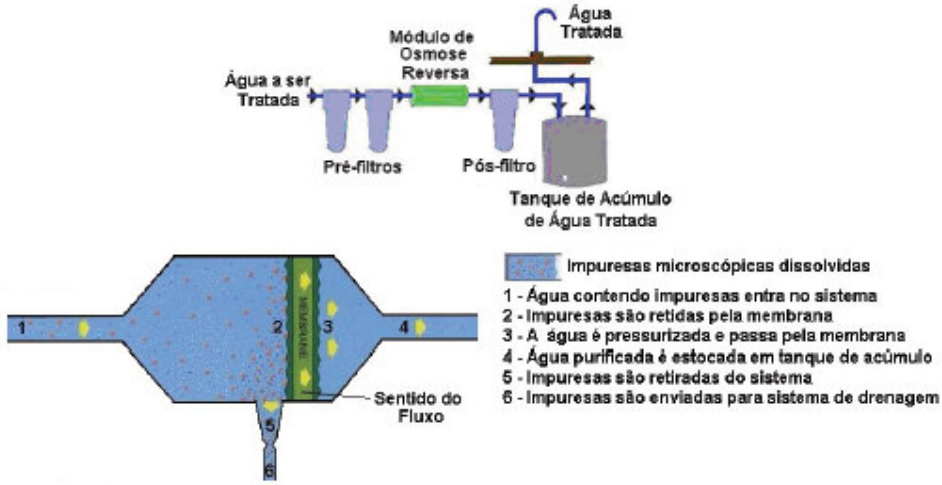


Figura 83. Esquema de um processo de filtração por osmose reversa.

Estas substâncias presentes em todas as águas são de duas naturezas: sais dissolvidos e matéria orgânica. Desta forma dividimos o problema de sujeira em membranas em dois tipos:

Incrustantes: são sais normalmente solúveis na água e que precipitam e se cristalizam na superfície das membranas. Isso é facilmente entendido quando verificamos que na área externa próxima à membrana a concentração de sais é bem superior à concentração do sal na água de entrada, podendo atingir o limite de solubilidade e assim precipitando. Uma maneira de evitar o problema é fazer com que mais água passe do lado externo das membranas, mas assim estaremos diminuindo a recuperação do sistema.

Os principais sais que promovem a incrustração são obviamente sais de cálcio e magnésio (sulfato e carbonato), sílica como SiO_2 e hidróxido de ferro.

Uma das maneiras de contornar o problema é aumentar a temperatura da água e diminuir o pH, pois nesse caso aumentamos a solubilidade da sílica, incrustante mais difícil de remover.

Por isso os fabricantes de membranas disponibilizam produtos químicos para limpar as membranas periodicamente, os quais promovem a dissolução dos incrustantes na superfície da membrana. Os principais produtos químicos para limpeza química de incrustantes são os produtos à base de ácido fosfórico ou ácido cítrico. O ideal é utilizar o produto fornecido pelo fabricante do dessalinizador, pois vem numa formulação adequada ao manuseio seguro e se constituem de fórmulas já extensamente testadas e comprovadas.
Portanto, para se promover à limpeza química de incrustantes deve se utilizar à lavagem ácida.

Sujeira ou depósito orgânico: podem ser entendidos como todo o material em suspensão na água e que se deposita na superfície da membrana. Podem ser classificados em três categorias: colóides, sólidos em suspensão e material biológico.

Os colóides podem ser de origem mineral ou orgânica, e tendem a coalescer e se aglomerar na área próxima à superfície da membrana depositando-se nela. Os sólidos em suspensão são partículas maiores de origens diversas e que tem tendência a se depositar. O depósito orgânico de origem biológica é constituído por fungos e bactérias e apresenta maiores problemas porque estão presentes em praticamente todas as águas e normalmente se multiplicam em determinadas condições.

A sujeira ou depósito deve ser evitada com um pré-tratamento (filtração) adequado a água a ser tratada. Entretanto a oclusão das membranas causada por crescimento bacteriológico é mais difícil de combater, pois o emprego de biocida na água a ser tratada impede o seu consumo posterior.

A limpeza química recomendada neste caso é a limpeza alcalina, mais uma vez com a formulação indicada pelo fabricante.

Como evitar a incrustação e oclusão das membranas

Uma regra básica de todos os fabricantes de membranas e dessalinizadores é que as lavagens químicas devem ser realizadas quando a produção de água diminuir 10% ou a pressão de operação tiver que ser aumentada em 10% para manter a mesma produção anterior. Ora, isto em equipamentos de pequeno porte é muito difícil de monitorar porque a precisão dos instrumentos indicadores de pressão e principalmente vazão é muito pobre.

Ou seja, quando se detecta uma diminuição significativa na produção de água doce é porque a membrana já está seriamente comprometida. Então, deve se adotar uma postura preventiva, que é um programa de lavagem com água doce e produtos químicos mais freqüentes.

