

2012

Apostila de Operações e Processos Hidrosanitários I



Prof. Silvio Roberto Taffarel

Unilasalle - Canoas

26/07/2012

Sumário

1	Mananciais de Abastecimento.....	6
1.1	Introdução	6
1.2	Tipos de Mananciais	6
1.3	Escolha de um Manancial	7
1.4	Formas de Captação da Água	8
1.5	Águas de Chuva	8
1.6	Águas do Subsolo	11
1.6.1	Fonte.....	11
1.6.2	Poços	14
1.6.3	Vantagens das Águas Subterrâneas.....	24
1.7	Águas da Superfície	24
1.8	Equipamentos De Bombeamento.....	25
1.8.1	Balde com Corda.....	25
1.8.2	Sarilho sem Proteção.....	25
1.8.3	Sarilho com Proteção	25
1.8.4	Carneiro Hidráulico.....	26
1.8.5	Bombas de Deslocamento	27
1.8.6	Bombas Centrífugas	27
2	Parâmetros de qualidade da água	29
2.1	Introdução	29
2.2	Principais Propriedades da Água	29
2.2.1	Composição Química	29
2.2.2	Massa Específica.....	29
2.2.3	Densidade Relativa	30
2.2.4	Peso Específico	30
2.2.5	Viscosidade Dinâmica.....	30
2.2.6	Viscosidade Cinemática	30
2.2.7	Coesão, Adesão e Tensão Superficial	31
2.2.8	Compressibilidade.....	32
2.2.9	Pressão de Vapor.....	32
2.3	Impurezas Das Águas Naturais.....	33
2.4	Parâmetros Físicos	34

2.4.1	Temperatura	34
2.4.2	Sabor e Odor	34
2.4.3	Cor.....	35
2.4.4	Turbidez	35
2.4.5	Sólidos.....	36
2.4.6	Condutividade Elétrica.....	37
2.5	Parâmetros Químicos	38
2.5.1	pH (potencial hidrogeniônico)	38
2.5.2	Acidez	39
2.5.3	Alcalinidade	39
2.5.4	Dureza	39
2.5.5	Cloretos	40
2.5.6	Ferro e Manganês.....	41
2.5.7	Nitrogênio	41
2.5.8	Fósforo	41
2.5.9	Fluoretos.....	42
2.5.10	Oxigênio Dissolvido (OD).....	42
2.5.11	Matéria Orgânica.....	42
2.5.12	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).....	43
2.5.13	Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	43
2.5.14	Componentes Inorgânicos.....	43
2.5.15	Componentes Orgânicos	43
2.6	Parâmetros Biológicos	43
2.6.1	Coliformes.....	43
2.6.2	Algas	44
2.7	Padrões de potabilidade	44
2.7.1	Qualidade natural	44
2.7.2	Potabilidade.....	44
2.7.3	Portaria Ministerial	45
2.7.4	Componentes.....	46
3	Processos unitários de tratamento preliminar de água e efluentes	48
3.1	Aeração	48
3.1.1	Principais tipos de Aeradores.....	48

3.2	Gradeamento	53
3.2.1	Dimensionamento das Grades.....	55
3.3	Peneiramento	60
3.4	Desarenação (caixas de retenção de areia).....	62
3.4.1	Dimensionamento de caixas de areia	64
3.5	Equalização	67
3.5.1	Dimensionamento de Tanques de Equalização.....	69
3.6	Neutralização	73
4	Processos unitários de tratamento primário de água e efluentes	76
4.1	Coagulação.....	76
4.1.1	Principais Tipos de Unidade Utilizadas como Câmaras de Mistura Rápida	76
4.1.2	Gradiente de Velocidade	79
4.1.3	Quantidade de coagulante a ser aplicado no Tratamento.....	80
4.1.4	Tipos de Coagulantes Empregados	80
4.1.5	Preparação da Solução de Coagulantes e Alcalinizantes	82
4.1.6	Efeitos que causam na água	83
4.1.7	Fatores que influem na Coagulação	83
4.1.8	Produtos Auxiliares da Coagulação	84
4.2	Floculação	86
4.2.1	Tipos de Floculadores	87
4.3	Decantação ou Sedimentação	93
4.3.1	Tipos de Decantadores	95
4.3.2	Mecanismo da Decantação.....	98
4.3.3	Zonas do Decantador	98
4.3.4	Lavagem do Decantador	98
4.3.5	Decantadores Convencionais	99
4.3.6	Decantadores de Módulos Tubulares ou de Placas Paralelas	100
4.3.7	Módulos Tubulares Brasileiros	100
4.3.8	Dimensionamento de decantadores primários	100
4.4	Flotação.....	103
4.4.1	Flotação por Ar Dissolvido	105
4.4.2	Dimensionamento do sistema de flotação.....	106
4.5	Filtração	108

4.5.1	Classificação dos Filtros	108
4.5.2	Definições	109
4.5.3	Especificações dos Materiais Filtrantes	109
4.5.4	Condições Especificas de Areia para Leito Filtrante	111
4.5.5	Operação e Manutenção dos Diversos Tipos de Filtros.....	111
5	Processos unitários de tratamento terciário de água e efluentes	119
5.1	Precipitação Química	119
5.1.1	Oxidação de sulfetos	119
5.1.2	Oxidação de cianetos	121
5.1.3	Redução de cromo hexavalente.....	123
5.2	Adsorção	124
5.2.1	Adsorção química e física	125
5.2.2	Fatores que influenciam na adsorção	126
5.2.3	Isotermas de adsorção	126
5.2.4	Cinética de adsorção	128
5.2.5	Adsorção em carvão ativado	129
5.2.6	Troca Iônica	130
5.3	Remoção de nutrientes	132
5.3.1	Remoção de nitrogênio	132
5.3.2	Remoção de fósforo	133
5.4	Processos Oxidativos Avançados	134
5.4.1	Oxidação utilizando radiação UV (fotólise)	135
5.4.2	Oxidação utilizando O ₃	136
5.4.3	Oxidação utilizando O ₃ /UV (ozonização fotolítica)	136
5.4.4	Oxidação utilizando H ₂ O ₂ e H ₂ O ₂ /UV	137
5.4.5	Oxidação utilizando reagentes de Fenton	137
5.4.6	Oxidação utilizando Foto-Fenton (H ₂ O ₂ /Fe ²⁺ /UV).....	138
5.5	Processos de separação com membranas	138
5.5.1	Microfiltração.....	139
5.5.2	Ultrafiltração	139
5.5.3	Osmose Reversa	140
5.6	Desinfecção.....	144
5.6.1	Desinfetantes mais Empregados	144

1 Mananciais de Abastecimento

1.1 Introdução

A quantidade de água existente no planeta mais facilmente utilizável para o consumo do homem é muito pequena.

Por esse motivo, a preservação dos recursos hídricos é essencial para a garantia da qualidade da água consumida pelas populações.

A Terra possui $1,36 \times 10^{18} \text{ m}^3$ de água, distribuídos da seguinte forma, como mostrado na Figura 1:

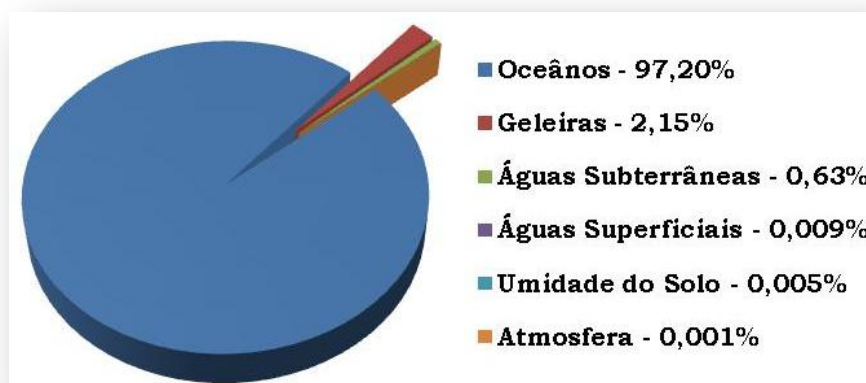


Figura 1 – Distribuição das Águas na Terra

Chama-se **manancial** qualquer local que tenha água, superficial ou subterrânea, e que esta possa ser retirada para abastecimento. Exemplos: uma cacimba, um poço, um açude, um rio, etc.

1.2 Tipos de Mananciais

Os mananciais disponíveis podem ser divididos nos três grandes grupos explicados abaixo:

- **Manancial Superficial**

É toda parte de um manancial que escoar na superfície terrestre, compreendendo os córregos, ribeirões, rios, lagos e reservatórios artificiais.

- **Manancial Subterrâneo**

É a parte do manancial que se encontra totalmente abaixo da superfície terrestre, compreendendo os lençóis freático e profundo, tendo sua captação feita através de poços rasos ou profundos, galerias de infiltração ou pelo aproveitamento das nascentes.

- **Água de Chuvas**

Pode ser utilizada como manancial abastecedor, sendo armazenada em cacimbas ou cisternas. As cacimbas são reservatórios que acumulam água da chuva que escoam pelo terreno, enquanto que as cisternas armazenam a água captada nos telhados dos prédios.

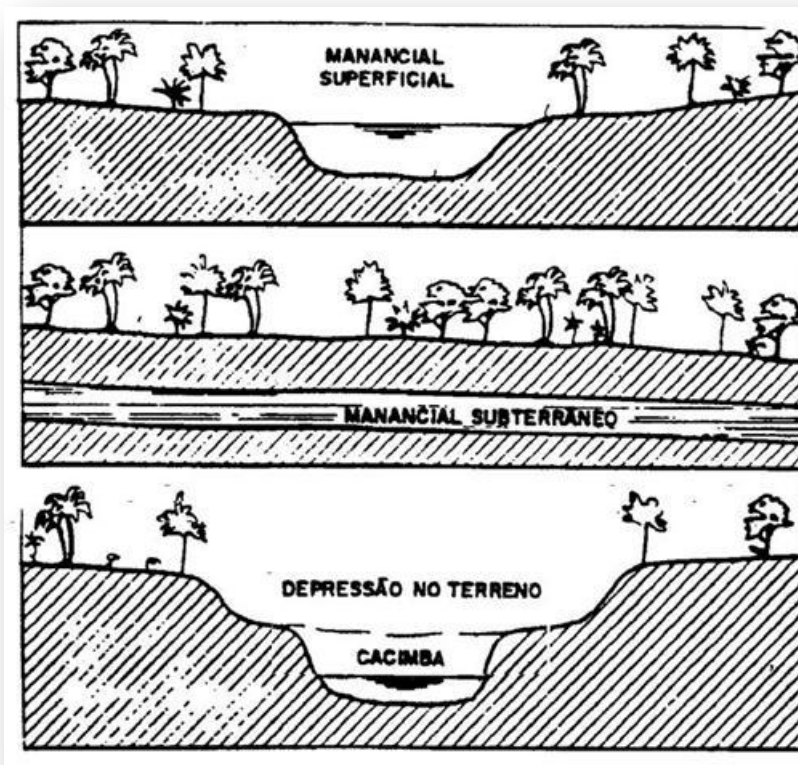


Figura 2 – Tipos de Mananciais

1.3 Escolha de um Manancial

A escolha do manancial se constitui na decisão mais importante na implantação de um sistema de abastecimento de água, seja ele de caráter individual ou coletivo.

Havendo mais de uma opção, sua definição deverá levar em conta, além da predisposição da comunidade em aceitar as águas do manancial a ser adotado, os seguintes critérios:

1º critério: previamente é indispensável a realização de análises de componentes orgânicos, inorgânicos e bacteriológicos das águas do manancial, para verificação dos teores de substâncias prejudiciais, limitados pela resolução nº 20 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA);

2º critério: vazão mínima do manancial, necessária para atender a demanda por um determinado período de anos;

3º critério: mananciais que dispensam tratamento, incluem águas subterrâneas não sujeitas a qualquer possibilidade de contaminação;

4º critério: mananciais que exigem apenas desinfecção: inclui as águas subterrâneas e certas águas de superfície bem protegidas, sujeitas a baixo grau de contaminação;

5º critério: mananciais que exigem tratamento simplificado: compreendem as águas de mananciais protegidos, com baixos teores de cor e turbidez, sujeitas apenas a filtração lenta e desinfecção;

6º critério: mananciais que exigem tratamento convencional: compreendem basicamente as águas de superfície, com turbidez elevada, que requerem tratamento com coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção.

1.4 Formas de Captação da Água

De acordo com o manancial a ser aproveitado, podem ser utilizadas as seguintes formas de captação:

- Superfície de coleta (água de chuva);
- Caixa de tomada (nascente de encosta);
- Galeria filtrante (fundo de vales);
- Poço escavado (lençol freático);
- Poço tubular profundo (lençol subterrâneo);
- Tomada direta de rios, lagos e açudes (mananciais de superfície).

1.5 Águas de Chuva

A água de chuva pode ser armazenada em cisternas, que são pequenos reservatórios individuais construídos junto, em geral, às nossas casas. A cisterna tem aplicação tanto em áreas de grande pluviosidade (áreas em que chove muito) como em áreas secas, onde se procura juntar a água de época das chuvas para usar na época da seca com o propósito de garantir, pelo menos, a água para beber.

A cisterna consiste em um reservatório protegido, que acumula a água da chuva captada da superfície dos telhados dos prédios ou casas. Conforme as figuras 3 e 4, nós vemos que:

1. A água da chuva cai do telhado nas calhas (em algumas localidades são chamadas de bicas);
2. Das calhas a água desce para os condutores verticais (canos fechados);
3. Dos condutores verticais escoam pelos ramais (também canos fechados);
4. Finalmente, dos ramais para a cisterna, passando por um desconector, para evitar entrada de água suja na cisterna).

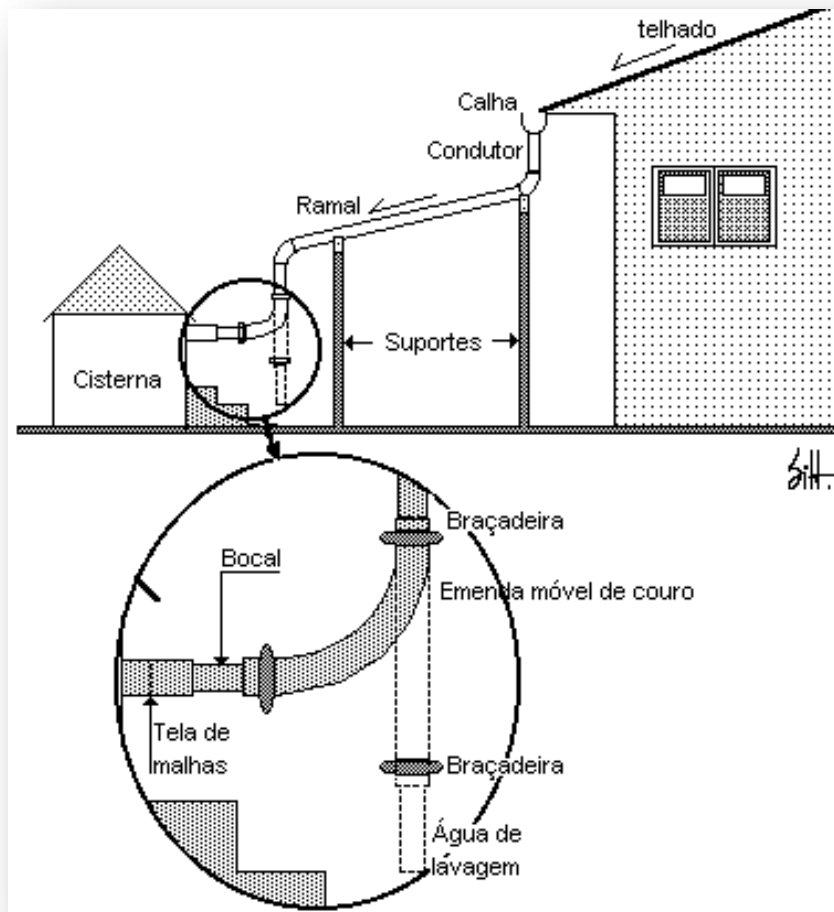


Figura3– Cisterna com desconector para não deixar água suja entrar no tanque.

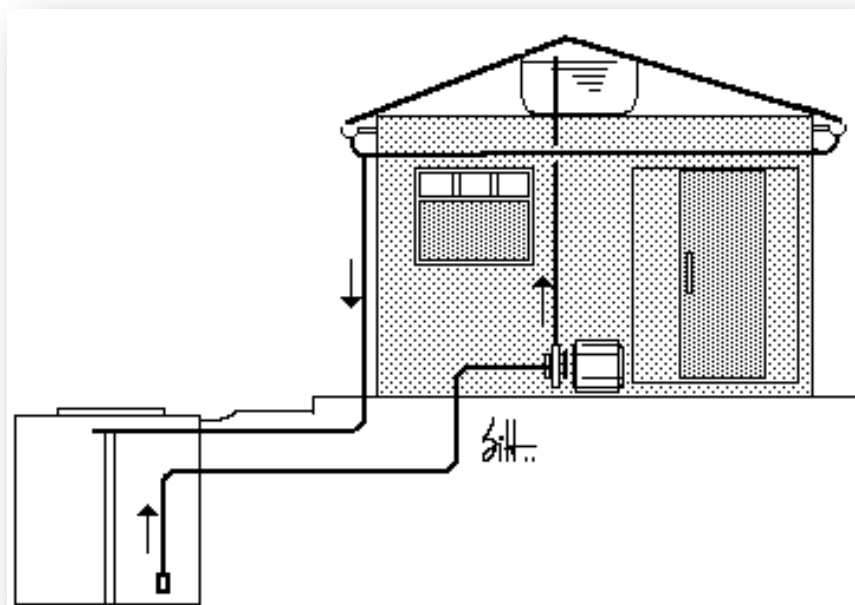


Figura4a – Esquema para instalação de uma cisterna com bombeamento.

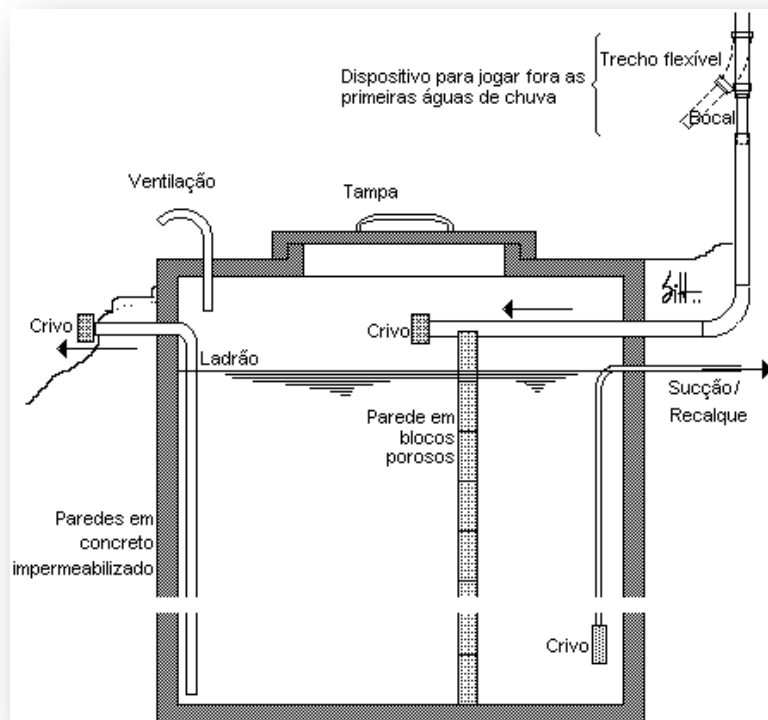


Figura4b – A mesma cisterna da Figura 4a vista em corte, ou seja, de lado.

Deve-se abandonar as águas das primeiras chuvas, pois lavam os telhados onde se depositam a sujeira proveniente de pássaros, de animais e a poeira. A cisterna deve sofrer desinfecção antes do uso. A água armazenada, quando for usada para fins domésticos, deve ser previamente fervida ou clorada.

Capacidade da Cisterna

Para se obter a capacidade da cisterna, deve-se considerar somente o consumo durante o período de estiagem. Assim, se a previsão for de 6 meses sem chuva, deveremos ter a seguinte capacidade de reservação:

$$3.300 \text{ litros/mês} \times 6 \text{ meses} = 19.800 \text{ litros.}$$

Superfície de Coleta

Para se determinar a área da superfície de coleta, deve-se conhecer a precipitação pluviométrica anual da região, medida em mm.

Considerando uma residência com área da projeção horizontal do telhado igual a 40 m^2 e precipitação pluviométrica anual igual a 800 mm, poderemos captar a seguinte quantidade de água.

$$40 \text{ m}^2 \times 0,8 \text{ m (800mm)} = 32 \text{ m}^3 = 32.000 \text{ litros/ano.}$$

Considerando ainda um coeficiente de aproveitamento, para os casos de telhado, igual a 0,80, já que nem toda área pode ser aproveitada, a quantidade máxima de água a ser captada será de:

32.000 litros x 0,8 = 25.600 litros/ano, suficiente para suprir a cisterna dimensionada neste exemplo.

1.6 Águas do Subsolo

A água do subsolo pode ser encontrada em **fontes** e **poços**. Na fonte, a água brota naturalmente do terreno. O poço aproveita a água obtida de uma abertura feita no terreno.

1.6.1 Fonte

As **fontes**, também chamadas de **olhos d'água**, podem ser de encosta (nas subidas dos altos ou nas serras) e de fundo de vale (nos baixos, nestes casos também chamadas de **minas d'água**).

1.6.1.1 Caixa de Tomada – Fonte de Encosta

O aproveitamento de água de fonte de encosta é feito por meio de captação em uma caixa de tomada, de alumínio ou de concreto. Isto implica em uma série de providências para prevenção contra poluição da água de uma fonte de encosta, ou seja, para proteger a qualidade da água a ser usada. Podemos citar:

- a) Construir uma caixa de alvenaria ou concreto, tampada, como mostrado na figura 03;
- b) As paredes das caixas devem ser impermeabilizadas;
- c) As caixas devem dispor de tampa com uma abertura mínima de 0,80m x 0,80m para inspeção;
- d) Construir canaletas (ou valetas, regos) para afastamento da água da chuva que escoar sobre o terreno em volta;
- e) Se necessário, instalar bombas para retirada da água;
- f) Manter afastamento de currais, pocilgas, etc, de pelo menos 40m;
- g) Ter sua área protegida por uma cerca, com pelo menos 30m de distância (30m de raio) da caixa da fonte;
- h) Colocar um cano ladrão junto a laje de cobertura, para escoamento quando a caixa estiver cheia;
- i) Um cano de descarga com registro para limpeza.

É interessante que a área de captação da caixa tenha uma camada de pedregulho ou pedra britada grossa, para diminuir a entrada de areia e não prejudicar a bomba, se for o caso de bombeamento. Depois de protegida, a fonte deve ser desinfetada; a técnica é a mesma utilizada para poços, fontes ou caixas d'água.