13. Desinfecção

13.1. Finalidades e métodos

A água consumida pela população deve estar isenta de microrganismos patogênicos.
A eliminação ou inativação desses microrganismos é conhecida como desinfecção. A tabela a seguir apresenta a dose infectante dos principais microrganismos relacionados às doenças de veiculação hídrica.

Agente	Dose infectante*
Escherichia coli	100 a 10^9
Entamoeba histolitica	10 a 100
Vibrio cholerae	10^8
Giardia lamblia	1 a 10
Enterovírus	1 a 72
Hepatite A	1 a 10
Cryptosporidium	1 a 30
Rotavírus	1 a 10
Salmonella	10^8 a 10^7

*Dose infectante é a dose que provoca sintomas clínicos em 50% dos indivíduos testados

A escolha de um desinfetante depende:

- Habilidade de controlar e destruir os diferentes agentes infecciosos sob condições normais de operação;
- Características que possam ameaçar pessoas e ambiente durante a aplicação e depois;
- Segurança de manuseio, estocagem e transporte;
- Custo.

O ***cloro*** é o sistema mais antigo e ainda o mais usado. Sua ação se dá por oxidação celular dos microorganismos e pode ser aplicado na forma de gás, de soluções de hipoclorito ou dióxido de cloro. Ele tem sido empregado como desinfetante primário na maioria das estações que trata água superficial ou subterrânea, tanto como pré-desinfectante como pós-desinfectante, para manutenção de residual na rede. O processo de cloração será abordado em detalhes no item 13.4.

O ***ozônio*** é outro forte oxidante, aplicado na forma de gás, deve ser produzido *in loco*, por descarga elétrica através de ar seco ou oxigênio puro. É capaz de oxidar compostos orgânicos e inorgânicos na água, entretanto, isso implica em uma demanda de ozônio antes que realmente ocorra a desinfecção.

O ozônio decompõe-se na água espontaneamente em pequenos intervalos de tempo, o que gera a dificuldade de manter uma concentração residual na rede de abastecimento caso seja utilizado este método de desinfecção.

O sistema completo de desinfecção consiste no gerador de ozônio, no reator ou câmara de contato entre o gás e a água a ser desinfetada e no equipamento para destruição do ozônio gasoso que não foi dissolvido na água.

A ***radiação ultravioleta*** (UV) é gerada também *in loco* por descarga elétrica através de lâmpadas de vapor de mercúrio. Esta radiação natural, parte do espectro não visível dos raios do sol, penetra no corpo dos microorganismos, altera seu código genético e impossibilita a reprodução.

Os parâmetros de qualidade da água para aplicação de radiação UV são:

- Turbidez – máx. 5 NTU
- Sólidos Suspensos – máximo 10 mg/L
- Cor – nenhum
- Ferro – máx. 0,3 mg/l
- Manganês – máx. 0,05 mg/l
- pH – 6,5 a 9,5

Vantagens da desinfecção por UV:

- É eficiente para eliminar bactérias, vírus, esporos e cistos;
- É um processo físico não, adiciona produtos químicos ao meio;
- Não tem necessidade de transporte, armazenamento e manuseio de produtos tóxicos ou corrosivos;
- Não há efeito residual que possa prejudicar humanos, meio ambiente ou vida aquática;
- Não altera o pH ou qualquer propriedade físico-química da água;
- Ocupa menos espaço que a instalação de outros métodos;
- Preserva o gosto da água;
- Ação rápida: 0,5 -5,0 seg contra 20 – 40 minutos no caso do cloro e/ou ozônio.

13.2. Equipamentos dosadores

Para os desinfetantes que se apresentam na forma líquida, a dosagem pode ser controlada através de bomba dosadora (Figura 84). Um tipo de bomba que se adequa a este procedimento é a bomba peristáltica.

Figura 84. Bomba dosadora de desinfectante líquido.

Seu funcionamento é simples: do lado esquerdo da bomba ocorre a aspiração de produto do reservatório ou da bombona. O rolete, pressionando a mangueira contra o cabeçote (Figura 85), cria um vácuo no lado de aspiração, puxando o produto a ser dosado para dentro da bomba. Do lado direito da bomba ocorre a pressurização e injeção do produto. Com os roletes "empurrando" o produto que se encontra no cartucho, movimentam o conteúdo da mangueira de injeção. Os componentes da bomba são:

1. Cabeçote em forma de ferradura, para guiar a mangueira do cartucho hidráulico;
2. O próprio cartucho hidráulico, que é a mangueira na qual corre o produto a ser dosado;
3. Os roletes, montados no braço portarolete, que pressionam a mangueira do cartucho hidráulico contra o cabeçote;
4. O eixo central da bomba, que gira o braço porta-rolete;
5. Conexão para mangueira de aspiração (entrada da bomba);
6. Conexão para mangueira de injeção (saída da bomba);
7. Motor elétrico.

Figura 85. Cabeçote da bomba dosadora.