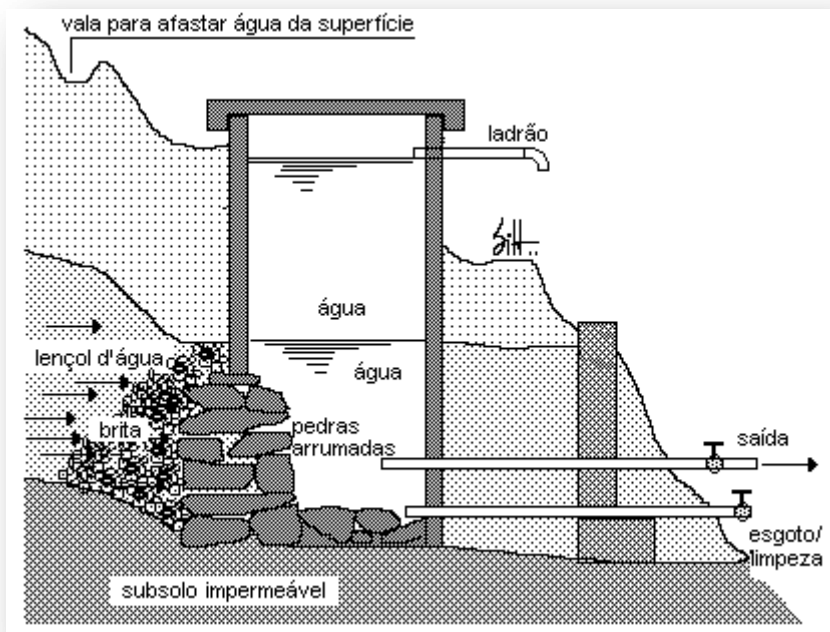


Figura 5– Caixa de Tomada da Fonte de Encosta

1.6.1.2 Galeria de Infiltração – Fonte de Fundo de Vale

O aproveitamento da fonte de fundo de vale é conseguido por meio de um sistema de drenagem subsuperficial sendo, em certos casos, possível usar a técnica de poço raso para captação da água. Normalmente, a captação é feita por um sistema de drenos que termina num coletor central e deste vai a um poço. Os drenos podem ser feitos de pedra, bambu, madeira, concreto, PVC e manilhas de barro perfurados.

Os drenos menos duráveis são os de madeira e bambu, pois, apodrecem. Os drenos de concreto dependem da composição do terreno (terrenos ácidos, por exemplo, reduzem o tempo de vida dos drenos de concreto). Os drenos mais duráveis são os de manilhas de barro vidrada e os de PVC.



Figura6– Desenho esquemático de uma manilha cerâmica com ponta e bolsa

Diâmetros utilizados nos drenos: 10 e 20cm, excepcionalmente, 30cm, devem ser colocados nos fundos das valas abertas no terreno e enterrados em valas de fundo liso, protegidos por camadas de cascalho ou areia grossa, com profundidade mínima de 1,20m e declividade mínima de 1:400 e declividade máxima de 1:300 (declividade recomendada: 1:350). Uma declividade de 1:350 quer dizer que a tubulação é assentada

inclinada, ou seja, com declive (também dito descaída) na sua extensão de modo que em cada 350 metros de cano a tubulação desce 1 metro em relação ao início. Assim é feito para poder a água "correr" para o local onde queremos juntá-la.

Os drenos principais devem ter declividade superior aos drenos laterais ou secundários: 1:200.

1.6.1.2.1 Cuidados na Construção

- Nivelar as valas antes de assentar as manilhas e lançar uma camada de areia grossa, dando à cada vala um declive apropriado;
- Começar o assentamento do local mais baixo em direção ao mais alto, ou seja, como dizemos em saneamento: de jusante para montante, facilitando a colocação da ponta dentro da bolsa;
- As manilhas não devem ser rejuntadas, e sim, separadas de 1,0cm. Se ponta e bolsa, esta separação será no fundo da bolsa (Figura 05);

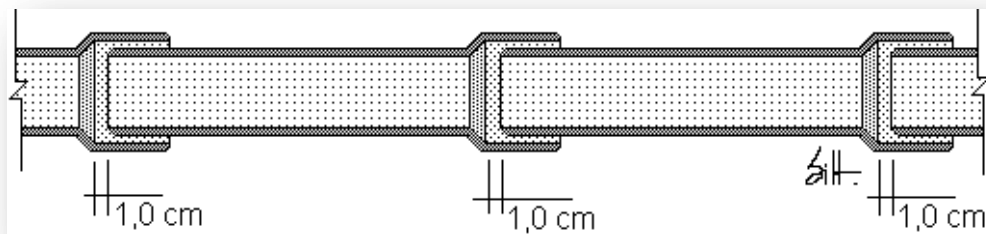


Figura 7– Posição das manilhas cerâmicas já assentadas

- Uma vez construído o sistema de drenos, cobrí-los com terra até encher as valas, sem deixar depressões na superfície do solo. O aterro das valas deve ultrapassar o nível do terreno, dando-se um abaulamento como acabamento, a fim de evitar depressões quando se der o completo assentamento do terreno;
- Retirar as árvores das proximidades dos drenos;
- Proteger a área com cerca, a fim de evitar o trânsito de pessoas e animais.

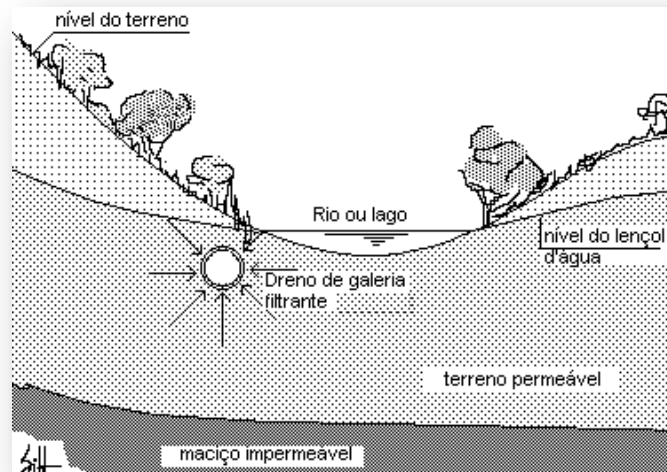


Figura8– Posição da Galeria Filtrante

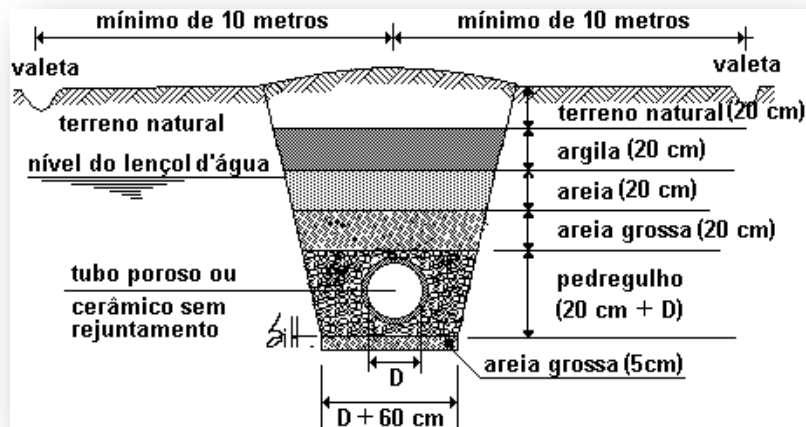


Figura9– Detalhe para construção da galeria filtrante

1.6.2 Poços

O poço é uma abertura feita no solo com a finalidade de tirar (captar) água do subsolo.

1.6.2.1 Classificação dos Poços

- a) Poços rasos (mais comuns);
- b) Poços profundos (cidades).

1.6.2.2 Poços Rasos ou Freáticos

a) Definição

São denominados rasos quando captam água do lençol freático, ou seja, a água que se encontra acima da primeira camada impermeável. Em geral são de forma circular e com profundidades dificilmente maiores que 20 metros "de fundura".

b) Classificação

São classificados em três tipos:

- Escavados;
- Perfurados
- Cravados.

Os poços rasos **escavados** são geralmente abertos por escavação manual, o que exige grandes diâmetros (de 0,80 a 1,50m). Em alguns casos pode ter mais de 2,0 metros e são popularmente chamados de cacimbões. Apesar de ser o mais difundido no meio rural sertanejo nordestino, é também o que pode mais facilmente ser contaminado. Dificilmente têm mais de 10 metros "de fundura".

Os poços rasos **perfurados** são geralmente abertos por meio de trados, brocas e escavadeiras manuais, com diâmetros pequenos (0,15 a 0,30m). São aconselhados para lençóis freáticos de pequena profundidade e grande vazão. São de pouco emprego no sertão atualmente. Mais comuns no brejo paraibano. Frequentemente têm profundidades entre 8 e 20 metros.

Os poços rasos ditos **cravados** são tubos metálicos providos de ponteiros, cravados por percussão ou rotação, em pequenos diâmetros (3cm a 5cm), usados como solução de emergência em lençóis freáticos de pequena profundidade e grande vazão. Mais empregados em acampamentos provisórios. Devido a seu pequeno diâmetro pode ser cravado a profundidades superiores a 20 metros desde que o terreno seja favorável à cravação e em função da quantidade de água necessária.

c) Localização

Na localização de um poço raso, devem ser levadas em consideração as seguintes condições básicas:

1. Boa potência do lençol freático, ou seja, existência de bastante água no subsolo local, suficiente para atender o consumo previsto;
2. Localização no ponto mais elevado do lote, ou seja, no local mais alto da área onde for possível existir o poço;
3. Localização a mais distante possível e em direção contrária a de escoamentos subterrâneos provenientes de poços conhecidos ou prováveis origens de poluição (fossas, sumidouros, passagens de esgotos, etc.);
4. Evitar os locais sujeitos a inundações.

d) Construção

1. A época adequada para escavação do poço é no período de estiagem;
2. Durante a construção, não se deve penetrar no interior do poço, sem ter meios de escape e sem a estabilidade das paredes;
3. A escavação poderá ser manual usando-se ferramentas comuns: picareta, cavadeira, enxada ou trados;

4. O poço deverá ter o formato cilíndrico, com diâmetro mínimo de 90 centímetros;
5. A profundidade será a necessária para atingir o lençol freático, porém, não inferior a três metros, que é a altura mínima do revestimento de proteção;
6. Nos terrenos frágeis, é necessário revestir toda a parede do poço, a fim de evitar o seu desmoronamento. Uma boa técnica é fazer o revestimento com manilhas de concreto;
7. Em terrenos firmes, não sujeitos a desmoronamentos, dispensa-se o revestimento do poço. Mesmo assim, deverá ser feito, pelo menos, até três metros de altura, a fim de possibilitar a proteção sanitária.

e) Proteção

A **proteção dos poços rasos** visa dar segurança à sua estrutura e, principalmente impedir a sua contaminação e devemos conhecer os possíveis meios pelos quais ela se processa, para executá-la. São os seguintes os mais comuns meios de contaminação e as providências para evitá-las:

1. Contaminação pelo próprio lençol
 - a. a proteção dar-se-á com a localização do poço longe de possíveis focos de contaminação e com o impedimento de que estes não sejam instalados após a implantação do poço (Veja figura 10);
2. Águas de superfície e enxurradas - esta proteção é feita com os seguintes procedimentos:
 - a. construção do prolongamento impermeabilizado do poço, ultrapassando o nível do solo em pelo menos 90 centímetros, ou seja, as paredes do poço sobem acima do terreno pelo menos uns quatro palmos;
 - b. por fora e rodeando esta parede constrói-se um aterro com pelo menos 30 centímetros de altura (mais ou menos palmo e meio) e com cinquenta centímetros de largura (dois palmos e meio) com caimento para fora (Veja figura 11);
 - c. além disso, também deve ser aberta uma valeta a pelo menos 10 metros de distância da parede do poço, para desvio das águas de chuva que vêm das partes mais altas do terreno;
3. Infiltração de água contaminada da superfície através das paredes laterais:
 - a. a proteção é feita com as paredes sendo impermeabilizadas até 3 (três) metros abaixo da superfície do solo, pelo menos (Veja figura 10 e 11);
4. Entrada pela boca de objetos contaminados, animais, detritos, baldes, etc.
 - a. a proteção dar-se-á com a colocação de uma tampa selada, com caimento para fora. É necessário deixar-se uma abertura de inspeção de 0,60m x 0,60m, com tampa selada com argamassa fraca (1:8) (Veja figura 11);
5. O sistema de retirada da água de dentro do poço deve ser muito cuidadoso, procurando-se utilizar maneiras que impeçam de haver contato da parte externa com o interior do poço.

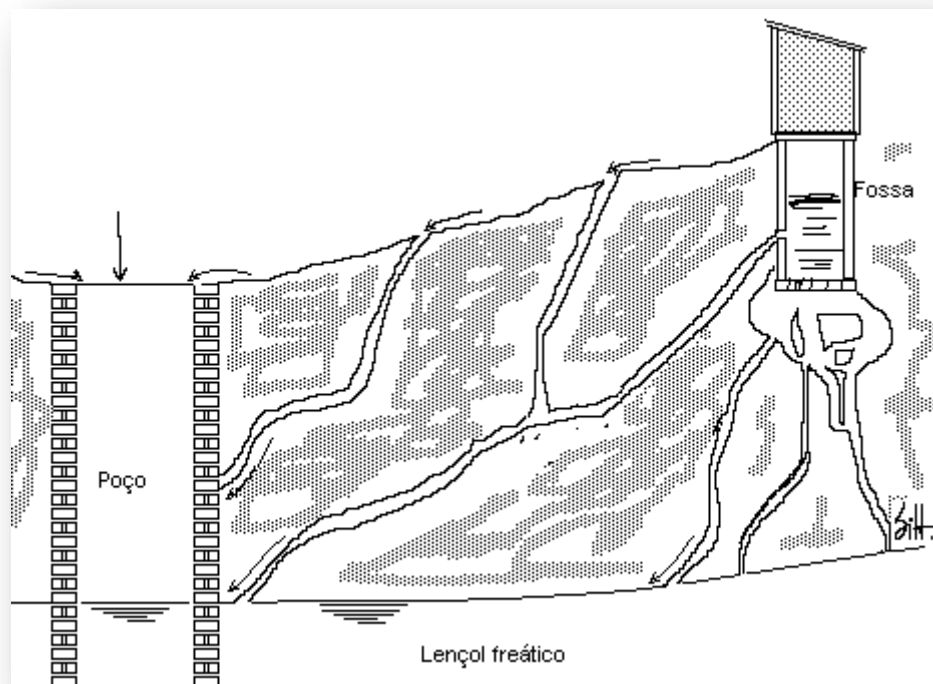


Figura10 - Contaminação do Poço

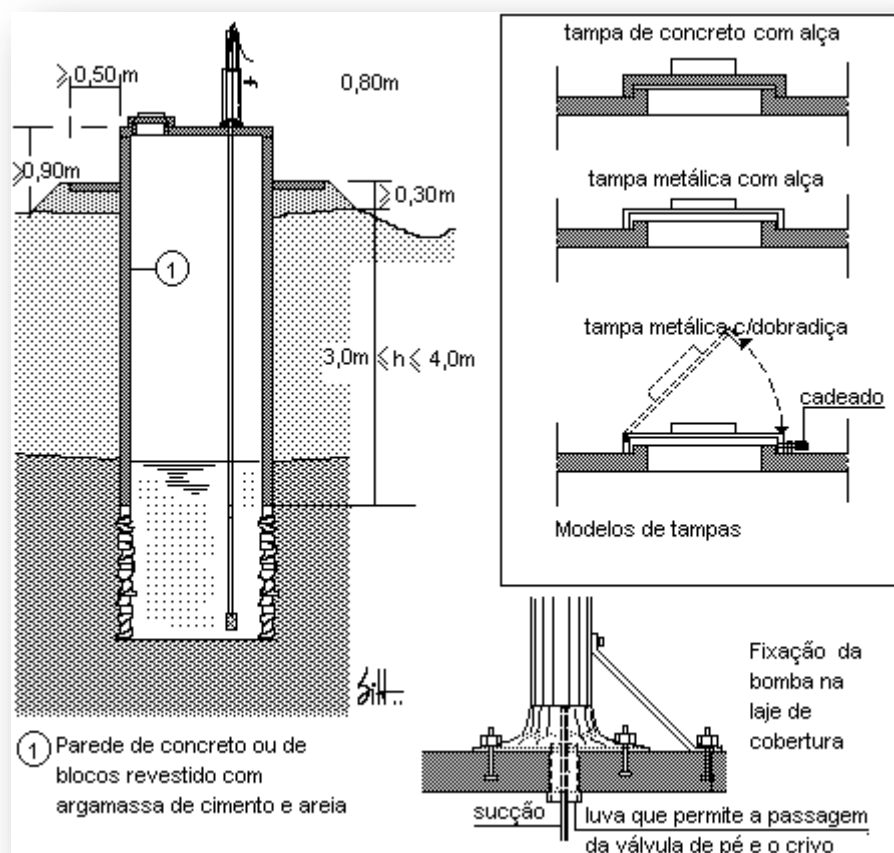


Figura11 - Proteção do Poço

f) Desinfecção de Poços

Todo poço deve ser desinfetado. Este trabalho é realizado quando:

- As obras do poço são concluídas;
- Forem efetuados quaisquer reparos;
- For comprovada alguma contaminação da sua água.

Quando a desinfecção for feita com uma solução de Cl_2 deve ser precedida de limpeza, com escovas, de todas as superfícies do poço, paredes, face interna da tampa e tubo de sucção. As amostras para o exame bacteriológico devem ser coletadas depois que as águas não apresentarem nenhum odor ou sabor de cloro.

O **exame bacteriológico** é feito em laboratórios especializados e é quem vai descobrir se há micróbios na água.

A desinfecção de um poço elimina a contaminação presente no momento, mas não tem nenhuma ação sobre o lençol propriamente dito, cuja contaminação pode ocorrer antes, durante e após essa desinfecção.

1. Os agentes desinfetantes mais comumente usados são os compostos de cloro:

- Hipoclorito de cálcio (superior a 65% de Cl_2);
- Cloreto de cal (cerca de 30% de Cl_2);
- Hipoclorito de sódio (cerca de 10% a 15% de Cl_2);
- Água sanitária (cerca de 2% a 2,5% de Cl_2).

2. Quantidade de desinfetante a usar:

- solução a 50 mg/l de Cl_2 – tempo de contato 12 horas;
- solução a 100 mg/l de Cl_2 – tempo de contato 4 horas;
- solução a 200 mg/l de Cl_2 – tempo de contato 2 horas.

3. Técnica de desinfecção:

- ubar o reservatório ou poço a ser desinfetado;
- calcular o desinfetante a ser usado;
- preparar a solução desinfetante a 5%, pesando o produto e despejando-o em água limpa. Agitar bem e depois deixar em repouso;
- desprezar a borra e derramar a solução no poço.

4. O cálculo do desinfetante é feito de acordo com o produto, o tempo de contato e a cubagem do poço:

- Calcular a quantidade de cloro necessário por meio de regra de três.

Exemplo: 2.000 litros de água e 12 horas de contato.

1 litro de água ----- 50 mg de Cl

2.000 L de água ----- x mg de cloro;

- A quantidade x de cloro encontra-se em diferentes proporções nos produtos.

Exemplo: em cloreto de cal a 30%, logo:

100 mg de cloreto ----- 30 mg de Cl

y mg de cloreto -----x mg de Cl

Agitar o mais possível e deixar a solução permanecer em contato com o poço o tempo necessário, de acordo com a dosagem, 2 - 4 - 12 horas. Findo o prazo, esgotar o poço até que nenhum cheiro ou gosto de cloro seja percebido na água.

Se possível, confirmar o resultado da desinfecção pela análise bacteriológica antes de utilizar a água para bebida.

Observação:

- A desinfecção com solução forte de 100mg/l de Cl_2 deve ser precedida de limpeza, com escovas, de todas as superfícies do poço, paredes, face interna da tampa, tubo desucção;

- As amostras para análise bacteriológica devem ser colhidas depois que as águas nãoapresentem mais nenhum odor ou sabor de cloro;

- A desinfecção de um poço elimina a contaminação presente no momento, mas não tem ação sobre o lençol de água propriamente dito, cuja contaminação pode ocorrerantes, durante e depois da desinfecção do poço.

EXEMPLO 1: Desinfecção de água de poço

(Provão 2000): Um cliente seu adquiriu uma propriedade rural. Como não existia abastecimento de água no local, foi necessário cavar um poço freático. Quando as obras do poço ficaram concluídas, e antes de utilizar a água para consumo, o cliente resolveu fazer uma desinfecção da água do poço e solicitou os seus serviços, passando-lhe as seguintes informações:

- diâmetro do poço = 2,0 m;
- profundidade do poço = 9,0 m, abaixo do nível do terreno;
- profundidade do nível da água = 6,0 m, abaixo do nível do terreno.

Pesquisando a bibliografia especializada, você resolveu que o produto indicado seria o cloro, sendo que:

- a dosagem de cloro a ser aplicada deveria ser de 51 mg/l;
- o produto comercial escolhido deveria apresentar 68% de cloro ativo;
- o desinfetante deveria ser aplicado através de uma solução a 5%.

Considerando todo o exposto, responda, com os respectivos desenvolvimentos, às perguntas abaixo, apresentadas pelo seu cliente.

a) Qual a quantidade necessária, em quilogramas (kg), do produto desinfetante que devo comprar ?

b) Qual o volume, em litros (L), de solução desinfetante a ser aplicada no poço?

Dados/Informações adicionais:

- Massa específica do produto desinfetante: $\rho = 1.000 \text{ kg m}^{-3}$

Solução:

a) Quantidade de cloro ?

Volume do poço:

$$V = \frac{\pi \times (2,0)^2}{4} \times 3,0 = 9,42 \text{ m}^3 = 9420 \text{ L}$$

- produto comercial = 68% de cloro ativo portanto a dosagem do desinfetante deve ser de

$$\frac{51}{0,68} = 75 \text{ mg L}^{-1}$$

- Quantidade de cloro necessário = $75 \times 9.420 = 706.500 \text{ mg} = 706,5 \text{ g} = 0,7065 \text{ kg}$

b) Volume da solução desinfetante ?

0,7065 kg a 5%

- Como $\rho = 1.000 \text{ kg m}^{-3} = 1 \text{ kg L}^{-1} \rightarrow \frac{0,7065 \text{ Kg}}{0,7065 \text{ L}} = 1$ ou 100%.

$$\frac{0,7065 \text{ Kg}}{x \text{ L}} = 0,05 \rightarrow x = \frac{0,7065}{0,05} = 14,13 \text{ Litros}$$

g) Método Expedido para a Medida Aproximada da Vazão de um Poço

- a vazão deve ser medida, de preferência, na época de estiagem;
- o teste deve ser feito da seguinte maneira:
 - instala-se a bomba no poço. A mesma deverá ter um registro na saída para regular sua descarga;
 - bombeia-se durante um período mínimo de uma hora até que o nível da água, no poço, se estabilize, para uma vazão que, aproximadamente, se deseja obter do poço. Isso pode ser controlado regulando-se a abertura do registro de saída da bomba. Pela descarga da bomba pode-se ter uma idéia aproximada da vazão;
 - para medir, com maior precisão, a vazão do poço, para as condições acima mencionadas, basta cronometrar o tempo de enchimento de um recipiente de volume conhecido como, por exemplo, um tambor de 200 litros.

Fórmula Práticas para Determinar a Vazão

Quando o bombeamento for contínuo, a determinação da vazão poderá ser feita utilizando-se as seguintes fórmulas:

a) Tubo horizontal totalmente cheio

$$Q = 0,24 A.L$$

onde:

Q - vazão em litros por minuto;

A - área em da seção do tubo em cm^2 ;

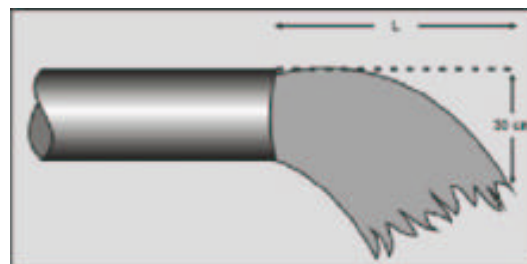


Figura 12 – Tubohorizontal totalmente cheio.