13.3. Cloração

Como já mencionado anteriormente, o cloro é o desinfetante mais utilizado mundialmente, podendo estar na forma gasosa (Cl_2) ou na forma líquida como hipoclorito de sódio (NaOCl) ou hipoclorito de cálcio ($Ca(OCL)_2$). Outra forma ainda de utilização do cloro é como dióxido de cloro (ClO_2).

O gás cloro é amarelo esverdeado e pesa cerca de 2,5 vezes mais que o ar. Já o cloro líquido tem coloração âmbar e pesa cerca de 1,4 vezes mais que a água. Um litro de cloro líquido produz 450 litros de gás. Embora seja largamente utilizado e tenha grande importância no tratamento de águas, é uma substância extremamente tóxica. Outro problema relativo ao cloro é que ele reage com os componentes orgânicos presentes na água formando subprodutos carcinogênicos ou mutagênicos.

Quando o cloro gasoso é adicionado à água, duas reações ocorrem:

$$Cl_2 + H_2O \leftrightarrow HOCl + H^+ + Cl^-$$
$$HOCl \leftrightarrow H^+ + OCl^-$$

A quantidade de HOCl e OCl^- presente na água é chamada *cloro livre disponível*. A distribuição destas duas espécies é muito importante, pois a eficiência da desinfecção do HOCl é cerca de 40 a 80 vezes maior que o OCl^-.

Quando hipoclorito é adicionado, também há formação de HOCl:

$$Ca(OCl)_2 + 2H_2O \leftrightarrow 2HOCl + Ca(OH)_2$$
$$NaOCl + H_2O \leftrightarrow HOCl + NaOH$$

A distribuição destas duas espécies é muito importante, pois a eficiência da desinfecção do HOCl é cerca de 40 a 80 vezes maior que o OCl^-.

Quando há presença de nitrogênio na água, na forma de amônia, haverá formação de cloraminas, em reações sucessivas:

$NH_3 + HOCl \rightarrow NH_2Cl + H_2O$ monocloramina
$NH_2Cl + HOCl \rightarrow NHCl2 + H_2O$ dicloramina
$NHCl_2 + HOCl \rightarrow NCl_3 + H_2O$ tricloreto de nitrogênio

Estas reações são dependentes do pH, temperatura, tempo de contato e concentrações de cloro e amônia na água. As duas espécies predominantes são a monocloramina e a dicloramina e são chamadas de "cloro disponível combinado". Estes compostos também são desinfetantes, entretanto, sua reação é muito lenta, precisando um tempo maior de contato.

O cloro, apesar de ser o mais comum agente desinfetante, descobriu-se recentemente, reage com a matéria orgânica decomposta existente na água, para formar os trihalometanos (THMs), produtos cancerígenos, em cuja molécula os três átomos de hidrogênio podem ser substituídos por halogênios (cloro, flúor, bromo ou iodo).

Entre os THMs, citam-se o clorofórmio ($CHCl_3$), o mais comum, o bromofórmio ($CHBr_3$), o dibromo clorometano ($CHBr_2Cl$) e o bromodiclorometano ($CHBrCl_2$). Informações toxicológicas referem-se sempre ao Clorofórmio, permitindo um valor máximo de 0,1 mg/L.

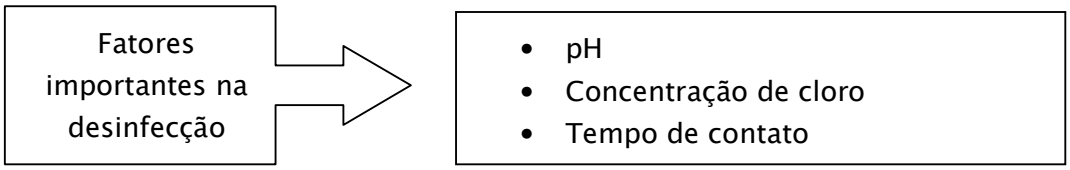
Tabela 9. Quantidade máxima permitida de desinfetantes e subprodutos da desinfecção em águas de abastecimento de acordo com a Portaria 518/2004.

Desinfetantes e produtos secundários da desinfecção	Concentração máxima permitida (mg/l)
Cloro livre	5,0
Clorito	0,2
Monocloramina	3,0
Bromato	0,025
2,4,6 Triclorofenol	0,2
Trihalometanos total	0,1

13.4. Fatores que afetam a desinfecção com cloro

O pH da água é um dos fatores que irá interferir na eficiência da desinfecção. Valores entre 6,5 e 7 garantem que mais de 80% do cloro adicionado estará na forma de HOCl, ou seja, a forma de maior eficiência de desinfecção. Se o pH da água estiver entre 7,5 e 8 os valores já caem para menos de 50% de HOCl, prevalecendo o cloro na forma dissociada OCl^-.

Como em qualquer processo de desinfecção, não somente a quantidade de desinfetante adicionada como o tempo de contato entre o desinfetante e a água que está sendo tratada é muito importante.



13.5. Residual de cloro

A quantidade de HOCl (ácido hipocloroso) e OCl- presente na água é chamada *cloro livre disponível*. Para as águas de abastecimento é importante que permaneça uma quantidade de cloro livre na saída da estação de tratamento de modo que o cloro continue agindo por toda a rede de distribuição.

Esta é a forma de garantir a ausência de patogênicos até que a água seja consumida pela população. De acordo com a Portaria 518/2004, a quantidade máxima permitida de desinfetantes e subprodutos da desinfecção em águas de abastecimento é:

Desinfetantes e produtos secundários da desinfecção	Concentração máxima permitida (mg/l)
Cloro livre	5,0
Clorito	0,2
Monocloramina	3,0
Bromato	0,025
2,4,6 Triclorofenol	0,2
Trihalometanos total	0,1

13.6. Curva de Breakpoint

A manutenção de uma concentração residual de cloro, livre ou combinado, com o propósito de desinfecção, pode tornar-se bastante complicado, pois o cloro é um agente oxidante e reage com várias substâncias presentes na água (matéria orgânica).

O termo *cloração ao breakpoint* (Figura 86) é aplicado ao processo em que se adiciona cloro suficiente para reagir com todas as substâncias que podem ser oxidadas. Sendo assim, qualquer quantidade de cloro adicionada além da concentração de *breakpoint* permanecerá na água na forma de cloro livre.

Quando cloro é adicionado na água, prontamente oxida substâncias como sais de ferro, de manganês e matéria orgânica, destruindo o cloro residual (ponto A). Após esta demanda imediata, o cloro continua a reagir com amônia formando cloraminas (entre os pontos A e B). Entre os pontos B e C (ponto de *breakpoint*), algumas cloraminas podem ser convertidas em

tricloreto de nitrogênio. As cloraminas que ainda restaram serão transformadas em óxido nitroso (N2O) e nitrogênio (N2) e o cloro será reduzido a íon cloreto.

Com a adição contínua de cloro, a maior parte das cloraminas será oxidada no *breakpoint*. Passando-se deste ponto, a adição de cloro resulta em um aumento proporcional na quantidade de cloro livre disponível.

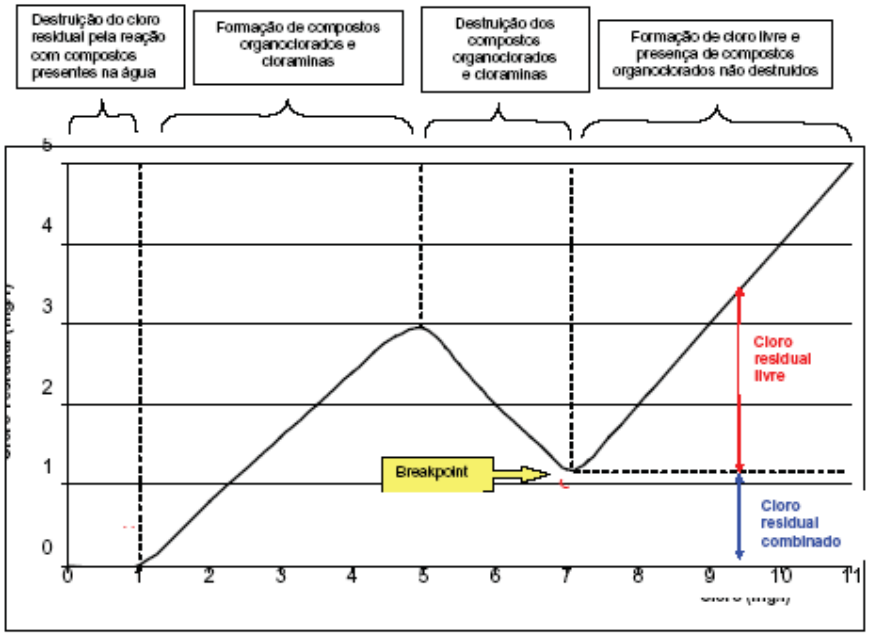


Figura 86. Curva de breakpoint.

14. Disposição dos rejeitos de estações de tratamento de água

Historicamente, no Brasil, o tratamento dos resíduos sólidos gerados durante o processo de lavagem de meios filtrantes e o seu posterior reaproveitamento é o que tem recebido maior atenção. No entanto, são pouco conhecidos os processos de tratamento do lodo gerado nos decantadores convencionais de escoamento horizontal ou de fluxo laminar, mais

especificamente, as operações unitárias de adensamento, que é processo preparatório para o seu posterior condicionamento e desidratação final.

Sabe-se através de levantamentos realizados nas próprias estações que o volume de lodo gerado (sólidos) nos decantadores é muito preocupante uma vez que hoje se busca estar protegendo os mananciais, principalmente quanto à qualidade dos mesmos, para que num futuro próximo a situação que hoje já é alarmante não fique ainda pior.