L - distância em cm, determinada a partir de extremidade do tubo, pelo ponto em que a distância de 30 cm do jato de água encontra o nível superior do tubo.

b) Tubo na posição vertical

$$Q = 2,06 \cdot D^2 \cdot \sqrt{H}$$

onde:

Q - vazão em litros por minuto;

D - diâmetro em cm;

H - altura da água em cm.

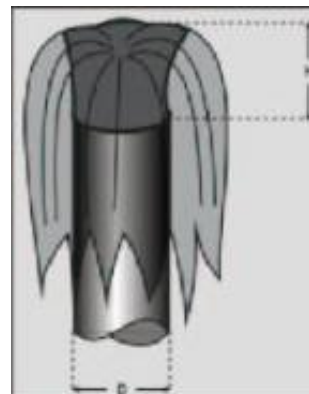


Figura 13 – Tubo vertical totalmente cheio.

h) Melhorias do Poço Raso Escavado

A melhoria do poço raso pode ser obtida com limpeza, retirada de lama e areia, que propicia, também, um aumento de sua vazão.

Outra medida que pode dar bom resultado é aprofundar o poço.

Um recurso usado para evitar ou diminuir a entrada de areia na bomba é o filtro invertido, que consiste em depositar no fundo do poço diversas camadas de cascalho em ordem crescente de diâmetros, de baixo para cima.

1.6.2.3 Poço Tubular Profundo

São denominados profundos quando captam água de lençóis situados entre duas camadas impermeáveis. São poços perfurados que exigem mão-de-obra e equipamentos especiais para sua construção e geralmente só são empregados para abastecimento de cidades, devido ao seu alto custo de construção e normalmente sua grande capacidade de produção de água.

Nesses poços o nível da água, em seu interior, subirá acima da camada aquífera. No caso da água jorrar acima da superfície do solo, sem necessidade de meios de elevação mecânica, o poço é dito **jorrante** ou **surgente**. Caso a água se elevar dentro do poço sem contudo ultrapassar a superfície do solo, o poço é dito **semi-surgente**.

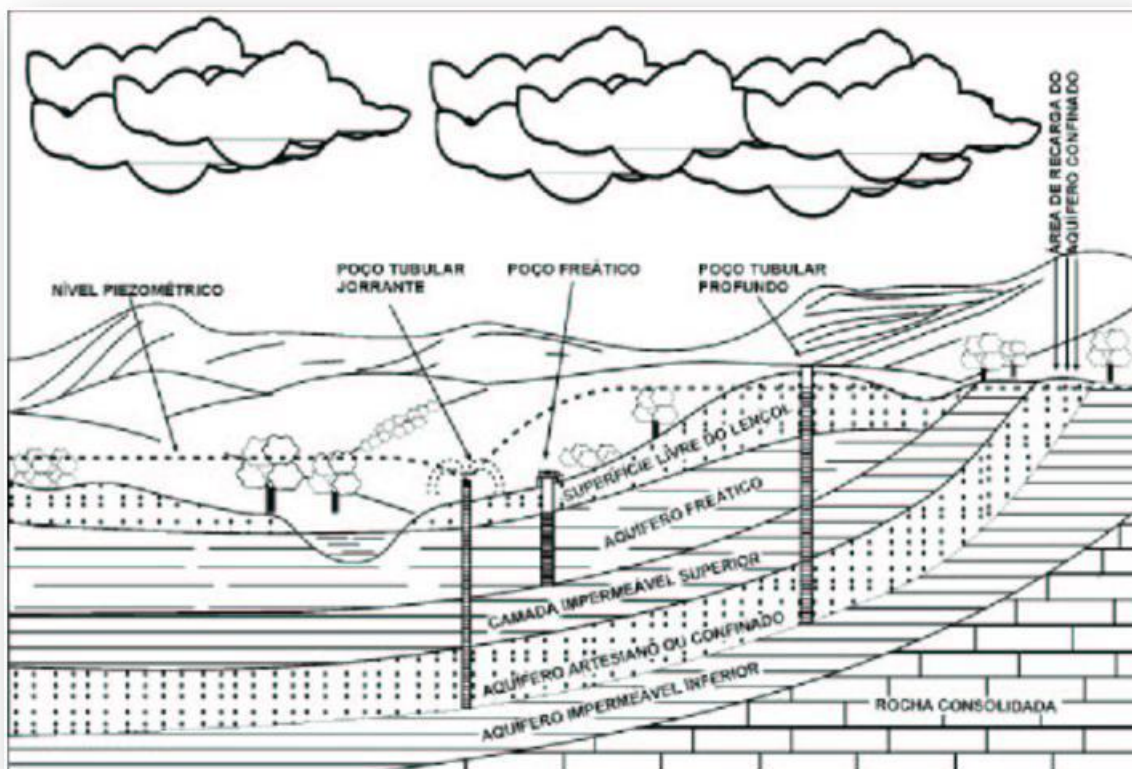


Figura 14 – Corte do terreno mostrando os lençóis de água.

A quantidade de água que um poço tubular profundo pode fornecer depende das características geológicas do local, que influenciam na capacidade de armazenamento e circulação da água no aquífero. Por isso, a produção de água só pode ser estimada a partir de estudos hidrogeológicos ou pela observação de registros operacionais de poços existentes na região.

O diâmetro, normalmente de 150 mm ou 200 mm, é determinado em função da vazão a ser extraída. Quanto à profundidade, esta pode variar de 60 a 300 metros ou mais, dependendo da profundidade em que se encontra o aquífero.

Os poços profundos são construídos por meio de perfuratrizes, que podem ser:

De Percussão

Mais simples, requerem menos conhecimento técnico; aplicam-se em qualquer tipo de terreno e em áreas de rocha mais dura; exigem muito pouca água durante a operação;

Rotativas

Exigem maiores conhecimentos do operador; requerem muita água durante a operação; levam vantagem em terrenos de rocha mais branda, e são mais rápidas em terrenos sedimentares.

A proteção do poço é feita com tubos de revestimento em aço ou PVC, destinados a impedir o desmoronamento das camadas de solo não consolidadas e evitar sua contaminação.

A retirada da água do poço, normalmente é realizada através de bombas centrífugas submersíveis, ou bombas a compressor - “AIR LIFT”.

Para a montagem do poço e dimensionamento do conjunto elevatório são necessárias as seguintes informações fornecidas pelo perfurador:

- diâmetro do poço determinado pelo diâmetro interno do tubo de revestimento;
- vazão: vazão ótima que vi sa o aproveitamento técnico e econômico do poço, definida pela curva característica do poço (curva-vazão/rebaixamento);
- nível estático: nível que atinge a água no poço quando não há bombeamento;
- nível dinâmico: nível em que a água se estabiliza no poço, durante o bombeamento;
- profundidade de instalação da bomba: definida em função da posição prevista para o nível dinâmico, correspondente a vazão de bombeamento. Normalmente é localizada 10,00 metros abaixo do nível dinâmico;
- outros: condições de verticalidade e alinhamento do poço, características físico-químicas da água, características da energia elétrica disponível, distância do poço ao ponto de abastecimento (reservatório por exemplo) e desnível geométrico.

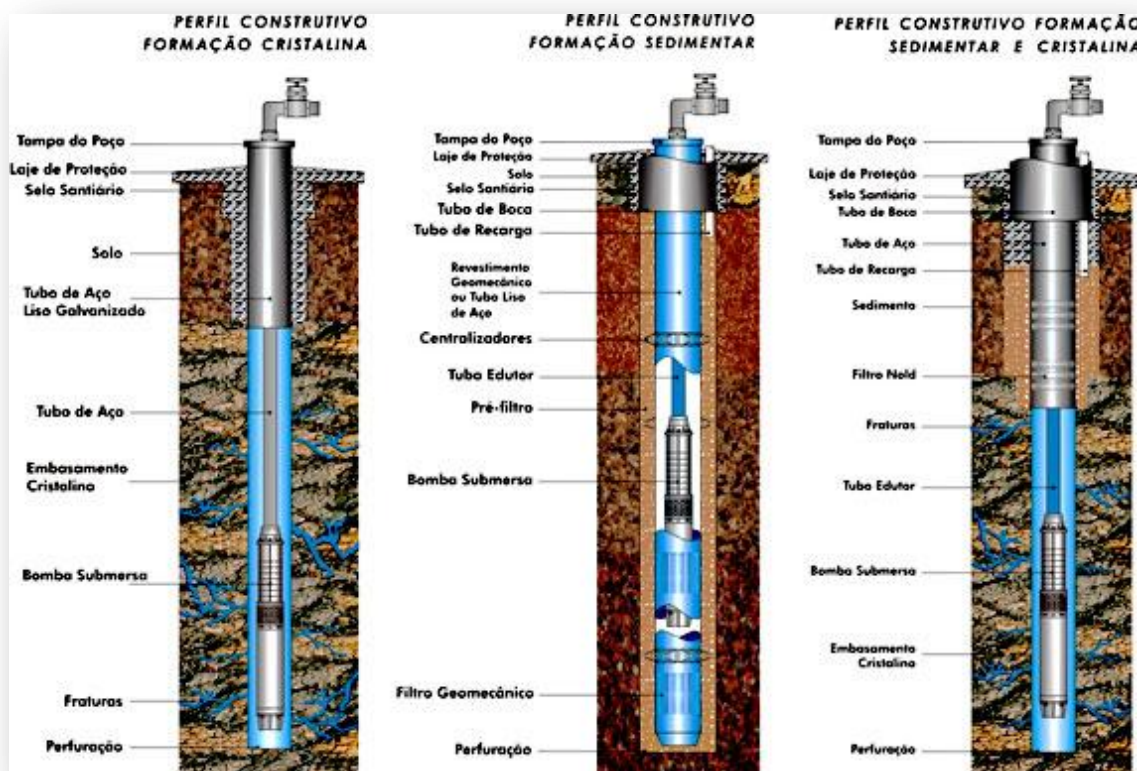


Figura 15 – Perfil padrão de um poço tubular profundo.

1.6.3 Vantagens das Águas Subterrâneas

As principais vantagens da utilização de águas subterrâneas são:

- Normalmente apresentam boa qualidade para consumo humano, a não ser em locais, onde haja excesso de minerais, principalmente sais "debaixo da terra" por onde a água "passa" até chegar ao local onde é retirada;
- É fácil de ser encontrada, principalmente em terrenos arenosos, embora nem sempre na quantidade total necessária;
- Em geral requer menos gastos para as instalações de captação;
- É sujeita a menos chances de contaminação, principalmente as mais profundas;
- Permite melhor controle sobre a área onde a água vai ser retirada diminuindo também as chances de contaminação.

1.7 Águas da Superfície

As águas de superfície são as águas de córregos, rios, lagos (açudes, barragens, etc) e sua escolha como manancial de um sistema de abastecimento de água de uma comunidade, depende de alguns cuidados que devemos levar em conta. São eles:

- Ponto de tomada livre de focos de poluição (seguindo a correnteza ou os ventos, antes da entrada de esgotamentos, locais de lavagens, mangas de gado, etc.);
- A utilização de crivos, grades e caixa de areia para proteção das bombas contra pancadas e entradas de corpos flutuantes (coisas que bóiam), peixes, folhas, garranchos, etc;
- Localização da tomada, sempre que possível, junto às margens do manancial;
- Localização da tomada afastada das margens para dentro do manancial, sempre que as oscilações de nível deste exigirem;
- Construção de barragem de captação no curso de água, destinada à garantia do nível de água na tomada e/ou decantação (assentamento da água baldeada) de água bruta;
- Construção de barragem de armazenamento de água, quando houver necessidade e possibilidade;
- Tomar todas as precauções possíveis do ponto de vista sanitário, quanto ao aproveitamento das águas de superfície como manancial, pois em princípio, todas estas águas devem ser consideradas como águas suspeitas.

1.8 Equipamentos De Bombeamento

Quando se deseja retirar de um poço, de uma cisterna ou elevar a água de um ponto para outro mais alto, recorre-se a um meio elevatório. Os meios mais usados são os mais diversos, dos quais citaremos alguns:

- Balde com corda;
- Sarilho com proteção;
- Sarilho sem proteção;
- Carneiro hidráulico;
- Bombas de deslocamento;
- Bombas hidráulicas.

1.8.1 Balde com Corda

É o mais simples de todos. É impróprio, porque implica em risco de contaminação para a água do poço ou da cisterna através de baldes contaminados ou sujos. A introdução e a retirada do balde do poço ou cisterna obrigam a freqüente abertura de sua tampa, com os conseqüentes efeitos danosos.

1.8.2 Sarilho sem Proteção

Trata-se de um sarilho simples, onde se enrola uma corda que tem amarradura na extremidade um balde, o qual oferece os mesmos riscos sanitários do sistema de balde comum com corda, apenas, pode-se descer a maiores profundidades.

1.8.3 Sarilho com Proteção

O sistema sarilho-corda-balde, pode ser melhorado. Para isso é necessário construir uma casinha acima do poço ou da cisterna, para proteger as suas águas. O sarilho fica dentro dessa casinha, apoiado em suas paredes e ficando de fora apenas a manivela. A água captada no poço ou na cisterna, pelo balde, chega acima dos mesmos por meio de uma corda enrolada no sarilho. Quando o balde chega no alto, esbarra em um dispositivo, que com a continuação do esforço feito sobre a manivela, inclina o balde e o obriga a derramar a água numa calha, a qual leva a água para fora da casinha, onde pode ser aparada com um recipiente.

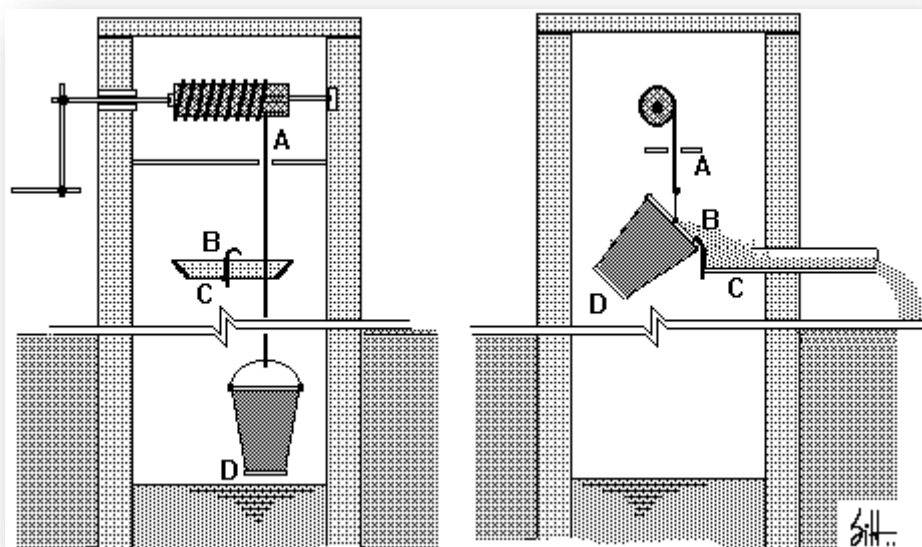


Figura 16 - Sarilho com Proteção. A : Orifício - guia da corda; B : Gancho que vira o balde; C : Canaleta coletora e de descarga; D : Peso que permite o mergulho do balde

1.8.4 Carneiro Hidráulico

É um tipo de máquina hidráulica que modifica o estado da energia que o líquido possui (Figura 11). São mais empregados em recalques de águas superficiais.

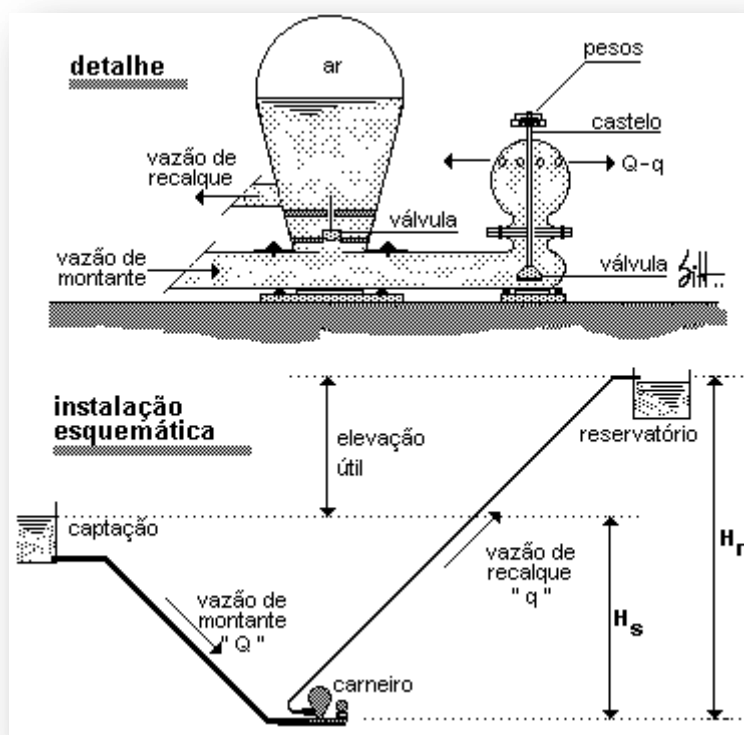


Figura 17 - Esquema de instalação de um carneiro hidráulico

1.8.5 Bombas de Deslocamento

São freqüentemente empregadas para retirada de água de poços rasos ou cisternas (Veja Figura 18).

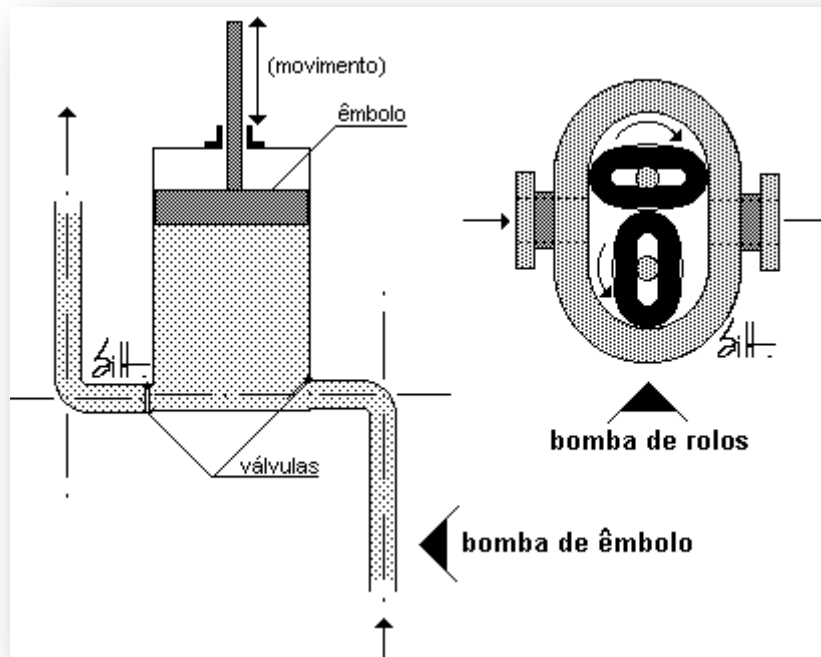


Figura 18 - Esquemas de bombas de deslocamento

1.8.6 Bombas Centrífugas

As bombas centrífugas são essencialmente constituídas de um rotor que gira dentro de uma carcaça. A água penetra pelo centro da bomba e sai pela periferia, guiada por palhetas (Figura 19). O princípio de funcionamento é o seguinte: cheio o rotor da bomba é iniciado o movimento, a água é lançada para o tubo de recalque, criando assim, um vácuo no rotor que provoca a sucção do poço através do tubo de sucção. A força motriz empregada deve ser via motor elétrico ou a explosão (óleo ou gasolina).

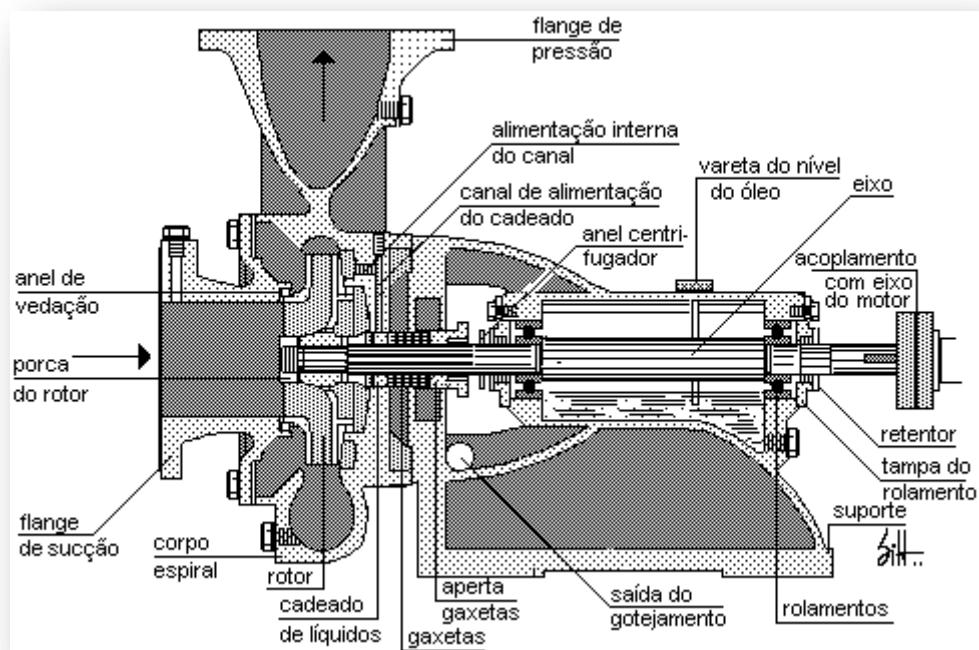


Figura 19-Esquema em corte de uma bomba centrífuga

2 Parâmetros de qualidade da água

2.1 Introdução

A água contém, geralmente, diversos componentes, os quais provêm do próprio ambiente natural ou foram introduzidos a partir de atividades humanas.

Para caracterizar uma água, são determinados diversos parâmetros, os quais representam as suas características físicas, químicas e biológicas. Esses parâmetros são indicadores da qualidade da água e constituem impurezas quando alcançam valores superiores aos estabelecidos para determinado uso.

2.2 Principais Propriedades da Água

Conhecer as propriedades da água, quer ela esteja em repouso ou em movimento, é fundamental para a solução correta dos vários problemas do dia a dia do engenheiro hidráulico. Estes problemas envolvem princípios e métodos de armazenamento, conservação, controle, condução, utilização, etc, e estão presentes desde a elaboração dos projetos até o último dia de sua operação.

Entre as peculiaridades da água está a de ser uma substância encontrada no estado sólido, líquido e gasoso na superfície da terra. Fisicamente quando pura, é um líquido transparente e levemente azulado, praticamente incolor, sem gosto e sem sabor (a clássica qualificação das primeiras aulas de ciências: líquido incolor, inodoro e insípido) e apresenta reflexão e refração da luz.

2.2.1 Composição Química

A água é uma substância composta resultante da combinação de dois átomos de hidrogênio com um de oxigênio que na forma mais elementar de representação temos H_2O .

2.2.2 Massa Específica

Massa específica (density) de uma substância é a massa por unidade de volume. Depende da dimensão e da estrutura de ligação das moléculas entre si. Devido a esta dependência e a sua estrutura molecular peculiar é que a água é uma das poucas substâncias que aumentam de volume quando passam a temperaturas inferiores a 4 °C, reduzindo, portanto, sua massa específica a partir desta temperatura, a medida que é aquecida ou resfriada. Esta propriedade se não analisada com o máximo de acuidade em fase de projeto, pode trazer problemas irreparáveis de ordem estrutural às unidades do sistema na fase de operação.