Nos países desenvolvidos, o lançamento destes resíduos vem sendo drasticamente reduzido, como resultado de legislações mais rigorosas de controle da poluição, da crescente escassez de recursos hídricos, e também por causa do grande desperdício que representa descartar de 2 a 6% do volume de água produzido numa Estação de Tratamento de Água (ETA), gastos nas atividades de lavagem dos filtros, e descargas dos decantadores.

O lodo produzido nas estações é composto de argila, siltes, areia fina, material húmico e microrganismos, bem como de produtos provenientes do processo de coagulação. Devido à esses fatores os lodos formados por hidróxidos de alumínio e ferro são de difícil adensamento e desidratação, sendo necessário o seu pré-condicionamento, antes de serem submetidos a esses processos. Por isso, uma pratica comum nestas ETA's é o uso de polímeros, sejam eles catiônicos, aniônicos ou não iônicos.

A operação unitária de adensamento é uma das mais importantes no processo de tratamento de lodos gerados em estações de tratamento de água. O adensamento por ser uma das primeiras unidades do tratamento, tem por finalidade aumentar o teor de sólidos do lodo gerado. A redução de volume obtido pelo adensamento do lodo é de fundamental importância para as unidades de tratamento posteriores, especialmente quanto a desidratação.

Os sistemas para adensar os lodos gerados nas estações podem ser feitos por gravidade, por flotação ou mecanicamente através de centrífugas (Figura 87) ou filtros prensa (Figura 88) de esteira. Estas alternativas apresentam vantagens e desvantagens e, a sua seleção depende de estudos técnicos e econômicos os quais serão explicados no decorrer do estudo.

Figura 87. Centrífuga de lodo.

Dentre as alternativas racionais utilizadas para descarte de lodo de ETA's está a recuperação e reciclagem de coagulantes, com descarte do lodo excedente em aterro. Estudos recentes sugerem que a aplicação de coagulantes regenerados no tratamento físico químico de esgotos, sem a separação dos sólidos inertes, pode ser uma estratégia interessante para disposição deste tipo de resíduo (Piotto, Resende e Gonçalves, 1997). Esta prática reduz a quantidade de resíduos necessitando de disposição final em uma ETA e, além disso, o lodo será transferido para a ETE que normalmente dispõe de unidades específicas para seu tratamento.

Uma Estação de Tratamento de Lodo (ETL) tem em sua concepção sistemas mecanizados de adensamento e desidratação meios pelos quais com a adição de polímeros torna-se possível fazer a separação dos sólidos contidos no lodo de fundo dos decantadores e da água de lavagem dos filtros, possibilitando assim uma disposição final adequada para estes resíduos.

Para se fazer a disposição desse resíduo, correta do ponto de vista ambiental e factível em termos econômicos, é necessário a separação água-sólido.

Segundo DHARMAPPA *et al.* (1997), o tratamento de lodo e disposição final pode ser classificado em seis grandes categorias:

Adensamento: processo de aumento da concentração de sólidos contidos no resíduo para reduzir seu volume, antes da disposição final ou pós-tratamento;

Condicionamento: adição de um produto químico ao resíduo ou alteração física de sua natureza;

Desaguamento mecânico: similar ao adensamento, esse processo envolve a separação líquido-sólidos. É definido como um processo para incrementar a concentração de sólidos do lodo em mais de 8%;

Figura 88. Filtro prensa utilizado para o desaguamento de lodos de ETAs.

Secagem ou desaguamento: uma extensão da separação líquido-sólidos, aproxima-se do adensamento e desaguamento mecânico. É definido como um processo para incrementar a concentração de sólidos do lodo em mais de 35%;

Recuperação de coagulantes: técnica de tratamento para melhorar as características dos sólidos desaguados e diminuir a concentração de íons metálicos nos resíduos. A recalcinação é relacionada como um processo associado ao abrandamento de lodos com o uso da cal;

Disposição final e reuso: remoção dos resíduos da área da ETA ou estocagem final na área da ETA. Esta categoria inclui transporte para aterro de áreas, descarregamento em aterro sanitário, disposição em solos agricultáveis e várias opções de reuso, tais como suplementação de solos e fabricação de tijolos.

Impactos ambientais dos lodos de ETAs

O despejo dos lodos de ETAs nos cursos d'água aumenta a turbidez das águas receptoras (Figura 89), ocasionando impactos aos mananciais, principalmente à camada bentônica (organismos do fundo do corpo d'água) que acabam sendo soterrados pelos lodo.

Fonte: CORDEIRO (2007).

Figura 89. Impacto do lançamento de lodos em corpos d'água.

A resolução CONAMA 357/05 estabelece as condições e os padrões para o lançamento de efluentes em corpos d'água. Com relação aos materiais sedimentáveis, a norma estabelece o limite de até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Com relação à toxicidade do alumínio aos seres humanos, vários estudos demonstraram ser difícil avaliar seu efeito no organismo, principalmente em função de que este elemento está presente em grande quantidade e em grande parte do mundo, sendo muito mais difícil detectar sua toxicidade do que a dos metais pesados (Cordeiro, 1999)

Tabela 10. Comparação entre os sistemas de desidratação de lodos de ETAs.