Também denominada de *densidade absoluta* é geralmente simbolizada pela letra grega minúscula " ρ " e sua unidade no S.I. é o quilograma por metro cúbico (kg m^{-3}). Usualmente em cálculos de escoamentos com água sob temperatura de até 30 °C, trabalha-se com $\rho = 102 \text{ kgf s}^2 \text{ m}^{-4}$ (Tabela 1).

2.2.3 Densidade Relativa

Denomina-se de *densidade relativa* (*specific gravity*) a relação entre a densidade da água a uma determinada temperatura e sua densidade a 4°C, neste ponto definida como igual a unidade. É geralmente simbolizada pela letra grega minúscula " δ ". Como é uma relação entre grandezas de mesma unidade é, portanto, *adimensional*. Frequentemente emprega-se $\delta = 1,0$ para solução de problemas com água, principalmente nos pré-dimensionamentos (Tabela 1).

A água é cerca de 830 vezes mais pesada que o ar seco, porém 133 vezes mais leve na forma de vapor, sob condições normais de pressão. Quando vaporiza-se ocupa um volume cerca de 1640 vezes maior que na fase líquida. Quando congela expande-se aproximadamente 9% ocupando um volume de cerca de 1,11 vezes o da fase líquida na mesma temperatura.

2.2.4 Peso Específico

Peso específico (*density*) é o peso por unidade de volume, ou seja, é o valor da massa específica multiplicada pela aceleração de gravidade local, ou seja, $\gamma = \rho.g$. É geralmente simbolizado pela letra grega minúscula " γ ". No S.I. peso específico sempre é expresso em Newton por metro cúbico (N m^{-3}).

Nos cálculos hidráulicos habituais com água, utiliza-se $\gamma = 1000 \text{ kgf m}^{-3}$ sem muitas reservas, pois como podemos observar na Tabela 1, para temperaturas no intervalo de 0 °C a 30 °C, não há uma sensível alteração nos valores da densidade (menos de 5%). Lembrando ($1 \text{ kgf} = 9,80665 \text{ N}$).

2.2.5 Viscosidade Dinâmica

A água em escoamento reage à tensão de cisalhamento, sofrendo uma deformação angular que é proporcional a essa tensão. *Coefficiente de viscosidade*, *viscosidade dinâmica*, *viscosidade absoluta* ou somente *viscosidade*, é a constante de proporcionalidade definida como a razão entre essa tensão de cisalhamento e o gradiente de velocidade. É geralmente simbolizada pela letra grega minúscula " μ " e tem a dimensão de força por unidade de área. Sua unidade no S.I. é *poise* ($1 \text{ poise} = 0,1 \text{ N s m}^{-2}$). Em termos práticos com água fria, frequentemente trabalha-se com $\mu = 1,03.10^{-4} \text{ kgf s m}^{-2}$ (Tabela 1).

2.2.6 Viscosidade Cinemática

Em estudos hidráulicos muitas vezes é conveniente utilizarmos o conceito de *viscosidade cinemática*, que é uma grandeza definida a partir da relação entre a viscosidade e a densidade (μ/ρ) e é geralmente simbolizada pela letra grega minúscula

"v". Sua unidade no S.I. é *stoke* (1stoke = $1\text{cm}^2\text{ s}^{-1}$). Habitualmente trabalhamos com $v = 1,01 \cdot 10^{-6}\text{ m}^2\text{ s}^{-1}$, que corresponde a viscosidade da água a 20 °C, aproximadamente (Tabela 1).

Tabela 1 – Densidades e viscosidades da água sob condições normais de temperatura e pressão

Temperatura θ (°C)	Densidade absoluta ρ (kg m^{-3})*	Viscosidade dinâmica μ ($10^{-3}\text{ N s m}^{-2}$)	Viscosidade cinemática ν ($10^{-6}\text{ m}^2\text{ s}^{-1}$)	Densidade relativa δ
0 (gelo)	917,0	-	-	0,9170
0(água)	999,8	1,781	1,785	0,9998
4	1000,0	1,558	1,558	1,0000
5	1000,0	1,518	1,519	1,0000
10	999,7	1,307	1,308	0,9997
15	999,1	1,139	1,140	0,9991
20	998,2	1,002	1,003	0,9982
25	997,0	0,890	0,893	0,9970
30	995,7	0,798	0,801	0,9967
40	992,2	0,653	0,658	0,9922
50	988,0	0,547	0,553	0,9880
60	983,2	0,466	0,474	0,9832
70	977,8	0,404	0,413	0,9788
80	971,8	0,354	0,364	0,9728
90	965,3	0,315	0,326	0,9653
100	958,4	0,282	0,294	0,9584

(*) para se obter em $\text{kgf s}^2\text{m}^{-4}$ divide-se o valor tabelado por 9,80665

2.2.7 Coesão, Adesão e Tensão Superficial

Em um líquido as moléculas da superfície estão submetidas a uma força de atração para o interior devido a forças eletrolíticas. Este fenômeno dá origem a uma tensão tangencial a superfície ao longo de toda área livre do líquido que faz com que o mesmo adira ou não a superfície em contato em volta.

Diz-se que *coesão* é a propriedade que uma substância tem de conservar-se unida resistindo à separação. Num comportamento contrário a *adesão* é a propriedade do líquido se fixar na superfície de outros corpos. Por exemplo, a água tende a aderir a superfície em volta molhando esta superfície ou subindo acima do nível de repouso pelo efeito chamado de *capilaridade*, enquanto que com o mercúrio ocorre o fenômeno inverso. No caso da água temos que a *adesão é superior a coesão* e no do mercúrio a *coesão é maior*.

A *tensão superficial* é o fenômeno que se verifica na superfície de separação entre dois fluidos não miscíveis. Esta tensão depende da natureza dos fluidos em

contato e da temperatura. É determinada pela tensão por unidade de comprimento numa linha qualquer de separação e é geralmente simbolizada pela letra grega minúscula " σ " e expressa em unidades de força por unidade de comprimento, por exemplo, no C.G.S. em dyn cm^{-1} . Para obtenção de resultados menos precisos emprega-se frequentemente o valor de $0,007 \text{ Kgf m}^{-1}$ (Tabela 2).

Tabela 2 – Tensão superficial entre a água e o ar

$\theta(^{\circ}\text{C})$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\sigma (\text{dyn cm}^{-1})$	74,16	72,79	71,32	69,75	68,18	67,16	66,11	64,36	62,60	60,71	58,25
$\sigma (10^{-3} \text{kgf m}^{-1})$	7,69	7,54	7,40	7,23	7,07	6,96	6,86	6,67	6,49	6,30	6,04

2.2.8 Compressibilidade

Embora seguidamente se trabalhe com a água como se ela fosse incompressível, na realidade em algumas situações isto pode levar a erros grosseiros, como por exemplo no caso de estudos referentes a questões que envolvam transmissão de ondas de pressão, como no caso de golpe de aríete. Define-se como *módulo de compressibilidade* ou de *elasticidade*, também conhecido como *módulo volumétrico de elasticidade* ou *módulo global de elasticidade*, a relação entre o aumento de pressão e o de massa específica para uma dada temperatura, sendo geralmente simbolizado pela letra maiúscula " ϵ " (há autores que preferem a letra grega minúscula " ϵ "). Usualmente adota-se $\epsilon = 2,18 \times 10^8 \text{ Kgf m}^{-2}$ para pré-dimensionamentos com água (Tabela 3).

Tabela 3 – Módulo de compressibilidade para água em função da temperatura

$\theta(^{\circ}\text{C})$	0	5	10	20	30	40	50	60
$\epsilon (10^8 \text{kgf m}^{-2})$	1,98	2,02	2,07	2,15	2,19	2,21	2,22	2,23

2.2.9 Pressão de Vapor

Como qualquer outro líquido, a água também tem a propriedade de vaporizar-se em determinadas condições de temperatura e pressão. E assim sendo temos que ela entra em ebulição sob a pressão atmosférica local a uma determinada temperatura. Por exemplo, no nível do mar (pressão atmosférica normal) a ebulição acontece a 100°C . A medida que a pressão diminui a temperatura de ebulição também se reduz. Assim, quanto maior a altitude do local menor será a temperatura de ebulição. *Pressão de vapor* é, pois, a pressão exercida pelo vapor em determinado espaço. Geralmente é simbolizada por P_v . Em condições de cálculos expeditos podemos adotar o valor de $0,024 \text{ kgf/cm}^2$ (Tabela 4).

Tabela 4 - Tensão de vapor em função da temperatura

Temperatura (°C)	Tensão de vapor (mm Hg)	Tensão de vapor (kg cm⁻²)	Densidade relativa
0	4,56	0,0062	0,9998
4	6,11	0,0084	1,0000
5	6,50	0,0089	1,0000
10	9,19	0,0125	0,9997
15	12,7	0,0174	0,9991
20	17,4	0,0238	0,9982
25	23,6	0,0322	0,9970
30	31,5	0,0429	0,9967
35	41,8	0,0572	0,9945
40	54,9	0,0750	0,9922
45	71,4	0,0974	0,9901
50	92,0	0,1255	0,9880
55	117,5	0,1602	0,9867
60	148,8	0,2028	0,9832
65	186,9	0,2547	0,9811
70	233,1	0,3175	0,9788
75	288,5	0,3929	0,9759
80	354,6	0,4828	0,9728
85	433,0	0,5894	0,9693
90	525,4	0,7149	0,9653
95	633,7	0,8620	0,9619
100	760,0	1,0333	0,9584
105	906,0	1,2320	0,9549
110	1075,0	1,4609	0,9515
115	1269,0	1,7260	0,9474
120	1491,0	2,0270	0,9430

2.3 Impurezas Das Águas Naturais

Não há água pura na natureza devido a seu alto poder de dissolução de gases, corantes, colóides, sais, etc. Este poder químico faz com que a água seja denominada de solvente universal. Devido a esta efetiva propriedade de solvência e ao seu alto poder de transportar partículas em seu meio, podem ser encontrados diversas impurezas que normalmente definem sua qualidade. Essas impurezas podem ser agrupadas da seguinte forma:

- *em suspensão*: algas, protozoários, fungos e vírus; vermes e larvas; areia, argila e silte; resíduos industriais e domésticos;
- *estado coloidal*: corantes vegetais, sílica e vírus;
- *em dissolução*: sais de cálcio e magnésio (bicarbonatos, carbonatos, sulfatos ou cloretos), sais de sódio (bicarbonatos, carbonatos, sulfatos fluoretos e cloretos), óxidos de ferro e manganês, chumbo, cobre, zinco, arsênico, selênio e boro, iodo, flúor e compostos fenólicos;
- *substâncias albuminóides*: nitratos e nitritos, gases (O_2 , CO_2 , H_2S , N).

Estas impurezas na realidade e de uma forma conceitual mais ampla, conferem a água suas características químicas, físicas e bacteriológicas, características estas que informam os parâmetros de qualidade da água. As características químicas são conferidas através da presença em maior ou menor intensidade tanto de matéria orgânica como de inorgânica, enquanto que as físicas são consequência da presença de sólidos, que podem estar em suspensão (exemplo silte e argila), dissolvidos (exemplo colóides) ou em solução (exemplo sais e corantes). As características biológicas são inerentes a presença de seres vivos ou mortos, principalmente de vida microscópica animal e vegetal, moneras, protistas e vírus.

2.4 Parâmetros Físicos

2.4.1 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. A temperatura pode variar em função de fontes naturais (energia solar) e fontes antropogênicas (despejos industriais e águas de resfriamento de máquinas).

As águas subterrâneas têm uma amplitude térmica pequena, isto é, sua temperatura não é influenciada pelas mudanças da temperatura atmosférica. Exceções são os aquíferos freáticos pouco profundos. Em profundidades maiores a temperatura da água é influenciada pelo grau geotérmico local (em média $1^{\circ}C$ a cada 30 m). No aquífero Botucatu (Guarani) são comuns temperaturas de 40 a $50^{\circ}C$ em suas partes mais profundas. Em regiões vulcânicas ou de falhamentos profundos águas aquecidas podem aflorar na superfície dando origem às fontes termais.

2.4.2 Sabor e Odor

Resultam de causas naturais (algas; vegetação em decomposição; bactérias; fungos; compostos orgânicos, tais como gás sulfídrico, sulfatos e cloretos) e artificiais (esgotos domésticos e industriais). O padrão de potabilidade: água completamente inodora.

Odor e sabor são duas sensações que se manifestam conjuntamente, o que torna difícil sua separação. O odor e o sabor de uma água dependem dos sais e gases dissolvidos. Como o paladar humano tem sensibilidade distinta para os diversos sais,

poucos miligramas por litro de alguns sais (ferro e cobre, por exemplo) é detectável, enquanto que várias centenas de miligramas de cloreto de sódio não é apercebida. Em geral as águas subterrâneas são desprovidas de odor. Algumas fontes termais podem exalar cheiro de ovo podre devido ao seu conteúdo de H_2S (gás sulfídrico). Da mesma maneira águas que percolam matérias orgânicas em decomposição (turfa, por exemplo) podem apresentar H_2S .

2.4.3 Cor

Característica física de uma água, devido a existência de substâncias dissolvidas, ou em estado coloidal, na maioria dos casos de natureza orgânica.

A cor pode originar-se de minerais ou vegetações naturais, tais como substâncias metálicas (compostos de ferro e manganês), humus, turfa, tanino, algas, e protozoários, ou ainda de despejos industriais e domésticos. O padrão de potabilidade para o parâmetro é de intensidade de cor inferior a 5 unidades.

A cor de uma água é consequência de substâncias dissolvidas. Quando pura, e em grandes volumes, a água é azulada. Quando rica em ferro, é arroxeadada. Quando rica em manganês, é negra e, quando rica em ácidos húmicos, é amarelada. A medida da cor de uma água é feita pela comparação com soluções conhecidas de platina-cobalto ou com discos de vidro corados calibrados com a solução de platina-cobalto. Uma unidade de cor corresponde àquela produzida por 1 mg L^{-1} de platina, na forma de íon cloroplatinado. Especial cuidado deve ser tomado na anotação do pH em que foi realizada a medida, pois sua intensidade aumenta com o pH. Da mesma forma a cor é influenciada por matérias sólidas em suspensão (turbidez), que devem ser eliminadas antes da medida. Para águas relativamente límpidas a determinação pode ser feita sem a preocupação com a turbidez. Neste caso a cor obtida é referida como sendo aparente.

COR APARENTE: é a cor presente em uma amostra de água, devido a presença de substâncias dissolvidas e substâncias em suspensão.

COR VERDADEIRA OU REAL: é a cor presente em uma amostra de água, devido a presença de substâncias dissolvidas.

Em geral as águas subterrâneas apresentam valores de cor inferiores a 5mg de platina.

2.4.4 Turbidez

Característica física da água, decorrente da presença de substâncias em suspensão, ou seja, sólidos suspensos, finamente divididos ou em estado coloidal, e de organismos microscópicos.

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.

Os valores são expressos, normalmente, em Unidades Nefelométricas de Turbidez - UNT, ou em mg L^{-1} de SiO_2 (miligramas por litro em Sílica).

As principais causas da turbidez da água são: presença de matérias sólidas em suspensão (silte, argila, sílica, colóides), matéria orgânica e inorgânica finamente divididas, organismos microscópicos e algas. A origem desses materiais pode ser o solo (quando não há mata ciliar); a mineração (como a retirada de areia ou a exploração de argila); as indústrias; ou o esgoto doméstico, lançado no manancial sem tratamento. Esses materiais se apresentam em tamanhos diferentes, variando desde partículas maiores ($> 1 \mu\text{m}$), até as que permanecem em suspensão por muito tempo, como é o caso das partículas coloidais (diâmetro $=10^{-4}$ a 10^{-6} cm).

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 desinfecção da água principalmente a inativação de vírus, é tanto mais eficaz quanto menor é a turbidez da água. A turbidez recomendada para a água potável fica entre 0,5 e 5 UNT.

2.4.5 Sólidos

A água com excessivo teor de sólidos em suspensão ou minerais dissolvidos tem sua utilidade limitada. Uma água com presença de 500 mg L^{-1} de sólidos dissolvidos, geralmente, ainda é viável para uso doméstico, mas provavelmente inadequada para utilização em muitos processos industriais. Água com teor de sólidos superior a 1000 mg L^{-1} torna-se inadequada para consumo humano e possivelmente será corrosiva e até abrasiva.

De um modo geral todas as impurezas presentes na água, com exceção dos gases dissolvidos, têm sua origem nos sólidos incorporados ao seu meio. Devido a essa condição deve-se dar prioridade a análise deles, pois o resultado pode direcionar todo o estudo de caracterização. São caracterizados como sólidos, todas as partículas presentes em suspensão ou em solução, sedimentáveis ou não, orgânicas ou minerais. A separação dos tipos de sólidos presentes na água é feita em laboratório e classificada da seguinte maneira :

- **Sólidos Totais – ST:** Material que permanece na cápsula após evaporação parcial da amostra e posterior secagem em estufa à temperatura escolhida (103°C a 105°C), até massa constante.
- **Sólidos Dissolvidos – SD:** Porção do resíduo total que passa por filtro de porosidade de $1,2 \mu\text{m}$.
- **Sólidos Suspensos – SS:** Porção do resíduo total retida no filtro de porosidade de $1,2 \mu\text{m}$.

- **Sólidos Fixos – SF:** Porção do resíduo total , filtrável ou não filtrável , que resta após a calcinação a $(550 \pm 50) ^\circ\text{C}$ por 1 h.
- **Sólidos voláteis – SV:** Porção do resíduo total , filtrável ou não filtrável, que se perde na calcinação da amostra a $(550 \pm 50) ^\circ\text{C}$ por 1 h.

O teor de sólidos dissolvidos representa a quantidade de substâncias dissolvidas na água, que alteram suas propriedades físicas e químicas da água.

Em águas naturais a presença dos íons: sódio, cloreto, magnésio, potássio, sulfatos, etc, é devida a dissolução de minerais. A concentração de sólidos dissolvidos deve ser menor que 500 mg L^{-1} em água para abastecimento público, pois em concentrações de sólidos dissolvidos superiores a 2000 mg L^{-1} , esta apresenta efeito laxativo.

A classificação dos sólidos pode ser química ou física. Fisicamente eles são classificados segundo suas dimensões: sólidos dissolvidos possuem dimensões inferiores a $2,0 \mu\text{m}$, e os em suspensão, dimensões superiores a esta.

Do ponto de vista químico, os sólidos são classificados em voláteis e fixos. Sólidos voláteis são os que se volatilizam a temperaturas inferiores a $550 ^\circ\text{C}$ sejam estas substâncias orgânicas ou sais minerais que evaporam a esta temperatura. Os sólidos fixos são aqueles que permanecem após a completa evaporação da água, geralmente os sais.

O excesso de sólidos dissolvidos na água pode causar alterações no sabor e problemas de corrosão. Já os sólidos em suspensão, provocam a turbidez da água gerando problemas estéticos e prejudicando a atividade fotossintética.

2.4.6 Condutividade Elétrica

Capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica. A água pura é um meio isolante, porém sua capacidade de solvência das substâncias, principalmente de sais, faz com que as águas naturais tenham, em geral, alto poder de condutividade 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. Esta condutividade depende do tipo de mineral dissolvido bem como da sua concentração. O aumento da temperatura também eleva a condutividade.

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 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. No Sistema Internacional de Unidades, adotado pelo Brasil, a unidade de condutância é siemens, abreviando-se S (maiúsculo).

2.5 Parâmetros Químicos

A importância química da água está no fato do seu poder de dissolver em maior ou menor intensidade de quase todas as substâncias. Após a precipitação, especialmente na forma de chuva, a água escoar superficialmente ou se infiltra. Por isso todas as águas naturais contêm gases e sais minerais em solução adquiridos através do contato da água com o ar e, principalmente, com o solo. As águas subterrâneas têm sua qualidade afetada pelas condições naturais do solo, em função da incorporação de impurezas ocorridas durante a precipitação, ao longo do escoamento superficial e no processo de infiltração e percolação, mesmo que as condições naturais da bacia sejam as mais preservadas possíveis ou mesmo inexploradas. Neste caso os principais fatores de influência são a cobertura e a composição do solo.

Em áreas já habitadas ou exploradas pelo homem a qualidade da água está sujeita ao uso e ocupação do solo. A presença humana normalmente gera despejos domésticos e de processos de transformação. Mesmo que a ocupação seja eminentemente rural, esses tipos de impurezas estarão presentes, embora na maioria das vezes mais dispersas. Em áreas agrícolas a qualidade natural da água pode ser perigosamente alterada pela incorporação de defensivos que atingem o solo e são carregados pelo escoamento superficial, especialmente quando da ocorrência de precipitações atmosféricas.

2.5.1 pH (potencial hidrogeniônico)

As moléculas de água quando se ionizam dividem-se em íons H^+ e OH^- . Define-se então pH como o logaritmo decimal da concentração efetiva ou atividade dos íons hidrogênio ($pH = -\log a_{H^+}$). O desequilíbrio entre a quantidade desses íons no interior da massa d'água fará com que esta tenha um pH superior a 7,0 (mais hidroxilas) ou inferior (mais cátions H^+). A relação dióxido de carbono-bicarbonatos presentes nas águas naturais é o principal fator de definição do nível do pH, pois o dióxido dissolvido transforma-se em ácido carbônico.

Apresenta relações fundamentais com acidez e alcalinidade de modo que é praticamente impossível falar destas sem ter aquele em mente.

De um modo geral as alterações naturais do pH têm origem na decomposição de rochas em contato com a água, absorção de gases da atmosfera, oxidação de matéria orgânica, fotossíntese, além da introdução de despejos domésticos e industriais.

Do ponto de vista analítico o pH é um dos parâmetros mais importantes na determinação da maioria das espécies químicas de interesse tanto da análise de águas potáveis como na análise de águas residuárias, sendo, pois, uma das mais comuns e importantes determinações no contexto da química da água. No campo do abastecimento de água o pH intervém na coagulação química, controle da corrosão, abrandamento e desinfecção. Águas com baixos valores de pH tendem a ser agressivas para instalações metálicas. O padrão de potabilidade em vigor no Brasil, preconiza uma faixa de pH entre 6,5 e 8,5. Normalmente a água apresenta-se boa para ingestão para

pH na faixa de 5,5 a 8,0, sob a análise desta característica; a vida aquática depende do pH, sendo recomendável a faixa de 6 a 9.

2.5.2 Acidez

Quimicamente acidez é a capacidade de neutralização de soluções alcalinas, ou seja, é a capacidade da água em resistir às mudanças de pH em função da introdução de bases. Em geral a acidez está associada a presença de CO_2 livre. A presença de ácidos orgânicos é mais comum em águas superficiais, enquanto que nas águas subterrâneas é menos freqüente a ocorrência de ácidos em geral. Em algumas ocasiões as águas subterrâneas poderão conter ácido sulfúrico derivado da presença de sulfetos metálicos.

Acidez, pH e alcalinidade estão intimamente interrelacionados. De um modo geral o teor acentuado de acidez pode ter origem na decomposição da matéria orgânica, na presença de gás sulfídrico, na introdução de despejos industriais ou passagens da água por áreas de mineração.

Do ponto de vista de águas de abastecimento ou mesmo sanitário a acidez tem pouca importância. No campo do abastecimento de água o pH intervém na coagulação química, controle da corrosão, abrandamento e desinfecção. Águas com baixos valores de pH tendem a ser agressivas para instalações metálicas. O padrão de potabilidade em vigor no Brasil, preconiza uma faixa de pH entre 6,5 e 8,5. Normalmente a água apresenta-se boa para ingestão para pH na faixa de 5,5 a 8,0, sob a análise desta característica.

2.5.3 Alcalinidade

Quimicamente definindo alcalinidade é a propriedade inversa da acidez, ou seja, é a capacidade de neutralização de ácidos. Em geral a presença de alcalinidade leva a pH para valores superiores a 7,0, porém pH inferiores (acima de 4) não significa que não hajam substâncias alcalinas dissolvidas no meio aquoso. Os principais constituintes da alcalinidade são os bicarbonatos (HCO_3^-), os carbonatos (CO_3^{2-}) e os hidróxidos (OH^-), cujas formas são função do pH. Para pH superiores a 9,4 tem-se dureza de carbonatos e predominantemente de hidróxidos. Entre pH de 8,3 e 9,4, predominam os carbonatos e ausência de hidroxilas. Para pH inferiores a 8,3 e acima de 4,4 ocorre apenas dureza de bicarbonato. Abaixo de 4,4 não ocorre alcalinidade.

De um modo geral as alterações de alcalinidade têm origem na decomposição de rochas em contato com a água, reações envolvendo o CO_2 de origem atmosférica e da oxidação de matéria orgânica, além da introdução de despejos industriais. Causada por sais alcalinos, principalmente de sódio e cálcio; mede a capacidade da água de neutralizar os ácidos; em teores elevados, pode proporcionar sabor desagradável à água, tem influência nos processos de tratamento da água.

2.5.4 Dureza

Dureza é um parâmetro característico da qualidade de águas de abastecimento industrial e doméstico sendo que do ponto de vista da potabilização são admitidos

valores máximos relativamente altos, típicos de águas duras ou muito duras. Quase toda a dureza da água é provocada pela presença de sais de cálcio e de magnésio (bicarbonatos, sulfatos, cloretos e nitratos) encontrados em solução. Assim, os principais íons causadores de dureza são cálcio e magnésio tendo um papel secundário o zinco e o estrôncio. Algumas vezes, alumínio e ferro férrico são considerados como contribuintes da dureza.

Classificação das águas, em termos de dureza (em CaCO_3):

- Menor que $50 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$ - água mole
- Entre 50 e $150 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$ - água com dureza moderada
- Entre 150 e $300 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$ - água dura
- Maior que $300 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$ - água muito dura

Normalmente, reconhece-se que uma água é mais dura ou menos dura, pela maior ou menor facilidade que se tem de obter, com ela, espuma de sabão. As águas duras caracterizam-se, pois, por exigirem consideráveis quantidades de sabão para produzir espuma. Importante por causa das dificuldades de limpeza de roupas e utensílios.

Também durante a fervura da água os carbonatos precipitam-se. Este fenômeno prejudica o cozimento dos alimentos, provoca "encardido" em panelas e é potencialmente perigoso para o funcionamento de caldeiras ou outros equipamentos que trabalhem ou funcionem com vapor d'água, podendo provocar explosões desastrosas.

Assim pode-se resumir que uma água dura provoca uma série de inconvenientes:

- é desagradável ao paladar;
- gasta muito sabão para formar espuma;
- dá lugar a depósitos perigosos nas caldeiras e aquecedores;
- deposita sais em equipamentos;
- mancha louças.

2.5.5 Cloretos

A presença de cloretos na água é resultante da dissolução de sais com íons de cloreto de sódio. É característica da água do mar, cujo teor se aproxima dos 20000 mg L^{-1} , entre eles o mais presente é o cloreto de sódio (NaCl) com cerca de 70% deste teor. A água de chuva, por exemplo, tem presença insignificante de cloretos (menos de 1%), exceto em regiões próximas ao litoral. De um modo geral a presença de cloretos tem origem na dissolução de minerais, contato com áreas de sal, mistura com a água do mar e introdução de águas residuárias domésticos ou industriais.

Em termos de consumo suas limitações estão no sabor e para outros usos domésticos e para processos industriais. Águas com teores menores que 250 mg L^{-1} de cloretos é satisfatória para serviços de abastecimento doméstico (o ideal seria menor que 150 mg L^{-1}). Concentrações superiores a 500 mg L^{-1} implicam em sabor característico e desagradável, em altas concentrações, conferem propriedades laxativas. Para consumo de animais esta concentração pode chegar até 4000 mg L^{-1} .

2.5.6 Ferro e Manganês

Presentes numa grande quantidade de tipos solos, o ferro e o manganês são os elementos químicos mais freqüentemente encontrados nas águas naturais. Podem originar-se da dissolução de compostos do solo ou de despejos industriais. Na ausência de oxigênio dissolvido como nos caso de águas subterrâneas e de fundos de lagos, seus íons se apresentam na forma solúvel (Fe^{+2} e Mn^{+2}). Exposto ao oxigênio livre sofre oxidação e torna-se insolúvel na forma (Fe^{+3} e Mn^{+4}), o que pode acontecer até na saída da torneira, causam coloração avermelhada à água, no caso do ferro, ou marrom, no caso do manganês, manchando superfícies claras, 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.

Por ser uma substância que afeta qualitativamente o desempenho de algumas atividades domésticas como também alguns produtos industrializados, é de suma importância que seu teor seja quantificado nas águas de abastecimento público. Concentrações superiores a $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ provocam manchas em louças e roupas nos processos de lavagens. Atividades que envolvam tingimentos, tais como fábricas de tecidos ou artigos destes, não podem trabalhar com águas com teores superiores a $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ de ferro insolúvel (Fe^{+3}), por exemplo.

2.5.7 Nitrogênio

O nitrogênio pode ser encontrado de várias formas e estados de oxidação no meio aquático: molecular (N_2), orgânico, amônia (NH_4), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-). Elemento indispensável ao desenvolvimento das algas, concentrações elevadas de nitrogênio principalmente em águas paradas ou de deslocamento laminar, podem levar ao crescimento excessivo desses organismos, no processo chamado de *eutrofização*. O excesso de amônia provoca mortandade dos peixes e o processo de oxidação desse composto em nitrito e em seguida em nitrato consome oxigênio livre, afetando assim a vida aquática do manancial.

Constituinte de proteínas, clorofila e vários outros compostos orgânicos, a presença de nitratos na água decorre da decomposição de vegetais e de dejetos e corpos de animais mortos, de poluição com fertilizantes e, principalmente da introdução de efluentes de esgotos sanitários no manancial. Águas com concentrações superiores a 45 mg L^{-1} são desaconselhadas para uso doméstico, pois a sua ingestão contínua pode provocar a *cianose* ou *doença do bebê azul*, ou *metahemoglobinemia*, principalmente nas crianças.

2.5.8 Fósforo

O fósforo assim como o nitrogênio, é um nutriente essencial para o crescimento dos microrganismos responsáveis pela biodegradabilidade da matéria orgânica e também para o crescimento de algas, o que pode favorecer o aparecimento da *eutrofização* nos mananciais. Normalmente sua presença nos mananciais tem origem em

despejos domésticos e em certos despejos industriais, embora também possa surgir da dissolução de compostos do solo.

O fósforo presente nos esgotos domésticos (5 a 20 mg L^{-1}) tem procedência, principalmente, da urina dos contribuintes e do emprego de detergentes usualmente utilizados nas tarefas de limpeza. Este fósforo apresenta-se principalmente nas formas de ortofosfato, poli ou pirofosfatos e fósforo orgânico. Cerca de 80% do total é de fósforo inorgânico, 5 a 15 mg L^{-1} (poli + orto), enquanto que o orgânico varia de 1 a 5 mg L^{-1} . Nos esgotos domésticos de formação recente a forma predominante de ortofosfato é HPO_4^{-2} , originada em sua maior parte da diluição de detergentes e favorecido pela condição de pH em torno da neutralidade. Porém sua predominância tende a ser acentuada a medida que o esgoto vá envelhecendo, uma vez que os polifosfatos (moléculas complexas com mais de um P e que precisam ser hidrolisadas biologicamente) e os fósforos orgânicos (pouco representativos) transformam-se, embora lentamente, em ortofosfato, o que deve acontecer completamente até o final da biodegradação, visto que é nesta forma que ele pode ser assimilado diretamente pelos microrganismos.

Assim sendo, a sua determinação é um parâmetro fundamental para caracterização de águas residuárias brutas e tratadas, embora por si só sua presença não seja um problema sanitário muito importante no caso de águas de abastecimento.

2.5.9 Fluoretos

Teores de flúor entre $0,5$ e $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ são benéficos na formação dos dentes das crianças, sendo por isso, indicado no tratamento preventivo contra o aparecimento de cáries. Concentrações superiores a $1,5 \text{ mg L}^{-1}$ provocam manchas permanentes no esmalte dos dentes (este problema é conhecido como fluorose) e além de $4,0 \text{ mg L}^{-1}$ possivelmente prejudicam a resistência dos mesmos, além de ser perigoso para os ossos em geral, podendo provocar defeitos orgânicos permanentes nos fetos.

2.5.10 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; 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.

2.5.11 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).

2.5.12 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 temperatura de 20 °C.

2.5.13 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.

2.5.14 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 ou a partir das atividades agrícolas, de garimpo e de mineração.

2.5.15 Componentes Orgânicos

Alguns componentes orgânicos da água são resistentes à degradação biológica, acumulando-se na cadeia alimentar; entre esses, citam-se os agrotóxicos, alguns tipos de detergentes e outros produtos químicos, os quais são tóxicos.

2.6 Parâmetros Biológicos

2.6.1 Coliformes

São indicadores de presença de microrganismos patogênicos na água; os coliformes fecais existem em grande quantidade nas fezes humanas e, quando encontrados na água, significa que a mesma recebeu esgotos domésticos, podendo conter microrganismos causadores de doenças.

2.6.2 Algas

As algas desempenham um importante papel no ambiente aquático, sendo responsáveis pela produção de grande parte do oxigênio dissolvido do meio; em grandes quantidades, como resultado do excesso de nutrientes (eutrofização), trazem alguns inconvenientes: sabor e odor; toxidez, turbidez e cor; formação de massas de matéria orgânica que, ao serem decompostas, provocam a redução do oxigênio dissolvido; corrosão; interferência nos processos de tratamento da água: aspecto estético desagradável.

2.7 Padrões de potabilidade

2.7.1 Qualidade natural

Como já foi dito a qualidade da água pode ser função das diversas substâncias que se encontram em seu meio e os parâmetros que mostram as características de uma água pode ser de ordem física, química e bacteriológica. Na natureza tem uma qualidade inerente às condições naturais da bacia de drenagem, ou seja, tem uma *qualidade existente*, que nem sempre é adequada às condições de uso que se pretende. Assim a água natural tem de passar por uma transformação artificial até que atinja a *qualidade desejável*, de modo a se tornar utilizável. Aos processos de transformação artificial da qualidade existente para a desejável dá-se o nome de *tratamento da água*.

2.7.2 Potabilidade

Uma água é dita *potável* quando é inofensiva a saúde do homem, agradável aos sentidos e adequada aos usos domésticos. Nestes termos, por exemplo, uma água quente, embora possa ser inofensiva a saúde, não pode ser considerada potável, da mesma maneira que uma água com elevado teor de dureza que, nestas condições, irá atrapalhar significativamente o desempenho das tarefas domésticas.

É importante para que uma água seja considerada potável, que na fase de tratamento eliminem-se todas as substâncias originalmente presentes que lhe confirmem algum gosto ou cheiro peculiar. Paralelamente também não devem resultar alguma turbidez ou cor visuais.

2.7.2.1 Padrões de potabilidade

Uma água é dita potável quando é inofensiva a saúde do homem, agradável aos sentidos e adequada aos usos domésticos. Nestes termos, por exemplo, uma água quente, embora possa ser inofensiva a saúde, não pode ser considerada potável, da mesma maneira que uma água com elevado teor de dureza que, nestas condições, irá atrapalhar significativamente o desempenho das tarefas domésticas. É importante para que uma água seja considerada potável, que na fase de tratamento eliminem-se todas as substâncias originalmente presentes que lhe confirmem algum gosto ou cheiro peculiar. Paralelamente também não devem resultar alguma turbidez ou cor visuais.

Definem-se como *padrões de potabilidade* os limites de tolerância das substâncias presentes na água de modo a garantir-lhe as características de água potável. De um modo geral os padrões de potabilidade tornam-se mais rigorosos com o passar dos anos, visto que novas técnicas de tratamento e a evolução das tradicionais, associadas a novas descobertas científicas, principalmente no trato com as doenças transmissíveis através da água ou que têm nela uma parte de seu ciclo, vão permitindo este desenvolvimento. Também é de se esperar que em países mais desenvolvidos, estes padrões sejam mais rigorosos, considerando a maior disponibilidade de recursos e o maior domínio de tecnologias apropriadas.

Em linhas gerais estes padrões são físicos (cor, turbidez, odor e sabor), químicos (presença de substâncias químicas) e bacteriológicos (presença de microrganismos vivos). Normalmente as legislações específicas de cada região ou país, regem-se pelas recomendações da Organização Mundial de Saúde (OMS).

2.7.3 Portaria Ministerial

No Brasil os padrões de potabilidade são definidos pelo Ministério da Saúde, na PORTARIA N.º 2914, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2011. Essa portaria estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.

Com esta Portaria o Brasil definiu novo padrão de potabilidade para a água a ser consumida pela população. A partir de então, as empresas responsáveis pela captação, tratamento e abastecimento terão que estar mais atentas aos parâmetros de qualidade exigidos no Brasil. Uma das novidades é que a nova portaria facilita para o consumidor o monitoramento da qualidade da água consumida no domicílio. Isso porque será obrigatório para as empresas de abastecimento o envio, para os consumidores, de um relatório anual sobre a qualidade da água oferecida. As empresas também deverão facilitar o acesso às informações sobre a água distribuída, possibilitando a consulta pública.

A revisão da portaria teve por base critérios de qualidade da água estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS), além de normas dos órgãos de controle de qualidade da água dos Estados Unidos e Canadá, entre outras contribuições. O texto final da portaria foi aprovado pelo Ministério da Saúde e pela Comissão Intergestores Tripartite e é resultado de discussões realizadas entre os técnicos da Fundação Nacional de Saúde - FUNASA, órgão executivo do Ministério da Saúde, com o apoio da Organização Pan-americana de Saúde (OPAS) e dos seguintes órgãos e entidades: associações de empresas estaduais, municipais e de profissionais de saneamento (AESBE, ABES E ASSEMAE); Secretaria de Desenvolvimento Urbano (SEDU), Conselhos Nacionais de Saúde e de Meio Ambiente (CNS e CONAMA); Ministério Público; Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA); Secretarias Estaduais e Municipais de Saúde; Agência Ambiental Americana (EPA/USA); Universidade de Adelaide (Austrália) e universidades brasileiras.

As alterações mais relevantes em relação aos parâmetros anteriormente estabelecidos foram as seguintes:

- Definição dos deveres e das responsabilidades do nível federal, estadual e municipal da qualidade da água para consumo humano;
- Inclusão de mecanismos que possam impedir o uso de substâncias que, se presentes na água de consumo, mostram-se danosas à saúde humana;
- Valorização dos direitos do consumidor por intermédio da divulgação de informações sobre a qualidade da água consumida;
- Inclusão de definições de responsabilidades para os sistemas sob gestão pública ou privada, com relação ao fornecimento, captação, tratamento, controle e vigilância da qualidade da água de consumo humano;
- Retirada do rol de produtos a serem analisados, para detecção de resíduos, de alguns agrotóxicos que não são mais comercializados e outros proibidos de comercialização;
- Inclusão na listagem de produtos a serem analisados, para detecção de resíduos, de agrotóxicos desenvolvidos mais recentemente e comercializados sem que existisse, até o momento, a obrigação do seu controle por parte dos prestadores de serviços de abastecimento de água e a vigilância por parte do Setor Saúde;
- Aumento no número de parâmetros do padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam riscos à saúde, de 50 para 76, visando a melhoria da qualidade da água para consumo humano;
- Estabelecimento de limites de tolerância para organismo humano das cianobactérias (algas azuis) encontradas na água de consumo humano.

2.7.4 Componentes

a) Componentes organolépticos

A cor existe devido à presença de material corante dissolvido na água. A cor natural da água em geral resulta da decomposição de material orgânico de origem vegetal e normalmente quando é desta natureza, não apresenta riscos à saúde. Porém quando esta cor for originada da presença de resíduos provocados pelas atividades humanas, como de despejos industriais por exemplo, pode ser tóxica.

O sabor é a combinação entre o gosto (salgado, doce, azedo e amargo) e o odor (cheiro). Não apresenta riscos para saúde, mas os consumidores podem questionar sua confiabilidade. A turbidez é resultante da presença de partículas sólidas em suspensão na água e representa, pois, o grau de interferência com a passagem da luz através da água. Não apresenta inconvenientes sanitários diretos, mas é esteticamente desagradável e os sólidos suspensos que são os responsáveis pela turbidez podem servir de abrigo para organismos patogênicos. Algumas substâncias ferem o senso estético, motivam desconforto ou causam problemas de outra natureza. Exemplos:

- o ferro e o manganês causam manchas nos tecidos e objetos de porcelana, e prejudicam a produção de papel;
- os sulfatos produzem efeitos laxativos;

- a dureza pode causar odor desagradável, reduzir a formação de espuma, aumentando assim o consumo de sabão, e causar incrustações em tubulações de água quente como em caldeiras e aquecedores.

b) Componentes inorgânicos

Uma grande parte dos compostos inorgânicos é proveniente de atividades industriais, atividades mineradoras, garimpos e de agrotóxicos, sendo tóxicos e prejudiciais à saúde. Entre eles destacam-se os metais pesados como o arsênio, o chumbo, o mercúrio e a prata.

c) Componentes orgânicos

Uma grande parte destes compostos, mesmo em reduzidas quantidades, está associada a problemas de toxicidade. São provenientes de atividades industriais, dos detergentes, do processamento e refinamento de petróleo e dos defensivos agrícolas (agrotóxicos).

d) Características bacteriológicas

Os coliformes são grupos de bactérias que servem como organismos indicadores de contaminação da água por fezes. São utilizados como uma forma de detectar a existência de organismos patogênicos (que causam doenças) em amostra de água.

3 Processos unitários de tratamento preliminar de água e efluentes

O tratamento preliminar tem como objetivo principal a redução de sólidos grosseiros em suspensão. Não há praticamente remoção de DBO5 (5-25%), pois consiste na preparação do efluente (condicionamento) para o tratamento posterior, evitando obstruções e danos em equipamentos eletromecânicos da planta de tratamento. As seguintes técnicas são empregadas nesta fase de tratamento:

- Aeração
- Gradeamento
- Peneiramento
- Desarenação
- Neutralização
- Equalização

3.1 Aeração

Para remoção de gases dissolvidos, de odor e sabor e ativação dos processos de oxidação da matéria orgânica, particularmente porque os processos aeróbicos de oxidação são mais rápidos e produzem gases inodoros, emprega-se a introdução de ar no meio aquoso de modo a oxigenar o líquido. Este procedimento é denominado de aeração.

No caso de águas retiradas de poços, fontes ou de pontos profundos de grandes represas, estas podem conter ferro e outros elementos dissolvidos, ou ainda ter perdido o oxigênio em contato com as camadas que atravessou e, em consequência ter, por exemplo, um gosto desagradável. Assim, embora não seja prejudicial à saúde do consumidor, torna-se necessário arejá-la para que melhorar sua condição de potabilidade.

Em águas superficiais a aeração é também usada para a melhoria da qualidade biológica da água e como parte preliminar de tratamentos mais completos. Para as pequenas instalações, a aeração pode ser feita na entrada do próprio reservatório de água; bastando que este seja bem ventilado e que essa entrada seja em queda livre.

3.1.1 Principais tipos de Aeradores

Na prática, encontra-se grande variedade de unidades de aeração. As mais comuns são: aeradores de queda por gravidade (do tipo cascata e tabuleiros); aeradores de repuxo; e aeradores de borbulhamento.

3.1.1.1 Aeradores tipo Cascata

São utilizados para remoção de gás carbônico e substâncias voláteis, em instalações pequenas de vazões não muito elevadas. Compreendem três ou quatro plataformas superpostas e com diâmetros crescentes de cima para baixo, separadas de 0,25 a 0,50 m. Permitem redução do teor de CO₂ entre 20 e 45%.

Nos aeradores mais simples a água sai de uma fonte no topo do aerador, que pode ser constituído por um conjunto de bandejas, sobrepostas, espaçadas e fixadas na vertical por um eixo, ou um tabuleiro de vigas arrumadas em camadas transversais às vizinhas. A água cai atravessando os degraus sucessivamente sobre um efeito de cascata, que permite a entrada de ar oxigenado em seu meio, até ser recolhida na parte inferior da estrutura (Figura 20). Também pode-se empregar um simples sistema de cascatas, fazendo a água tombar sucessivamente sobre diversos degraus.

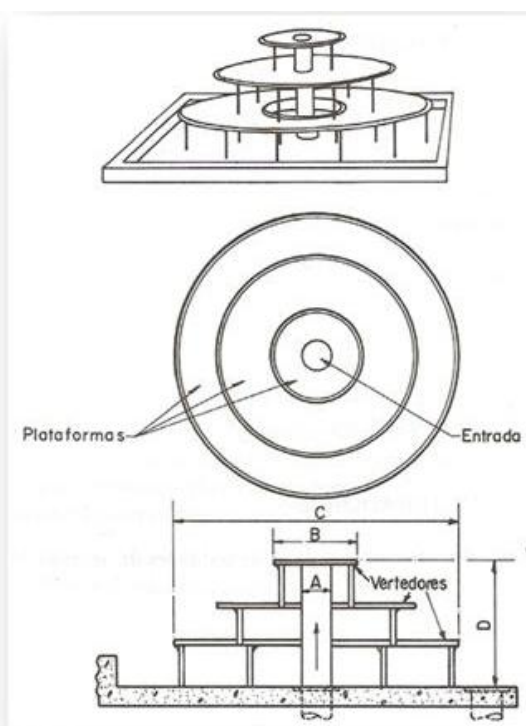


Figura 20– Aerador de Cascata

Capacidade (L s ⁻¹)	A (mm)	B (m)	C (m)	D (m)
7	75	0,30	1,40	0,75
14	100	0,60	1,70	0,75
21	150	1,00	2,00	0,75
35	200	1,60	2,65	0,75

3.1.1.2 Aeradores de Tabuleiros

São os mais indicados para a adição de oxigênio e oxidação de compostos ferrosos e manganosos.

Os aeradores são construídos com três a nove tabuleiros ou “bandejas”, iguais e superpostos, distanciados de 0,30 a 0,75 m (em altura) através dos quais a água percola.

O primeiro tabuleiro (mais alto) serve apenas para distribuir uniformemente a água, sendo executado com perfurações. Os demais tabuleiros são construídos com uma treliça, sobre a qual é disposta uma camada de pedras, ou seja, material granular, de preferência de $\frac{1}{2}$ a 6". Essa camada oferece superfície de contato e concorre para acelerar o processo de oxidação.