	Vantagens	Desvantagens
Sistemas naturais • **Leitos de secagem** • **Lagoas de lodo**	• Não necessitam de energia elétrica; • Não necessitam de aquisição de equipamentos, peças de reposição ou mão-de-obra especializada; • Não necessita de produtos químicos auxiliares;	• Necessitam de grandes áreas; • Dependem de fatores climáticos (temperatura, chuvas); • A remoção do lodo é realizada em etapa posterior; • Processo lento; • Eficiência não é elevada.
Sistemas mecanizados • **Centrífugas** • **Filtros-prensa** • **Flotadores**	• Processo rápido; • Maior eficiência; • Não necessita de grandes áreas; • Não depende de fatores climáticos; • O lodo é removido do equipamento de forma automática;	• Elevado gasto com energia elétrica; • Custo com aquisição de equipamentos, peças de reposição, etc. • Há gasto com produtos químicos para o acondicionamento do lodo;

14.1. Condicionamento químico do lodo de ETA

No condicionamento de lodos usa-se de produtos químicos para alterar as suas propriedades, permitindo que a água seja removida mais rapidamente. Os principais produtos utilizados são:

- cinzas, cal virgem, cal hidratada, carvão pulverizado, serragem;
- polieletrólitos orgânicos sintéticos (polímeros);

Uma diferença significativa entre o condicionamento do lodo por polímeros e por produtos químicos inorgânicos está na quantidade de produto químico usado. As doses típicas de polímero são menores de 1% do peso de sólidos secos (porém, polímeros possuem valor elevado), ao passo que a quantidade de produtos químicos inorgânicos usados no condicionamento pode chegar a 20% do peso dos sólidos, aumentando muito a quantidade final de lodo gerada pela incorporação deste material.

RESUMINDO:
Polímeros ⇒ são caros;
Produtos inorgânicos ⇒ aumentam a quantidade de lodo

Foi realizado um estudo comparativo entre as características de adensamento dos lodos de uma ETA convencional e de uma ETA do tipo pulsator. Observou-se que o lodo da ETA convencional possuía teor de umidade da ordem de 90 % e grande dificuldade de adensamento, ao passo que o lodo da ETA tipo pulsator possuía umidade superior a de 99 % e adensava com grande facilidade. Acredita-se que a facilidade de adensamento do lodo da ETA tipo pulsator está relacionada ao fato da ETA em estudo utilizar polímero como auxiliar de coagulação. Possivelmente o polímero retido no lodo esteja atuando como um condicionante do mesmo, facilitando sua desidratação (FERRANTI, 2005).

14.2. Métodos de Tratamento e Disposição Final dos Lodos de ETAs

Entre as alternativas atualmente estudadas de disposição final de lodos de ETAs estão: regeneração do coagulante; envio do lodo desidratado a aterros sanitários; fabricação de cimento; fabricação de componentes cerâmicos; incorporação do lodo ao concreto, etc.

Regeneração do coagulante:

A regeneração dos lodos de ETAs se processa com o ataque ácido, conforme a seguinte reação:

$$2Al(OH)_3.3H_2O + 3H_2SO_4 + 2H_2O \rightarrow Al_2(SO_4)_3 .14H_2O$$

O processo está esquematizado na figura 85. Entre as principais vantagens da regeneração do sulfato de alumínio estão:

- recuperação de 60 a 90 % do sulfato de alumínio;
- diminuição de até 80 % do volume do lodo.

Estudos de viabilidade econômica da regeneração e da reutilização do coagulante no tratamento de água e esgoto doméstico indicaram que a reutilização é economicamente viável. Outro estudo concluiu que o processo é antieconômico, uma vez que os custos envolvidos na recuperação do coagulante chegam a ser o dobro do custo de aquisição do produto no mercado. (GONÇALVES, 1999; CASTRO, 1997).

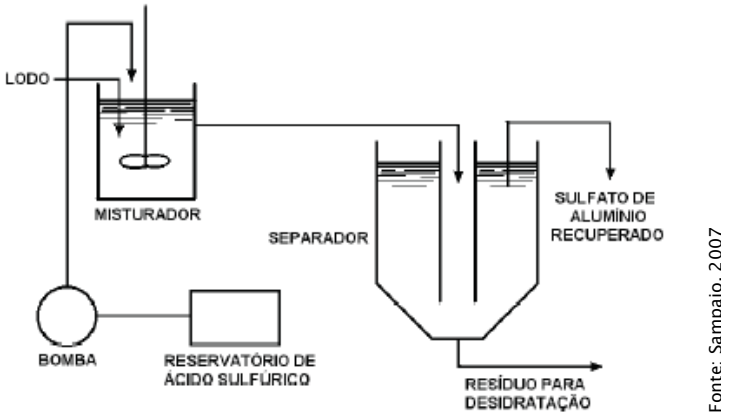


Figura 90. Processo de regeneração do sulfato de alumínio.