Os aeradores de tabuleiro são dimensionados na base de 540 a 1630 m³ de água por m² de superfície (em projeção) por 24 horas (Figura 21a e 21 b)

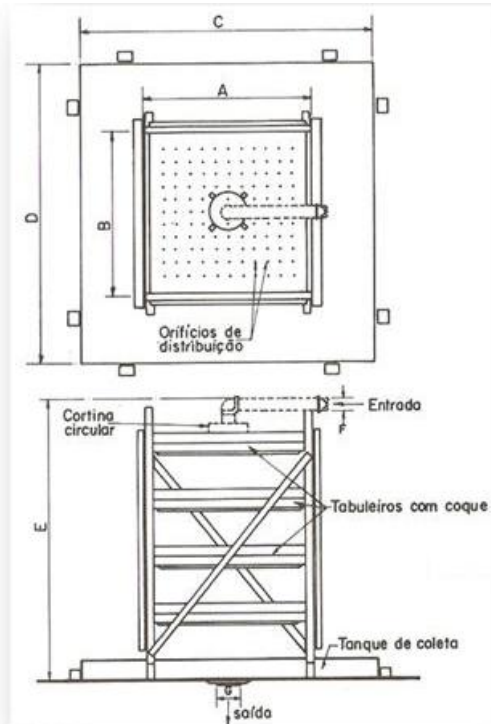


Figura 21a– Aerador de bandejas

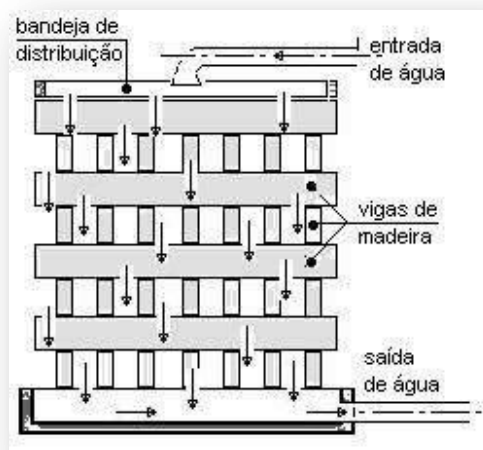


Figura 21b - Aerador de Tabuleiro

Capacidade (L s ⁻¹)	A (m)	B (m)	C (m)	D (m)	E (m)	F (mm)	G (mm)
30	0,90	0,90	1,80	1,80	2,30	75	100
60	1,20	1,20	2,10	2,10	2,40	100	150
95	1,50	1,50	2,40	2,40	2,40	100	150
160	1,80	1,80	2,70	2,70	2,50	150	200
240	2,10	2,10	3,00	3,00	2,50	150	200
330	1,80	3,60	2,70	4,50	2,60	200	250
460	2,10	4,20	3,00	5,20	2,70	250	300

Com esse tipo de aeradores pode-se conseguir reduções de até 90% do CO₂ contido na água.

3.1.1.3 Aeradores de Repuxo

São os mais eficientes para a troca de gases e substâncias voláteis, podendo ser aplicados em instalações grandes. Frequentemente exigem pressão de água de 2 a 7 m, dependendo da altura que se deseja para o jato e, portanto, para o tempo de exposição especificado, recebendo oxigênio quando em contato com o ar.

São tubulações sobre um tanque de coleta de água dotadas de uma série de bocais de aspersão. A água, distribuída uniformemente pelos bocais, sai através dos mesmos com uma velocidade alta em função da pressão inicial.

Para o caso de jato vertical, a água deixa o bocal, eleva-se até uma altura H com movimento retardado e cai para o tanque fazendo o percurso inverso. O tempo de exposição T , nesse caso, abrange a elevação e a queda. As seguintes fórmulas da hidráulica podem ser aplicadas.

$$\text{Altura de elevação} \rightarrow h = C_v^2 \cdot H$$

$$\text{Velocidade de saída do bocal} \rightarrow V_o = C_v \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

$$\text{Área do bocal} \rightarrow S = \frac{q}{V_o}$$

$$\text{Tempo de exposição} \rightarrow T = \frac{2 \cdot V_o}{g}$$

Em que C_v é o coeficiente de velocidade do bocal (0,80 a 0,95), H é a carga hidráulica total no bocal (pressão de água), q é a vazão em cada bocal e g é a aceleração da gravidade ($g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$).

A fórmula que fornece o tempo de exposição é a seguinte:

$$t = 2 \cdot C_v \cdot \sin \theta \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g}}$$

Onde θ é o ângulo de saída do aspersor em relação a horizontal.

Esse tipo de aeradores é dimensionado para cargas entre 270 e 815 m³ m⁻² d⁻¹ e permite remoções de CO₂ superiores a 70%.

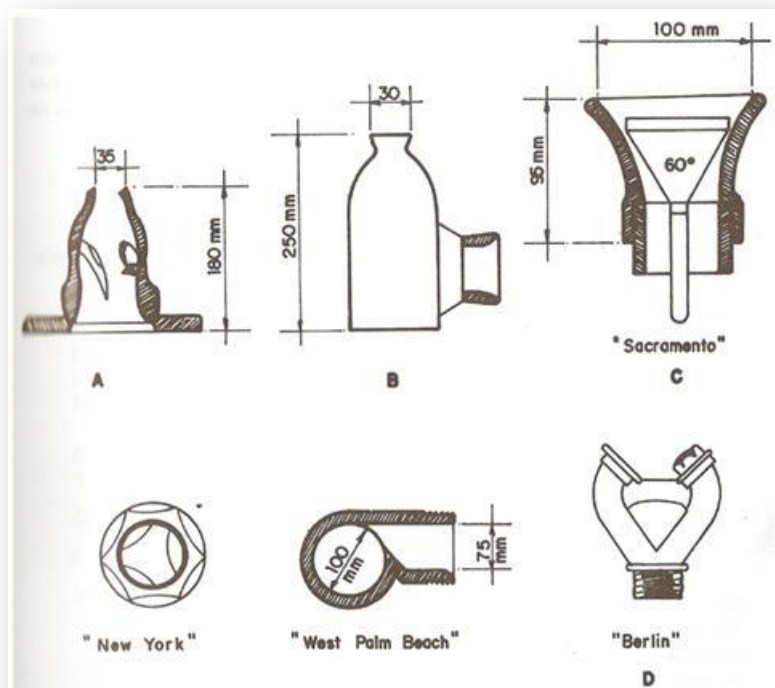


Figura 22 – Alguns tipos de bocais para aeradores de repuxo

3.1.1.4 Aeradores por Borbulhamento

Outra maneira de aeração pode ser desenvolvida através de aeradores por borbulhamento que consistem, geralmente, de tanques retangulares, nos quais se instalam tubos perfurados, placas ou tubos porosos difusores que servem para distribuir ar em forma de pequenas bolhas. Essas bolhas tendem a flutuar e escapar pela superfície da água. A relação largura-profundidade deve manter-se inferior a dois, sendo que a profundidade varia entre 2,70 e 4,50 metros. O comprimento do tanque é calculado em função do tempo de permanência que varia entre 10 a 30 minutos. A quantidade de ar varia entre 75 e 1,125 L m⁻³ de água aerada. Este processo deve requerer projetos mais sofisticados e provavelmente um consumo maior de energia, o que implica em melhores estudos sobre a dualidade custo-benefício.

EXEMPLO 2: Verifica-se através de experiências e ensaios, que a construção de um aerador pode trazer reais benefícios para uma determinada estação de tratamento de água com capacidade de purificar 50 L s⁻¹ (20000 hab.). Dimensionar dois tipos de aeradores:

a) Aerador tipo cascata

Serão consideradas três plataformas circulares, adotando-se uma taxa de aplicação de 800 m³ m⁻² d⁻¹.

Área da maior plataforma (inferior):

$$A = \frac{x}{\quad} = \quad m^2$$

Diâmetro:

$$D = \sqrt{\frac{4 A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 x \quad}{\pi}} = \quad m$$

Plataforma menor (superior): 1,60 m

Plataforma intermediária: 2,13 m

Separação (altura parcial) das plataformas: 0,35

Diâmetro do tanque inferior: 3,50 m

b) Aerador tipo repuxo

Sobre um tanque de 3,50 x 5,00 m será instalada uma tubulação em forma de U, com tubos de 150 mm (6”), dotados de 6 bocais simples em cada ramo (total de 12 bocais). A pressão na tubulação será de 4,50 m.

$$\text{Vazão por bocal} = \frac{\quad}{\quad} = \quad L s^{-1}$$

$$\text{Altura dos jatos} = h = C_v^2 \cdot H = \quad^2 \times \quad = \quad m$$

Velocidade inicial da água (na saída do bocal):

$$V_o = C_v \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = \quad \sqrt{2 \times \quad \times \quad} = \quad m s^{-1}$$

Seção de escoamento:

$$S = \frac{q}{V_o} = \frac{\quad}{\quad} = \quad m^2$$

Os bocais terão praticamente 26 mm (aproximadamente 1”).

Tempo de exposição:

$$T = \frac{2 \cdot V_o}{g} = \frac{2 \times \quad}{\quad} = \quad s$$

Espaçamento entre os bocais: 0,75 m

Espaçamento entre os dois ramos de tubulação: 1,50 m.

3.2 Gradeamento

O gradeamento objetiva a remoção de sólidos bastante grosseiros, com diâmetro superior a 10 mm, como materiais plásticos e de papelões constituintes de embalagens, pedaços de madeira e metal, etc. Os dispositivos de remoção de sólidos grosseiros (grades) são constituídos de barras de ferro ou aço paralelas, posicionadas transversalmente no canal de chegada da água e efluentes na estação de tratamento, perpendiculares ou inclinadas, dependendo do dispositivo de remoção do material

retido. As grades devem permitir o escoamento dos efluentes sem produzir grandes perdas de carga (Figura23).

As grades podem ser classificadas de acordo com o espaçamento entre as barras conforme a tabela abaixo:

Tipo de grade	Seção da barra (pol.)	Espaçamento entre as barras (cm)
Grosseira	$\frac{3}{8} \times 2$ $\frac{3}{8} \times 2\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2} \times 2$	4,0 a 10,0
Média	$\frac{5}{16} \times 2$ $\frac{3}{8} \times 1\frac{1}{2}$ $\frac{3}{8} \times 2$	2,0 a 4,0
Fina	$\frac{1}{4} \times 1\frac{1}{2}$ $\frac{5}{16} \times 1\frac{1}{2}$ $\frac{3}{8} \times 1\frac{1}{2}$	1,0 a 2,0

As grades com dispositivo de remoção mecanizada de material retido são implantadas com inclinações que variam de 70 a 90°, enquanto que as de remoção manual possuem inclinações variando geralmente na faixa de 45 a 60° (ângulo formado pela grade e o fundo do canal a jusante).

Nas estações de grande porte, as grades devem possuir dispositivo mecanizado de remoção do material retido, que é constituído de um rastelo mecânico tipo pente cujos dentes se entrepõem nos espaços entre as barras da grade. O rastelo é acionado por um sistema de correntes, sendo que a remoção se dá no sentido ascendente e na parte superior o material é depositado sobre esteira rolante que o descarrega em caçamba. Nas grades manuais, o operador remove o material retido através de ancinho, quando a seção obstruída atinge cerca de 50% do total. O material removido é depositado em tambores ou caçambas possuindo orifícios no fundo para o escoamento da água. O material retido pode sofrer processo de lavagem, secagem e adição de substâncias químicas antes do envio a aterros sanitários ou incineradores.

As grades são projetadas para que ocorra uma velocidade de passagem entre 0,4 e 0,75 m s⁻¹, sendo mais utilizada a velocidade de 0,60 m s⁻¹. A obstrução máxima admitida é de 50% da área da grade, devendo-se adotar como perdas de carga mínimas os valores de 0,15 m para grades de limpeza manual e 0,10 m para grades de limpeza mecanizada. Com os dados de vazões máxima, média e mínima, escolhe-se o sistema que controlará o nível de líquido após a caixa de areia (se houver), em função das alturas das lâminas líquidas.

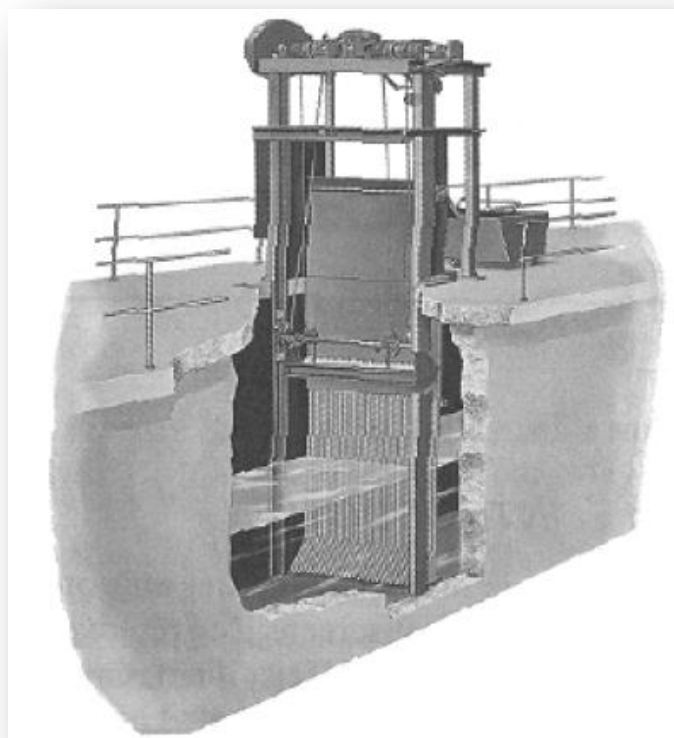


Figura 23 – Gradecom limpeza mecânica.

3.2.1 Dimensionamento das Grades

- Cálculo das alturas das lâminas (H) para as vazões máximas, médias e mínimas, no medidor Parshall

$$H = \left(\frac{Q}{K} \right)^{\frac{1}{n}}$$

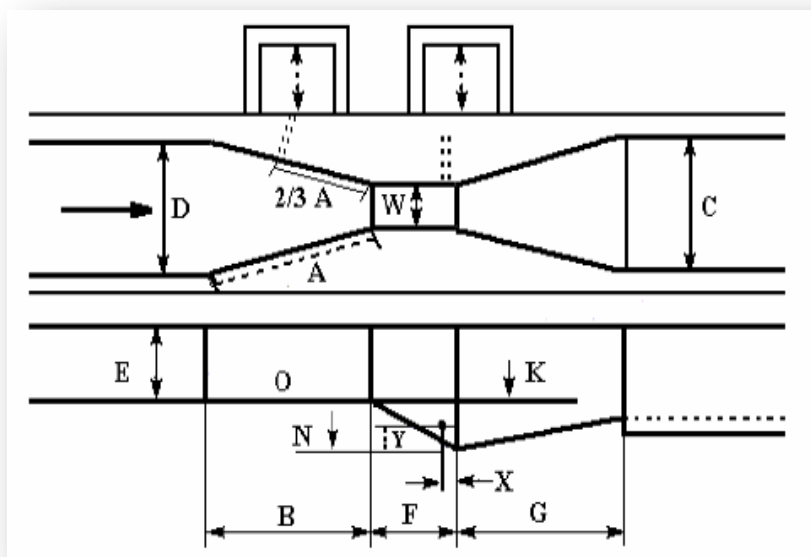
Os valores de n e K dependem da largura da garganta W:

H (cm)	Garganta W			
	3"	6"	9"	1'
3	0,8	1,4	2,5	3,1
4	1,2	2,3	4,0	4,6
5	1,5	3,2	5,5	7,0
6	2,3	4,5	7,3	9,9
7	2,9	5,7	9,1	12,5
8	3,5	7,1	11,1	14,5
9	4,3	8,5	13,5	17,7
10	5,0	10,3	15,8	20,9
11	5,8	11,6	18,1	23,8
12	6,7	13,4	21,0	27,4
13	7,5	15,2	23,8	31,0

14	8,5	17,3	26,6	34,8
15	9,4	19,1	29,2	38,4
16	10,8	21,1	32,4	42,5
17	11,4	23,2	35,6	46,8
18	12,4	25,2	38,8	51,0
19	13,5	27,7	42,3	55,2
20	14,6	30,0	45,7	59,8
25	20,6	42,5	64,2	83,8
30	27,4	57,0	85,0	111,0
35	34,4	72,2	106,8	139,0
40	42,5	89,5	131,0	170,0
45	51,0	107,0	157,0	203,0
50	-	-	185,0	240,0
55	-	-	214,0	277,0
60	-	-	243,0	314,0
65	-	-	-	356,0
70	-	-	-	402,0

Controle da velocidade através de calha Parshall

Para se manter a mesma velocidade na caixa de areia tipo canal, a velocidade constante é controlada por Calha Parshall. A Calha Parshall tem padrões pré-estabelecidos, sendo indicada para vazões acima de $50 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.



Fórmula da calha Parshall: $Q = K.H^N$

onde:

Q = vazão ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)

H = altura de água (m)

Valores de K e N :

Largura Nominal	N	K	Capacidade (L s ⁻¹)	
			Mínima	Máxima
3"	1,547	0,176	0,85	53,8
6"	1,580	0,381	1,52	110,4
9"	1,530	0,535	2,55	251,9
1'	1,522	0,690	3,11	455,6
½'	1,538	1,054	4,25	696,2
2'	1,550	1,426	11,89	936,7

- Rebaixo do medidor Parshall (Z)

O nível do fundo da entrada da calha Parshall deverá ficar abaixo da soleira do vertedor da caixa de areia, objetivando manter a velocidade constante. Isto ocorre, porque a variação da vazão é proporcional a variação da lâmina d'água. O rebaixo (Z) só é calculado se houver uma caixa de areia depois da grade. Ver o detalhe do rebaixo (Z) na Figura 24.

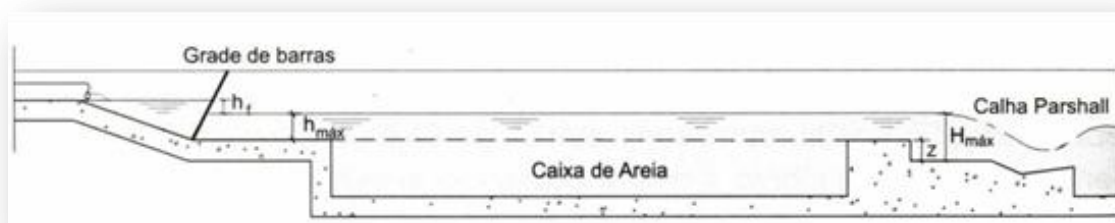


Figura 24 – Grade, Caixa de areia e Calha Parshall.

$$Z = \frac{Q_{\text{máx}} \cdot H_{\text{min}} - Q_{\text{min}} \cdot H_{\text{máx}}}{Q_{\text{máx}} - Q_{\text{min}}}$$

- Área útil (A_u)

$$A_u = \frac{Q_{\text{máx}}}{V}$$

V é a velocidade através das barras, adotada entre 0,40 a 0,75 m s⁻¹.

- Área total, considerando o escoamento à montante da grade (A_t)

$$A_t = \frac{A_u}{E}$$

Onde E é a eficiência da grade, que é dada pela expressão:

$$E = \frac{a}{a + t}$$

a é a abertura entre as barras

t é a espessura

- Largura do canal (b)

$$b = \frac{A_t}{h_{m\acute{a}x}}$$

$$h_{m\acute{a}x} = H_{m\acute{a}x} - Z$$

Se não houver caixa de areia, ou seja, somente grade e medidor Parshall, a fórmula será então:

$$b = \frac{A_t}{H_{m\acute{a}x}}$$

Se não houver medidor Parshall, ou seja, somente grade, adota-se um valor razoável da largura (b) e determina-se $H_{m\acute{a}x}$, ou vice versa.

- Verificação das velocidades (V)

Q (m ³ s ⁻¹)	h (m)	A _t = b.h	A _u = A _t .E	V = Q/A _u	Verif.
Q _{máx}	h _{máx}				
Q _{med}	h _{med}				
Q _{mín}	h _{mín}				

Caso as velocidades estejam fora dos limites mínimos e máximos, é recomendável adotar outro valor.

- Perda de Carga (h_f)

Para o cálculo da perda de carga nas grades, pode-se utilizar a fórmula de Metcalf&Eddy:

$$h_f = \frac{1,43 \cdot (V_o^2 - v^2)}{2 \cdot g}$$

V_o é a velocidade através das barras correspondente a vazão máxima, g é a aceleração da gravidade igual a 9,81 m s⁻² e v é a velocidade à montante da grade.

$$v = V_o \cdot E$$

Deve-se calcular a perda de carga quando a obstrução seja, no máximo, de 50%, logo teremos $v = 2 \cdot V_o$.

Para a observação de detalhes a respeito do projeto e construção dos sistemas de gradeamento, recomenda-se consultar a NB – 569 e a NB – 570 da ABNT.

Além das grades anteriormente descritas, as grades de barras curvas, as peneiras estáticas e as peneiras rotativas podem também ser usadas para a remoção de sólidos grosseiros dos efluentes. A seguir são feitos alguns comentários sobre as peneiras.

EXEMPLO 3 - Dimensionamento das Grades

Dimensione uma grade para os seguintes valores dados:

Vazão (L s ⁻¹)	Altura d'água (H, m)
Máxima = 120	0,29
Média = 80	0,21
Mínima = 40	0,10

Seção de cada barra: 10 mm x 40 mm
Espaçamento entre barras: 25 mm

Valores de eficiência $E = a/(a+t)$

Espessura das barras	Espaçamento entre barras (a)		
	a= 20 mm	a= 25 mm	a= 30 mm
6mm (1/4")	0,750	0,800	0,834
8 mm (5/16")	0,730	0,768	0,803
10 mm (3/8")	0,677	0,728	0,770
13 mm (1/2")	0,600	0,667	0,715

Da seção e do espaçamento das barras, tem-se: $E = \underline{\hspace{2cm}}$

Adota-se uma velocidade entre as barras ($0,4 - 0,75 \text{ m s}^{-1}$): $V = 0,6 \text{ m s}^{-1}$

$$\text{Área útil: } A_u = \frac{Q_{\text{máx}}}{V} = \frac{\underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^3 \text{ s}}{\underline{\hspace{2cm}} \text{ m s}^{-1}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^2$$

$$\text{Área total: } A_t = \frac{A_u}{E} = \frac{\underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^2}{\underline{\hspace{2cm}}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^2$$

$$\text{Largura do canal: } A_t = b \cdot H_{\text{máx}} \therefore b = \frac{A_t}{H_{\text{máx}}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}$$

Adotar largura do canal = 0,95 m.

Verifica-se a velocidade nas diferentes vazões:

Q (m³s)	h (m)	$A_t = b \cdot h \text{ (m}^2\text{)}$	$A_u = A_t \cdot E \text{ (m}^2\text{)}$	$V = Q/A_u \text{ (m s}^{-1}\text{)}$

Avaliação da perda de carga:

$$v = V \times E = \underline{\hspace{2cm}} \times \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ ms}^{-1}$$

$$\text{Grade limpa: } h_f = \frac{1,43 \cdot (V_0^2 - V^2)}{2 \cdot g} = \frac{1,43 \cdot (\underline{\hspace{2cm}}^2 - \underline{\hspace{2cm}}^2)}{2 \cdot \underline{\hspace{2cm}}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}$$

Com metade da grade suja: $h_f = \frac{1,43.(V_0^2 - V^2)}{2.g} = \frac{1,43.(\quad^2 - \quad^2)}{2. \quad} = \quad \text{m}$

Quantidade de material retido varia em função das condições locais, hábitos da população e da abertura da grade. Segundo Schroepfer:

Abertura (cm)	2,0	2,5	3,5	4,0
Quantidade (L m⁻³)	0,038	0,023	0,012	0,009

Abertura da grade = 2,5 cm: 0,023 L m⁻³ de material retido

$$0,023 \frac{L}{m^3} \times Q_{média} \frac{m^3}{s} \times 86400 \frac{s}{dia} = 0,023 \frac{L}{m^3} \times \quad \frac{m^3}{s} \times 86400 \frac{s}{dia} = \quad \frac{L}{dia}$$

3.3 Peneiramento

Peneiras revestidas com uma tela fina retêm sólidos grosseiros e suspensos mais finos (com diâmetros superiores a 1 mm) como cascas, penas, fios, fibras, etc. previamente ao tratamento biológico para reduzir entupimentos ou a carga orgânica dos efluentes. As peneiras estáticas são bastante utilizadas no pré-condicionamento de efluentes antes do lançamento em emissários submarinos e também no tratamento de efluentes de matadouros e frigoríficos, dentre outras aplicações. As peneiras rotativas também são bastante utilizadas no tratamento de efluentes líquidos industriais. O material depositado é removido por jatos de água, sendo o entupimento e a necessidade de limpeza freqüente inconvenientes desses sistemas (Figura 25).