14.3. Lançamento dos lodos de ETAs em ETEs

Um método de disposição alternativo é o lançamento dos lodos nas estações de tratamento de esgoto (ETEs), via rede coletora de esgoto. Tal procedimento eliminaria a implantação de sistemas de tratamento de lodos nas próprias ETAs. Entretanto, algumas interferências podem ocorrer nas unidades da ETE, principalmente nos digestores de lodo e nos decantadores primários, que possivelmente, irão receber a maior parte das impurezas contidas nesses despejos, de maneira que tal procedimento deve ser criteriosamente analisado.

Foi observado que o recebimento do lodo na ETE Franca não reduziu a eficiência da ETE. Na fase sólida, ocorreu um aumento na concentração dos sólidos, com efeito benéfico em termos de operação; porém, foi verificado aumento na de manutenção nas bombas de alimentação, homogeneização dos biodigestores e nos filtros prensas de esteira e, principalmente em relação às telas de prensagem e filtração. Esta ocorrência parece estar relacionada com uma maior abrasividade provocada pelo lodo de ETA. (MELO, 2003).

14.4. Adição do lodo seco ao concreto

Foi empregado lodo de ETA seco em conjunto com resíduos de construção e demolição no preparo de argamassas e concretos não-estruturais e verificado que a adição de 3 % de lodo possibilita a obtenção de concretos similares às do concreto natural (SALES e CORDEIRO, 2001)

14.5. Fabricação de componentes cerâmicos

A Petrobrás/REPLAN efetuou um estudo para incorporar o lodo de sua ETA na argila destinada à produção de tijolos. A empresa que recebeu o lodo foi a Olaria Schiavolin, que realizou a mistura de 20 % de lodo com 80% de argila (FURLAN, 2006).

O resultado deste estudo indicou a incorporação do lodo até 10 % (base seca) ou 30 % (base úmida), mantém as propriedades do tijolo. O trabalho desenvolvido recebeu o titulo de "Projeto Ganha-Ganha-Ganha", uma analogia sobre os ganhos 1°) da Petrobrás/REPLAN; 2°) da Olaria Schiavolin e 3°) do meio-ambiente:

- Minimização dos resíduos;
- Eliminação dos custos de disposição em aterros;
- Transformação de um resíduo em matéria-prima;
- Economia dos recursos naturais (argila + água);

O mesmo estudo também foi desenvolvido na Sabesp, em parceria com a Cerâmica Mônaco, com o lodo da ETA Cubatão. O lodo foi misturado com a argila (Figura 91), conforme ilustrado na figura 91 e em seguida, encaminhado para a confecção dos blocos cerâmicos e para os testes de resistência à compressão:

Figura 91. Lodo misturado com argila.

14.6. Matéria-prima na indústria do cimento

O cimento é um dos produtos de construção civil mais utilizados na sociedade moderna e seus os principais componentes são cálcio, silício, alumínio e ferro. O lodo da ETA também apresenta estes mesmos elementos em grandes proporções.

A EPAL – Empresa Portuguesa de Águas Livres encaminha seu lodo para dois espessadores, com o uso de polímero. O sobrenadante é recirculado e o lodo espessado é misturado com os insolúveis de cal. Esta mistura está sendo utilizada na indústria do cimento, em substituição à matéria-prima normalmente utilizada, o que permite a redução de seu impacto ambiental além de preservar as reservas naturais de argila e calcáreo. (EPAL, 2004)

14.7. Alguns estudos em desenvolvimento atualmente no Brasil

• **Cobertura de aterros sanitários**: testar e avaliar a incorporação de lodo de ETA como material de cobertura de aterro sanitário para selagem diária. Projeto em desenvolvimento pela SABESP (Sampaio, 2007);

• **Recuperação de áreas degradadas**: disposição do lodo em uma cascalheira desativada próxima a ETA Rio Descoberto, operada pela CAESB em Brasília. Para licença de disposição o IBAMA exige plano de acompanhamento, contemplando o monitoramento do solo e do lençol freático (Barbosa, 2007);

• **Utilização do lodo na construção civil**: incorporação à argamassas, em substituição à cal. Pesquisa em desenvolvimento por Botelho & Costa na CAESB (Barbosa, 2007);

• **Uso como coagulante em lagoas de maturação**: avaliar a capacidade de coagulação do alumínio contido no lodo de ETAs, quando aplicado ao polimento final de efluentes de ETEs. Estudo realizado na CAESB por Silva, M. (Barbosa, 2007);

Referências Bibliográficas

Barbosa, A. A Experiência da CAESB com Lodos de Estações de Tratamento de Água. Trabalho apresentado no 1° Encontro sobre Inovações Tecnológicas em Saneamento – Lodos e Odores. ABES-RS. Porto Alegre, abril de 2007.

Castro, A. A., Dias, A.M.V. (1997) Soluções para o Tratamento de Resíduos de Estação de Tratamento de Água – Proposta para a Unidade de Tratamento de Resíduos (UTR) do Rio das

Velhas na RMBH. In: IXX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, ABES. Foz do Iguaçu – PR

Cordeiro, J.S. Resíduos de Estações de Tratamento de Água: o Estado da Arte no Brasil. Trabalho apresentado no 1° Encontro sobre Inovações Tecnológicas em Saneamento – Lodos e Odores. ABES-RS. Porto Alegre, abril de 2007.

Cordeiro, J. S., (1999) Importância do Tratamento e Disposição Adequada dos Lodos de ETAs. In: REALI, M. A. P. (coord.) Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estação de Tratamento de Água. Rio de Janeiro/ABES/PROSAB. p 001-019.

Daniel, L. Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável. PROSAB 2, 2001.

DI Bernardo, L. & Dantas, A. Métodos e técnicas de tratamento de água. Vol. I e II. 2a Ed. Rima Editora, São Paulo.

EPAL – Empresa Portuguesa de Águas Livres (2004) pesquisa eletrônica através do site www.epal.pt/Publicacoes/Outras/EPAL.pdf acesso em 03/03/2005.

Ferranti, E. M. Desidratação de Lodos de Estação de Tratamento de Água. Porto Alegre, 101 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

Gonçalves, F. R., Brandão, J. T., Barreto, E. M. S., (1999) Viabilidade Econômica da Regeneração do Sulfato de Alumínio de Lodos de Estações de Tratamento de Águas. In: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, ABES. Rio de Janeiro – RJ.

Ide, C. N. (1994) Eficiência da Estabilização de Lodos de ETEs com Cal e Ferrato (IV) de Potássio. Porto Alegre-RS. Tese de Doutorado - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Piveli, R. P. & Kato, M. T. Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos. Ed. ABES. Rio de Janeiro. 2005.

Pieper, K. Testes com lodos de ETAs na CORSAN/RS. Trabalho apresentado no 1° Encontro sobre Inovações Tecnológicas em Saneamento – Lodos e Odores. ABES-RS. Porto Alegre, abril de 2007.

Richeter, C. A. & Azevedo Neto, J. M. Tratamento de Água. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo. 1991.

Richeter, C. A. Tratamento de Água – Tecnologia atualizada. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo. 3a Re-impressão. 2000.

Richeter, C. A. Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo. 2001.

Tchobanoglous, g. & Schroeder, E. D. Water Quality. Addison Wesley Longman. USA. 1987.

Valencia, J. A. Teoria y Practica de la Purificación de Agua. CEPIS. Colombia. 1992.

Vianna, M. R. Introdução ao tratamento de Água. Instituto de Engenharia Aplicada. Belo Horizonte, MG. 1996.

Vianna, M. R. Hidráulica Aplicada às Estações de Tratamento de Água. Imprimatur, Artes Ltda. Belo Horizonte, MG. 1997.

Vogel, A. I. Análise Química Quantitativa, 6ªed., LTC, Rio de Janeiro,2002.

Suez Environment - Degrémont. Water Treatment Handbook. Vol I e II. 7a Ed. ISBN: 978-1-84585-005-0 e 978-2-7430-0970-0

Sites Consultados

www.fotosmundo.com

www.agua.bio.br

www.ana.gov.br

www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Image186.gif

http://www.aprh.pt/pdf/triptico_CEAS.pdf

http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano.cfm?codlegitipo=3

www.brasilescola.com/.../agua-potavel.JPG

www.ciadaescola.com.br/zoom/imgs/332/image009.jpg

http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano.cfm?codlegitipo=3

www.ufrrj.br/institutos/it/de/acidentes/zonas.gif

www.ufrrj.br/institutos/it/de/acidentes/zonas.gif

www.ufrrj.br/institutos/it/de/acidentes/zonas.gif

http://phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/index.php?topic=52

www.revistaecosistemas.net/admin/Archivos/Ima...

http://pt.wikipedia.org/wiki/Eukaryota

http://fotos.sapo.pt/carlosberardo/pic/0000brhx/s500x500

www.enq.ufsc.br/.../CIANOBACTERIAS.jpg

www.enq.ufsc.br/.../microorganismos/PROTOZ1.jpg

www.museudavida.fiocruz.br

www.museudavida.fiocruz.br

www.editorasaraiva.com.br/.../5_agua_6.jpg

http://www.niaid.nih.gov

http://www.mackenzie.com.br

http://www.yosemite.org

http://www-instruct.nmu.edu

www.cca.ufscar.br/lamam/disciplinas_arquivos/aula6_virus.ppt

http://www.veths.no/upload/Majken/Logo%20og%20bilder/E.coli%201.jpg

www.ufrrj.br/institutos/it/de/acidentes/sed.jpg

www.springway.com.br/.../tabela_filtracao.gif

www.water-technology.net

www.classificadosmercosul.com.br

www.ceset.unicamp.br/~pelegrini/ST502_3/FILTRA%C7%C3O%20LENTA.ppt -

www.pieralise.com