As peneiras mais utilizadas têm malhas com barras triangulares com espaçamento variando entre 0,5 a 2 mm, podendo a limpeza ser mecanizada (jatos de água ou escovas) ou manual. No caso de serem utilizadas peneiras em efluentes gordurosos ou com a presença de óleos minerais deve-se utilizar as peneiras com limpeza mecanizada por escovas.

A utilização de peneiras é imprescindível em tratamentos de efluentes de indústrias de refrigerantes, têxtil, pescado, abatedouros e frigoríficos, curtumes, cervejarias, sucos de frutas e outras indústrias de alimentos. As peneiras devem ser aplicadas também em outros efluentes que apresentem materiais grosseiros, tais como: fiapos; plásticos; resíduos de alimentos, etc.

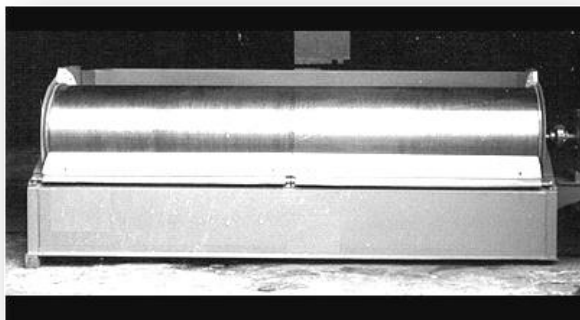


Figura 25 – Peneiras rotatória (à esquerda) e estática (à direita).

Para dimensioná-las é recomendável consultar tabelas de fabricantes, utilizando a vazão máxima de projeto. Recomenda-se também consulta prévia ao fabricante, solicitando confirmar as dimensões da peneira, indicando o tipo da água residuária e a fenda da malha a ser utilizada no projeto.

A tabela abaixo fornece as taxas de aplicação das peneiras estáticas ou hidrodinâmicas e rotativas fabricadas pela ETA – Engenharia de Tratamento de Águas Ltda.

Abertura (mm)	Taxa de aplicação ($\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$)	
	Estática ou Hidrodinâmica	Rotativa
0,25	15	25
0,50	20	45
0,75	25	65
1,00	30	80
1,50	35	100

EXEMPLO 4 – Dimensionamento de Peneira

Dimensionar peneira estática, cuja vazão máxima de $20 \text{ m}^3 \text{h}^{-1}$. Adotar abertura da tela de 0,75 mm.

Solução:

- Área da tela (A)

$$A = \frac{Q_{\text{máx}} (\text{m}^3 \text{h}^{-1})}{I (\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1})}$$

I é a taxa de aplicação igual a $25 \text{ m}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$

$$A = \frac{\text{_____} (\text{m}^3 \text{h}^{-1})}{\text{_____} (\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1})} = \text{_____} \text{ m}^2$$

Comprimento da peneira, conforme catálogo da ETA – Engenharia de Tratamento de Águas Ltda., $L = 2,0$ m.

- Largura da Tela (B)

$$B = \frac{A (m^2)}{L (m)}$$

$$B = \frac{\text{_____} (m^2)}{\text{_____} (m)} = \text{_____} m$$

A largura imediatamente superior é de 0,50 m. logo será utilizada peneira com abertura da tela de 0,75 mm, com 2,0 m de comprimento e 0,50 m de largura.

3.4 Desarenação (caixas de retenção de areia)

A "areia" que infiltra no sistema de esgotos sanitários e alguns efluentes industriais pode danificar equipamentos eletromecânicos. Esta "areia" é constituída de partículas de areia (e outros materiais abrasivos como carvão, terra diatomácea, pó de pedra e similares) com diâmetro de 0,2 a 0,4 mm e massa específica de $2,54 \text{ gcm}^{-3}$. Estas partículas sedimentam-se individualmente nas caixas, por ação da gravidade, com velocidade média de 2 cms^{-1} .

O uso dos desarenadores protege as bombas contra abrasão; evita entupimento e obstáculos em dutos e válvulas, a formação de depósitos de materiais inertes nos decantadores, tanques de aeração, etc.

De acordo com a NB – 570, nas caixas de areia de sistemas com remoção manual devem ser projetados dois canais desarenadores paralelos, utilizando-se um deles enquanto que o outro sofre remoção de areia (Figura 26). Na remoção mecanizada utilizam-se bandejas de aço removidas por talha e carretilha, raspadores, sistemas de airlift, parafusos sem fim, bombas, etc. A "areia" retida deve ser encaminhada para aterro ou ser lavada para outras finalidades.

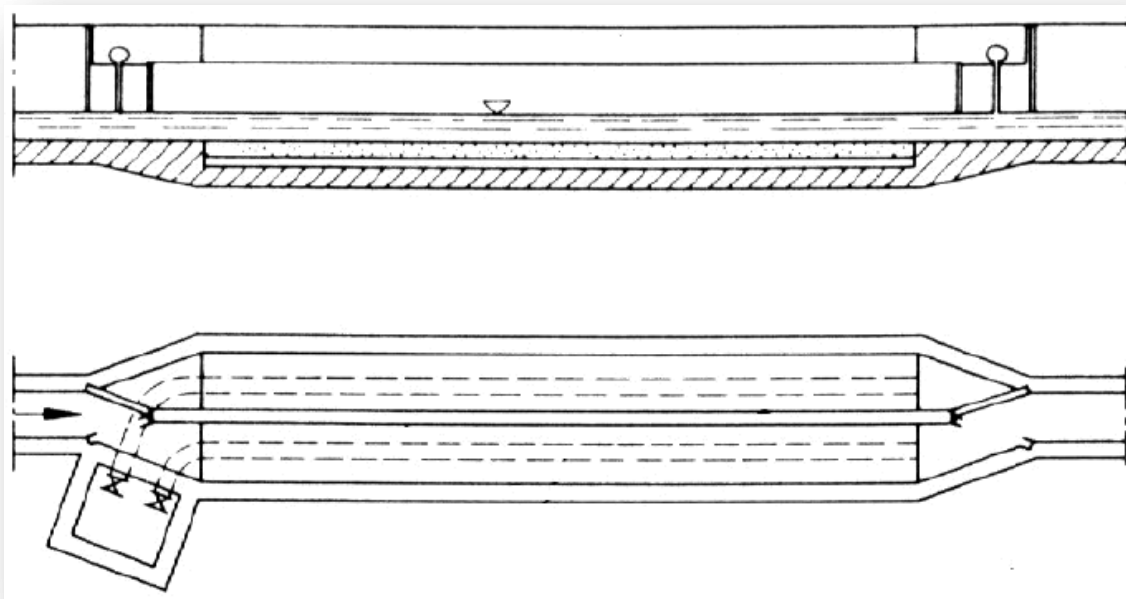


Figura 26 – Desarenadores na forma de canais.

As caixas de areia são projetadas para uma velocidade média dos efluentes de $0,30 \text{ ms}^{-1}$ e tempos de retenção hidráulica da ordem de 1 minuto. A velocidade é mantida aproximadamente constante, apesar das variações de vazão, através da instalação de uma calha Parshall a jusante. Velocidades baixas, notadamente as inferiores a $0,15 \text{ ms}^{-1}$, provocam depósito de matéria orgânica na caixa, indicado pelo aumento da relação SSV/SST do material retido e pela exalação de maus odores devido à decomposição. Velocidades superiores a $0,40 \text{ ms}^{-1}$ provocam arraste de areia e redução da quantidade retida.

Algumas caixas de areia são tanques longos de seção retangular ao longo dos quais injeta-se ar difuso de um dos lados (Figura 27). O ar injetado faz com que a água tome um movimento helicoidal (movimento em parafuso) que permite a sedimentação das partículas de areia e ao mesmo tempo evita-se a exalação de maus odores. A velocidade do efluente é controlada pela taxa de injeção de ar, geralmente de $0,15 - 0,45 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ de ar por metro de comprimento do tanque, enquanto o tempo de retenção hidráulica é de cerca de 3 minutos na vazão máxima.

Perturbações na operação podem ocorrer devido à elevada concentração de matéria orgânica no efluente. Neste caso, recomenda-se uma menor velocidade ou maior retenção hidráulica do efluente e aeração pode ajudar na eliminação de odores. O arraste de areia, que ocorre em função de problemas de dimensionamento, pode ser evitado reduzindo-se a vazão ou aumentando-se a frequência de limpeza.

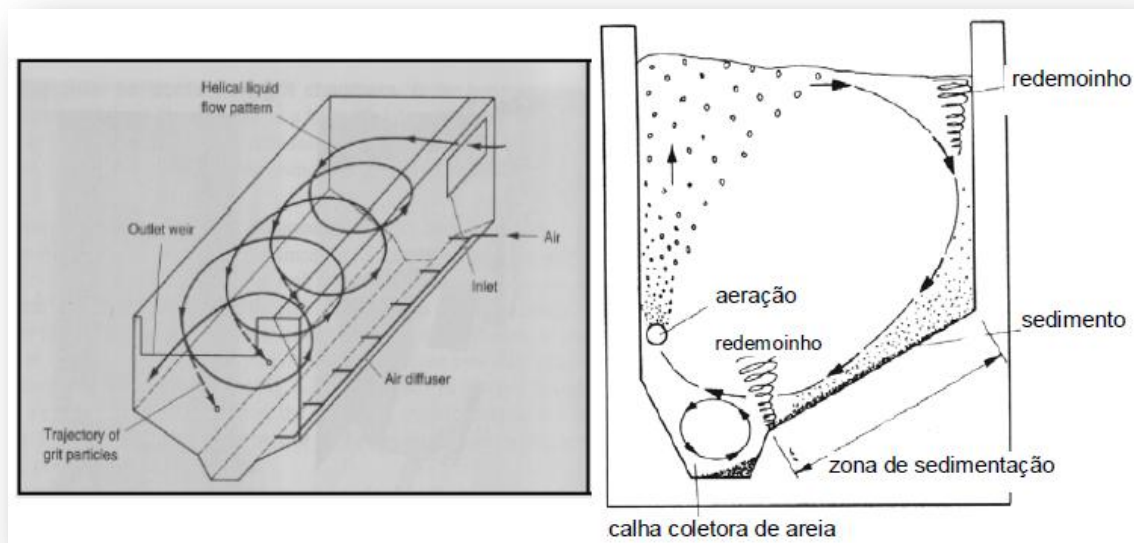


Figura 27 – Desarenadores com injeção de ar (aerados).

O desempenho pode ser avaliado pela razão V_A/V_E e pelo percentual de sólidos voláteis e umidade no material retido.

a) $V_A/V_E = 2$ a 4 m^3 de areia/ 100.000 m^3 de esgoto tratado

V_A = volume de areia removido

V_E = volume do efluente tratado

Q = vazão média do efluente

T = período do tratamento

Se $V_A/V_E > 15/100.000$ existem infiltrações na rede de esgoto e se $V_A/V_E < 1/100.000$, falhas no processo de tratamento.

b) $\% SV = SV/ST \times 100$

SV = sólidos voláteis existentes na areia

ST = sólidos totais existentes na amostra retirada da caixa de areia

$\% SV$ tolerável até 30%. Valores mais altos indicam problemas de projeto, recomenda-se reduzir a vazão.

c) Umidade normal = 20-30%.

3.4.1 Dimensionamento de caixas de areia

- Determinam as alturas das lâminas (H) para vazões máximas, médias e mínimas (Q), e escolhe-se o medidor de vazão e controle da velocidade.

$$H = \left(\frac{Q}{K} \right)^{\frac{1}{n}}$$

- Rebaixo no medidor (Z).

$$Z = \frac{Q_{\text{máx}} \cdot H_{\text{min}} - Q_{\text{min}} \cdot H_{\text{máx}}}{Q_{\text{máx}} - Q_{\text{min}}}$$

- Altura máxima da lâmina de água na caixa ($h_{\text{máx}}$)

$$h_{\text{máx}} = H_{\text{máx}} - Z$$

- Largura (b)

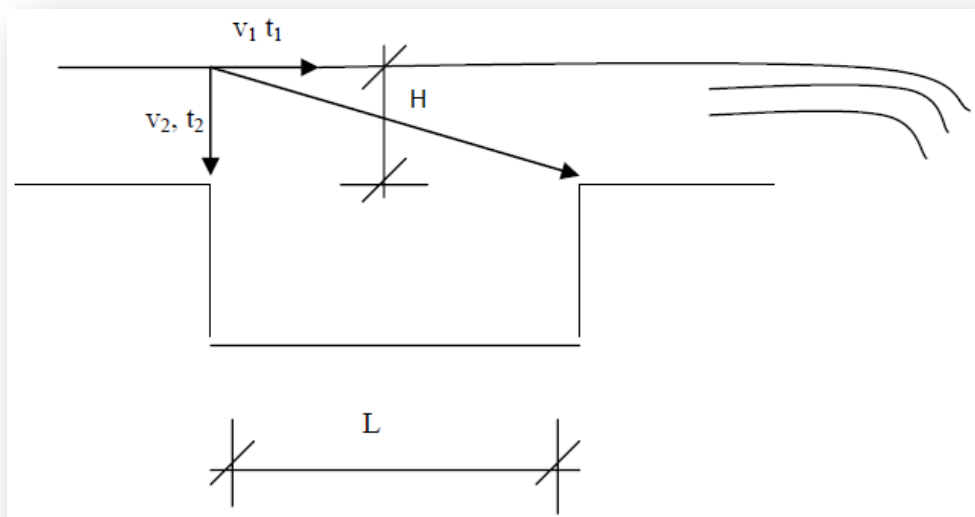
$$b = \frac{Q_{\text{máx}}}{h_{\text{máx}} \cdot V}$$

$Q_{\text{máx}}$ é a vazão máxima e V é a velocidade que se pretende adotar nos canais.

- Verificação da Velocidade (V)

Q (m ³ s ⁻¹)	h (m)	A = b.h	V = Q/A _u	Verif.
Q _{máx}	h _{máx}			
Q _{med}	h _{med}			
Q _{mín}	h _{mín}			

- O comprimento (L) da caixa de areia é determinado considerando-se a velocidade dosefluentes de 0,30 ms⁻¹ e a velocidade de sedimentação da areia de 2 cms⁻¹. Para que a partícula que passe sobre a caixa na linha de corrente mais alta atinja a câmara de estocagem de areia, é preciso que percorra H na vertical enquanto percorre L na horizontal.



$$V_1 = \frac{L}{t_1} \quad \text{e} \quad V_2 = \frac{L}{t_2}$$

$$t_1 = t \Rightarrow \frac{L}{V_1} = \frac{H}{V_2} \Rightarrow V_1 \cdot H = V_2 \cdot L$$

Para $V_1 = 0,3 \text{ m s}^{-1}$ e $V_2 = 0,02 \text{ m s}^{-1} \rightarrow L = 15 \cdot H$

Costuma-se introduzir um coeficiente de segurança de 1,5 devido ao efeito de turbulência e considerar-se $L = 22,5 \cdot H$ ou $L = 25 \cdot H$. A NB – 570 recomenda que a taxa de escoamento superficial com base na vazão máxima resulte na faixa de $(700 \text{ a } 1300) \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

- Verifica-se a taxa de escoamento superficial (I), que deverá situar-se entre $600 \text{ e } 1200 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

$$I = \frac{Q_{\text{méd}} (\text{m}^3 \text{d}^{-1})}{A (\text{m}^2)}$$

Exemplo de dimensionamento de uma caixa de areia:

Dimensionar um desareanador de câmaras duplas para uma ETE, conhecendo as seguintes vazões:

$$Q_{\text{máx}} = 29,5 \text{ L s}^{-1}$$

$$Q_{\text{méd}} = 18,4 \text{ L s}^{-1}$$

$$Q_{\text{mín}} = 11,4 \text{ L s}^{-1}$$

Será utilizado para medição de vazão e controle de velocidade na caixa de areia, um medidor tipo Parshall. O medidor de garganta $W = 3''$ (7,6 cm) poderá ser utilizado.

Solução:

- Altura da lâmina líquida (H), conforme tabela, $n = 1,547$ e $K = 0,176$

$$H_{\text{máx}} = \left(\frac{\quad}{\quad} \right)^{\frac{1}{1,547}} = \quad \text{m}$$

$$H_{\text{méd}} = \left(\frac{\quad}{\quad} \right)^{\frac{1}{1,547}} = \quad \text{m}$$

$$H_{\text{mín}} = \left(\frac{\quad}{\quad} \right)^{\frac{1}{1,547}} = \quad \text{m}$$

- Rebaixo (Z)

$$Z = \frac{\quad - \quad}{\quad - \quad} = \quad \text{m}$$

- Altura máxima da lâmina de água na caixa ($h_{\text{máx}}$)

$$h_{\text{máx}} = H_{\text{máx}} - Z = \quad - \quad = \quad \text{m}$$

$$h_{\text{méd}} = H_{\text{méd}} - Z = \quad - \quad = \quad \text{m}$$

$$h_{\text{mín}} = H_{\text{mín}} - Z = \quad - \quad = \quad \text{m}$$

- Largura (b)

$$b = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{h_{m\acute{a}x} \cdot V}$$

A velocidade a ser mantida nos canais será de 0,30 m s⁻¹.

$$b = \frac{\text{-----}}{\text{-----}} = \text{-----} \text{ m}$$

- Verificao da velocidade (V)

Q (m ³ s ⁻¹)	h (m)	A = b.h	V = Q/A _u	Verif.

As velocidades deverão situar-se em torno de 0,30 m s⁻¹, com uma variao de ± 20%, ou seja, entre 0,24 e 0,36 m s⁻¹.

- Comprimento (L)

$$L = 22,5 \cdot h_{m\acute{a}x} = 22,5 \times \text{-----} \text{ m}$$

$$L = \text{-----} \text{ m}$$

- Verificao da taxa de escoamento superficial (I), que deverá se situar entre 600 e 1200 m³ m⁻² d⁻¹.

$$I = \frac{Q_{m\acute{e}d}(m^3 d^{-1})}{A (m^2)}$$

$$I = \frac{Q_{m\acute{e}d}(m^3 h^{-1}) \times 24h}{L (m) \times b (m)}$$

$$I = \frac{\text{-----} (m^3 h^{-1}) \times 24h}{\text{-----} (m) \times \text{-----} (m)} = \text{-----} m^3 m^{-2} d^{-1}$$

Caso a taxa de escoamento superficial fique fora do intervalo permissível, recomenda-se variar o valor da velocidade.

3.5 Equalizao

Tem a finalidade de regular a vazão que deve ser constante nas unidades subseqüentes. Para dimensionar o tanque  necessário fazer levantamento rigoroso das vazões instantâneas durante certo período, conhecendo as vazões máxima, média e mínima dos efluentes da industria.

 praticamente impossível operar a estao sem ter a vazão regularizada, pois variaes bruscas impossibilitam o funcionamento de tanques de correo de pH, floculadores e decantadores, provocando tmbm cargas de choque em tanques de aerao e lodos ativados. Além de regular as vazões, o tanque de equalizao tem tmbm a finalidade de homogeneizar o efluente, tornando uniformes: pH, temperatura, turbidez, sólidos, DBO, DQO, cor etc.

A equalização consiste de um tanque provido de aeração e agitação para se evitar odores (aerobiose) e deposição de sólidos. O uso de um tanque de equalização pode melhorar a performance de uma planta já existente e até aumentar a sua capacidade útil. Em plantas novas, o uso da equalização pode reduzir o tamanho e o custo de uma unidade de tratamento. Os sistemas de equalização podem ser localizados à montante: da descarga do despejo no corpo receptor; do sistema de coleta dos esgotos e do tratamento químico ou biológico.

Tanques de equalização com níveis constantes, só poderão se utilizados quando o objetivo é homogeneizar os efluentes, neutralizar águas ácidas e alcalinas, por exemplo.

Tanques com níveis variáveis são utilizados para atender as duas finalidades (regular vazão e homogeneizar). A fim de conseguir isso, deverá ser reservado volume mínimo no tanque, que não deverá ser inferior a 1 m ou cerca de 30% do volume útil do tanque. Tem a finalidade, também, de proteger as bombas, fazendo com que não funcionem a seco. O nível mínimo é controlado por uma bóia conectada a bomba, que desliga quando o nível desejado for atingido (Figura 28).

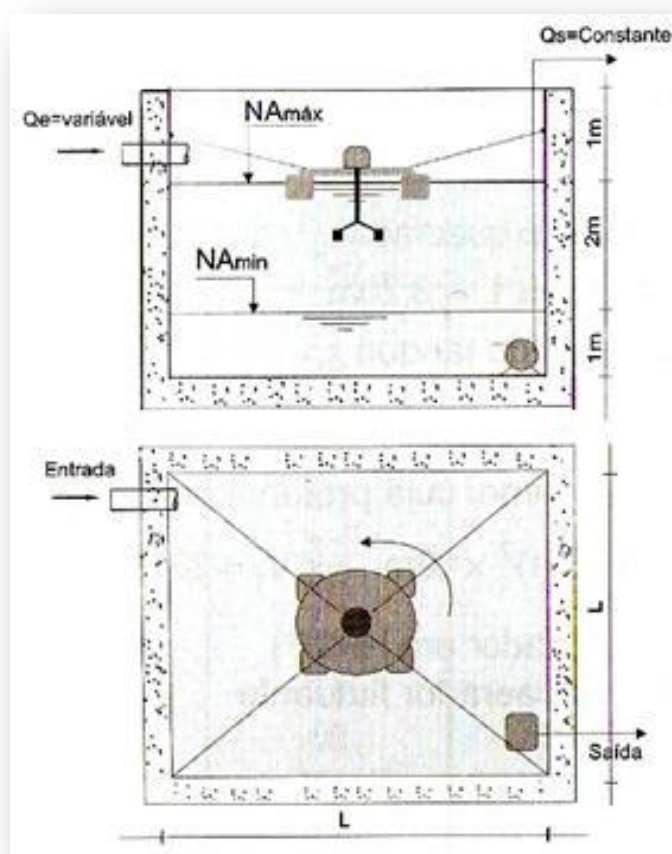


Figura 28 – Tanque de equalização mostrando detalhes do agitador e do nível d'água mínimo.

O formato do tanque deverá ser, obrigatoriamente, de seção quadrada, se a agitação for através de um aerador de superfície e com profundidade útil de 3 a 5 m.

para evitar curto-circuito, a entrada deverá ser por cima e a saída por baixo. As bombas submersíveis e as afogadas são as mais utilizadas. A entrada e a saída deverão ficar em cantos opostos do tanque.

É necessário instalar sistema para mistura através de aerador de superfície, agitador mecânico, etc. Instalação obrigatoriamente flutuante, devido a variação do nível de água no tanque, e deverão girar no sentido contrário ao fluxo de entrada. Para manter sólidos sedimentáveis em suspensão, a densidade de potência instalada deverá ficar entre 5 e 10 W m⁻³, se a agitação for realizada por aerador de superfície.

3.5.1 Dimensionamento de Tanques de Equalização

Para indústrias de grande porte, com atividade contínua, e considerando que os efluentes não necessitam de grande tempo de detenção para homogeneização, recomenda-se o dimensionamento do tanque através do método gráfico que consiste no seguinte:

- No eixo das abscissas, marca-se o tempo em horas de 0 a 23
- No eixo das ordenadas, os volumes acumulados
- Traça-se a curva sobre os pontos
- Traça-se a linha de vazão média
- Traçam-se paralelas acima e abaixo da linha de vazão média, tangenciando os pontos mais distantes da curva sobre os pontos
- Traça-se uma reta vertical, cuja distancia entre os dois pontos definidos nas paralelas é o volume de equalização

Em pequenas indústrias, é comum dimensionar o tanque de equalização para 24 horas de detenção, porém, o recomendável é estimar o tempo razoável em que se tenha completa homogeneização dos parâmetros (pH, temperatura, DBO, sólidos totais, etc.) e em função das variações de vazão.

Para indústrias com atividades descontínuas, em que o tratamento físico-químico por coagulação-floculação precede sistema secundário biológico, cujo funcionamento é de 24 horas, o dimensionamento deverá ser feito pelo método de conservação das massas. Sua fórmula é apresentada a seguir:

$$V_t = V_{eq} + V_{min}$$

$$V_{eq} = (Q_e - Q_s).t$$

V_t é o volume total do tanque

V_{eq} é o volume de equalização

V_{min} é o volume mínimo

Q_e é a vazão de entrada

Q_s é a vazão de saída

t é o numero de horas de funcionamento da indústria por dia

Exemplo de dimensionamento de um equalizador:

Dimensionar um tanque de equalização para uma indústria têxtil de pequeno porte, com atividade descontínua, cujo período de funcionamento é de 16 horas por dia, a vazão média é de $25 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e o tratamento físico-químico precede sistema de lodos ativados, cujo funcionamento é de 24 horas por dia.

Solução:

- Volume de equalização (V_{eq})

$$V_{eq} = (Q_e - Q_s) \cdot t$$

$$Q_s = \frac{\text{_____ } m^3 h^{-1} \times \text{_____ } h}{\text{_____ } h} = \text{_____ } m^3 h^{-1}$$

$$V_{eq} = (\text{_____ } m^3 h^{-1} - \text{_____ } m^3 h^{-1}) \times \text{_____ } h = \text{_____ } m^3$$

- Verificação do tempo de detenção (t)

$$t = \frac{V_{eq}}{Q}$$

$$t = \frac{\text{_____ } m^3}{\text{_____ } m^3 h^{-1}} = \text{_____ } h$$

- Dimensões do tanque

$$V_{eq} = L^2 \cdot H$$

L é a largura da seção quadrada e H é a profundidade adotada em 2,0 m

$$\text{_____ } m^3 = L^2 \cdot 2 \text{ m}$$

$$L = \text{_____ } m$$

- Volume total (V_t) do tanque

$$V_t = V_{eq} + V_{min}$$

V_{min} é o volume mínimo, cuja profundidade é adotada em 1,0 m

$$V_t = \text{_____ } m^3 + (\text{_____ } m)^2 \times 1,0 \text{ m} = \text{_____ } m^3$$

- Potencia do agitador em HP (P)

$$P = \frac{D_p \cdot V_t}{745}$$

D_p é a densidade de potência adotada de 10 W m^{-3}

$$P = \frac{\text{_____ } W \text{ m}^{-3} \cdot \text{_____ } m^3}{745} = \text{_____ } HP$$

Exemplo de Dimensionamento 2:

Dimensionar um tanque de equalização para indústria têxtil, com atividade contínua, considerando que não se necessita de grande tempo de detenção para

homogeneização, e calcular a potência do agitador, utilizando os dados da tabela em que se obteve o maior volume de equalização entre 3 observações.

Hora	pH	Temperatura (°C)	Q (m³ h⁻¹)	Vol. Acumulado (m³)
0:00	12,0	45	31,0	0,0
1:00	12,0	56	34,0	34,0
2:00	10,0	36	36,0	70,0
3:00	9,0	47	30,0	100,0
4:00	9,0	46	32,0	132,0
5:00	8,0	31	35,0	167,0
6:00	5,0	35	52,0	219,0
7:00	5,0	35	59,0	278,0
8:00	5,0	31	67,0	345,0
9:00	9,0	40	78,0	423,0
10:00	5,0	34	90,0	513,0
11:00	11,0	41	98,0	611,0
12:00	11,0	44	92,0	703,0
13:00	14,0	34	97,0	800,0
14:00	10,0	52	92,0	892,0
15:00	10,0	45	89,0	981,0
16:00	7,0	31	85,0	1066,0
17:00	5,0	29	87,0	1153,0
18:00	5,0	27	60,0	1213,0
19:00	12,0	37	52,0	1265,0
20:00	9,0	44	40,0	1305,0
21:00	9,0	44	32,0	1337,0
22:00	6,0	28	30,0	1367,0
23:00	5,0	28	25,0	1392,0

Amostra Composta: pH = 11

Nota: O pH da amostra composta comprova o valor obtido na prática para indústria têxtil. É erro grosseiro, retirar-se a média aritmética dos valores de pH das amostras simples, e adotar este valor como pH da água residuária equalizada.

$$Vazão\ média\ (Q_{méd}) = \frac{Vol.\ Acumulado}{24\ h}$$

$$Vazão\ média\ (Q_{méd}) = \frac{\underline{\hspace{1cm}} m^3}{\underline{\hspace{1cm}} h} = \underline{\hspace{1cm}} m^3 h^{-1}$$

Constrói-se o gráfico:

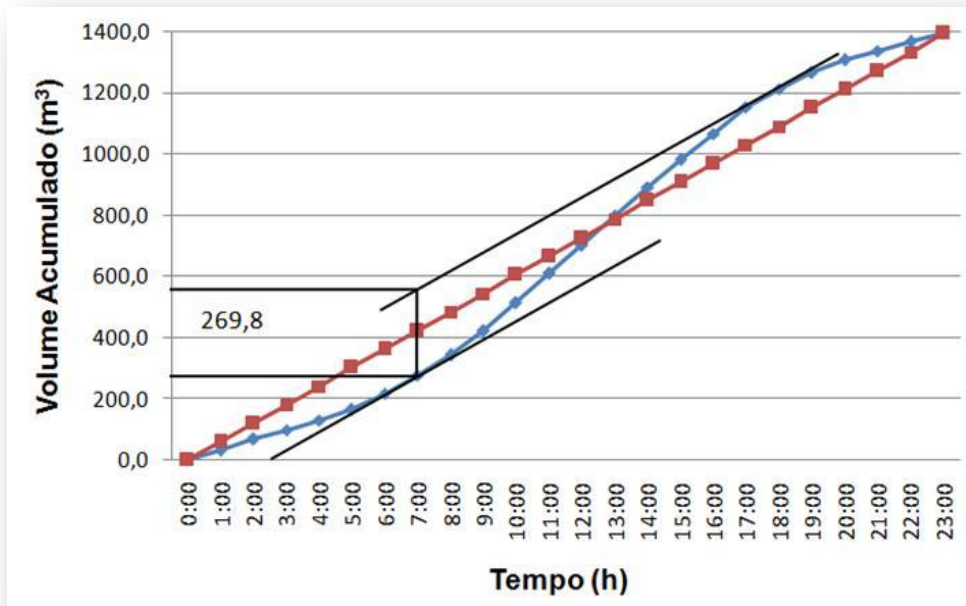


Figura 29 – Diagrama de volume acumulado ao longo do tempo.

Solução:

- Volume de equalização (V_{eq})

O volume do tanque de equalização foi encontrado com a montagem do gráfico, encontrando-se o volume de equalização de $269,8 \text{ m}^3$. Considerando uma margem de segurança de 25%: $V_{eq} = 269,8 \cdot (1,25) = 337,25$ ou 337 m^3 . Na prática, o volume do tanque de equalização será maior que o valor teórico calculado em função da aeração e mistura contínuas não permitirem a completa retirada do volume, deve-se acomodar correntes de reciclo e prever-se mudanças imprevistas no fluxo diário.

- Dimensões do tanque

$$V_{eq} = L^2 \cdot H$$

L é a largura da seção quadrada e H é a profundidade adotada em 2,0 m

$$\text{____} \text{ m}^3 = L^2 \cdot 2 \text{ m}$$

$$L = \text{____} \text{ m}$$

- Volume total (V_t) do tanque

$$V_t = V_{eq} + V_{min}$$

V_{min} é o volume mínimo, cuja profundidade é adotada em 1,0 m

$$V_t = \text{____} \text{ m}^3 + (\text{____} \text{ m})^2 \times 1,0 \text{ m} = \text{____} \text{ m}^3$$

- Verificação do tempo de detenção (t)

$$t = \frac{V_{eq}}{Q}$$

$$t = \frac{\text{_____ } m^3}{\text{_____ } m^3 h^{-1}} = \text{_____ } h$$

- Potencia do agitador em HP (P)

$$P = \frac{D_p \cdot V_t}{745}$$

D_p é a densidade de potência adotada de 10 W m^{-3}

$$P = \frac{\text{_____ } W \text{ m}^{-3} \cdot \text{_____ } m^3}{745} = \text{_____ } HP$$

Deve-se deixar uma folga para compensar o rendimento mecânico.

3.6 Neutralização

A neutralização é uma etapa necessária para o ajuste de pH para o tratamento secundário ($\text{pH} \approx 7,0$) ou para o descarte ($\text{pH} = 5 - 9$). Na verdade, não se trata de um processo de tratamento, e sim de uma técnica que pode ser utilizada para melhorar a eficiência dos tratamentos primário, secundário e terciário.

A necessidade de correção do pH do efluente decorre do fato de a coagulação exigir valor ótimo, quando ocorre a formação dos flocos. No caso de efluentes alcalinos, é necessário pesquisar o valor do pH ótimo de coagulação e corrigi-lo, usando um produto acidificante, como o ácido sulfúrico e o gás carbônico. Se for usado somente o coagulante na água residuária com alta alcalinidade, serão utilizadas grandes quantidades deste produto, exigindo assim valor muito além do que o necessário.

A correção com ácidos é feita em tanques especiais de forma prismática, seção horizontal quadrada e com tempo de detenção de 10 a 15 minutos. A energia aplicada à água (gradiente de velocidade) deverá situar-se igual ou acima de 600 s^{-1} . Para evitar curto-circuito, a entrada deverá ser por cima e a saída por baixo ou vice-versa. Para evitar vórtices, pode-se instalar cortinas nos quatro lados do tanque.

Por outro lado, se o efluente for ácido, a correção poderá ser feita com alcalinizantes: soda cáustica, carbonato de sódio, amoníaco ou a cal que é o produto mais utilizado. No caso da cal, o gradiente de velocidade no tanque deverá situar-se em torno de 300 s^{-1} e o tempo de detenção de 30 a 40 minutos.

A correção de pH no tanque de equalização, embora não recomendada, é muito utilizada pelos projetistas em pequenas e médias estações, com o objetivo de reduzir custos de instalação e operação.

A neutralização de efluentes pode ser conseguida também pela reunião de despejos ácidos e alcalinos gerados na própria indústria (é o caso dos efluentes de galvanoplastia, em que se reúnem os despejos alcalinos do tanque de oxidação de

cianetos e os ácidos do tanque de redução do cromo) ou de outra indústria situada na mesma região.

O pH ótimo de floculação depende muito do coagulante utilizado. Se for usado sulfato de alumínio, o valor ótimo deve estar situado entre 5 e 8; se cloreto férrico, entre 5 e 11. Portanto, para efluentes industriais, o cloreto férrico é o coagulante mais adequado devido, a sua larga faixa de pH.

A correção de pH deverá ser feita em tanques especiais e não em tanque de equalização ou de mistura rápida. É mais prático e econômico uniformizar primeiramente no tanque de equalização e corrigi-lo posteriormente no tanque de correção de pH, para atender a faixa ideal de coagulação.

A potência útil, em HP, dos agitadores mecânicos é calculada pela seguinte fórmula:

$$P = \frac{\mu V G^2}{76}$$

μ é a viscosidade absoluta do líquido em kgf s m^{-2} , numa dada temperatura

V é o volume do tanque em m^3

G é o gradiente de velocidade em s^{-1}

Na prática, a potência instalada deverá ser acrescida de 50%, como também deverá prever uma folga, fazendo com que o motor trabalhe com 80% da potência nominal.

Exemplo de Dimensionamento:

Dimensionar um tanque de correção de pH para uma ETE, cuja vazão regularizada das águas residuárias é de $50 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, temperatura de 20°C devendo ser utilizado ácido sulfúrico e agitação mecanizada.

Solução:

- Volume do tanque (V)

$$V = Q (\text{m}^3 \text{ h}^{-1}) \cdot t (\text{h})$$

t é o tempo de detenção adotado em 15 minutos

$$V = \underline{\hspace{2cm}} (\text{m}^3 \text{ h}^{-1}) \cdot \underline{\hspace{2cm}} (\text{h})$$

$$V = \underline{\hspace{2cm}} \text{m}^3$$

- Dimensões do tanque

Largura (L)

$$V = L^2 \cdot H$$

H é a altura útil do tanque e deverá ter dimensão igual a $1,2 L$

$$V = L^2 \cdot 1,2L$$

$$V = 1,2L^3$$

$$\underline{\hspace{2cm}} \text{m}^3 = 1,2 L^3$$

$$L = \underline{\hspace{2cm}} \text{m}$$

$$H = 1,2 \times \underline{\hspace{2cm}}$$

$$H = \underline{\hspace{2cm}} m$$

As dimensões do tanque serão $\underline{\hspace{2cm}}$ m x $\underline{\hspace{2cm}}$ m x $\underline{\hspace{2cm}}$ m.

- Potência do agitador em HP (P)

$$P = \frac{\mu V G^2}{76}$$

μ é a viscosidade absoluta do líquido a 20°C igual a $1,029 \times 10^{-4} \text{ kgf s m}^{-2}$

G é o gradiente de velocidade em 600 s^{-1}

$$P = \frac{1,029 \times 10^{-4} \times \underline{\hspace{2cm}} \times \underline{\hspace{2cm}}^2}{76}$$

$$P = \underline{\hspace{2cm}} \text{ HP}$$

Com o acréscimo de 50% e a folga recomendada, fazendo com que o motor trabalhe com 80% da potência nominal, a potência instalada será:

$$P = \frac{1,5 \times \underline{\hspace{2cm}}}{0,80}$$

$$P = \underline{\hspace{2cm}} \text{ HP}$$

Utiliza-se o agitador com potência imediatamente.

4 Processos unitários de tratamento primário de água e efluentes

O tratamento primário é empregado para a remoção de sólidos suspensos e material flutuante e também para o condicionamento do efluente para o tratamento secundário ou para descarga. Pode remover de 40 a 70% dos sólidos em suspensão e cerca de 35% da DBO₅. As seguintes técnicas são empregadas nesta fase de tratamento:

- coagulação
- floculação
- sedimentação ou decantação
- flotação
- filtração

4.1 Coagulação

Tem por finalidade transformar as impurezas finais que se encontram em suspensão, em estado coloidal, e algumas que se encontram dissolvidas, em partículas que possam ser removidas pela decantação e filtração. Para isto adiciona-se à água bruta uma substância química especial, denominada coagulante. A mistura do coagulante e o efluente provoca a hidrólise, polimerização e a reação com a alcalinidade, formando hidróxidos denominados gel, produzindo na solução íons positivos. Esses íons desestabilizarão as cargas negativas dos colóides e sólidos em suspensão, reduzindo o potencial zeta a ponto próximo de zero, denominado ponto isoelétrico, permitindo a aglomeração das partículas e, conseqüentemente, a formação dos flocos.

A aglomeração ocorre quando o potencial zeta de partículas acima de -30 mV se reduz a menos de -10 mV em valores absolutos. Próximo do ponto isoelétrico, as melhores eficiências de remoção ocorrem quando o potencial zeta é positivo para as substâncias húmicas causadoras de cor, e negativo para as inorgânicas causadoras de turbidez.

A reação do coagulante com a alcalinidade ocorre em curtíssimo espaço de tempo, em torno de 1 segundo. A unidade de mistura rápida é destinada a criar condições para que, em poucos segundos, o coagulante seja uniformemente distribuído por toda a massa de água.

4.1.1 Principais Tipos de Unidade Utilizadas como Câmaras de Mistura Rápida

A mistura é feita através de misturadores mecânicos ou hidráulicos que fazem a dispersão do coagulante na massa líquida, e com energia específica suficiente para a

dispersão total, dada pelo gradiente de velocidade. É realizada em tanques específicos de mistura rápida, situados à montante da unidade de floculação (mistura lenta), conforme figura a seguir.

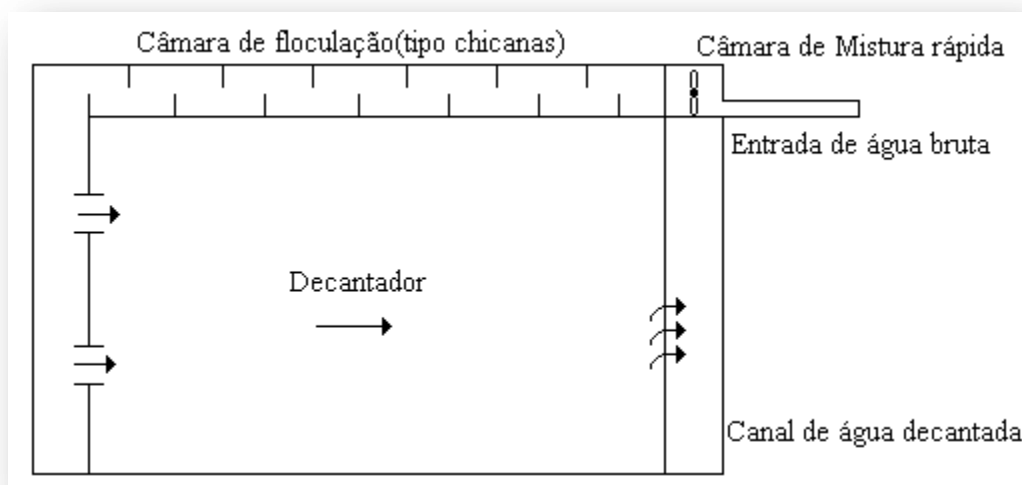


Figura 30 – Planta de unidades de coagulação, floculação, decantação e mistura rápida.

Utilizando misturador mecânico, o tanque deverá ser dimensionado para o tempo de detenção entre 0,5 e 1,5 minutos e o gradiente de velocidade deverá situar-se entre 800 e 1500 s^{-1} . Para evitar curto-circuito, a entrada deverá ser por cima e a saída por baixo ou vice-versa. O formato do tanque deverá ser prismático de seção horizontal quadrada (Figura 31). A potência do agitador é calculada usando a mesma fórmula para correção de pH.

Misturador hidráulico é muito empregado em estações de tratamento de água de abastecimento público, que poderá ser calha Parshall, cujo ressalto fornece energia específica para mistura rápida. As condições de mistura, para se obter o gradiente de velocidade igual ou acima de 1000 s^{-1} , ocorrem quando o funcionamento é com descarga livre, a perda de carga é igual ou maior que 25 cm e a velocidade na garganta encontra-se em torno de $2,0\text{ m s}^{-1}$. Outros dispositivos de mistura podem ser utilizados, como: canal, entrada de bomba, canalização, difusores, etc. A aplicação em canalizações não é recomendada, pode ocorrer, às vezes, refluxos e não há visualização pelo operador, se o coagulante está sendo disperso adequadamente.

A aplicação da solução deverá ser à montante do ponto de maior agitação nos sistemas hidráulicos e, no ponto de maior turbulência da hélice do agitador, nos sistemas mecanizados. As dosagens de coagulante devem ser pesquisadas através de ensaios de floculação, também conhecidos de *Jar-Test*.



Figura 31 – Tanque de mistura rápida mecanizado.

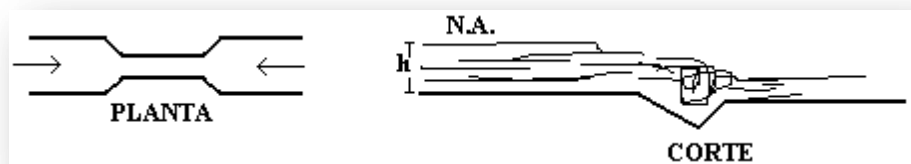


Figura 32 – Misturador hidráulico tipo Calha Parshall.

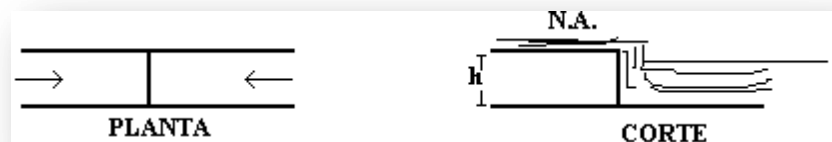


Figura 33 – Misturador hidráulico tipo Vertedouro Retangular.

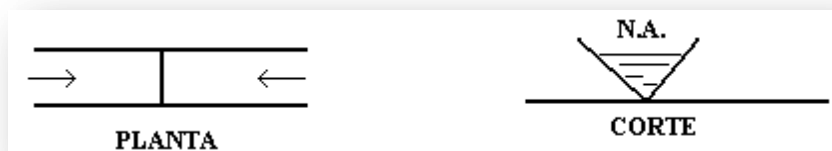


Figura 34 – Misturador hidráulico tipo Vertedouro Triangular.

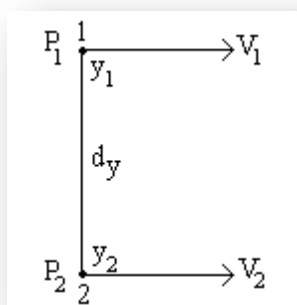
A mistura rápida pode ser utilizada também para elevar o pH com um alcalinizante, objetivando provocar a precipitação química de metais pesados ou de matéria orgânica, como algumas proteínas. Como na precipitação química não há o

processo de coagulação e floculação e sim a conversão através de uma reação química, produzindo um produto insolúvel, não é necessária a instalação de um floculador, ficando o sistema constituído somente de mistura rápida e decantação. No processo de precipitação com cal, há a formação de carbonato de cálcio que atua como coagulante. Se for adicionada pouca quantidade de cal, não haverá boa clarificação, enquanto muita cal dissolve a matéria orgânica em suspensão, obtendo assim um efluente final quase igual ao efluente bruto. As dosagens ótimas deverão ser pesquisadas através de ensaio de *Jar-Test*.

Quando se usa um polieletrólito como coagulante primário, dimensiona-se o tanque de mistura rápida com tempo de detenção igual ou maior a 3 minutos e gradiente de velocidade entre 300 e 700 s⁻¹.

4.1.2 Gradiente de Velocidade

O gradiente de velocidade G é dado pelo quociente entre a diferença de velocidade de duas partículas P_1 e P_2 , pela distância entre si (dy), segundo uma perpendicular à direção do escoamento do líquido, veja figura a seguir:



$$G = \frac{V_1 - V_2}{y_1 - y_2} = \frac{dV}{dy} \quad (\text{Equação 1})$$

O gradiente pode ser expresso em (m s⁻¹)/m ou s⁻¹

A diferença de velocidade de duas partículas na água pode ser causada pela introdução no meio de um dispositivo mecânico. Caso isto ocorra o valor do gradiente é definido pela fórmula:

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu \cdot V}} \quad (\text{Equação 2})$$

onde :

P = Potência introduzida no líquido por unidade de volume;

μ = Viscosidade absoluta do líquido (Kg f s m⁻²).

Entretanto, P pode ser determinado pela fórmula:

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot N \cdot t}{60 \cdot V} \quad (\text{Equação 3})$$

onde :

N = a velocidade do rotor em r.p.m.(medida pelo instrumento tâcometro);

t = torque (medida pôr torcômetro);

V = volume do líquido.

fazendo a substituição na equação 2 de P expresso na equação 3 temos:

$$G = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot N \cdot t}{60 \cdot V \cdot \mu}} \quad (\text{Equação 4})$$

4.1.3 Quantidade de coagulante a ser aplicado no Tratamento

A dosagem ideal do coagulante e dos auxiliares eventuais da coagulação deve ser definida em laboratório, objetivando melhor eficiência e economia.

Para isto faz-se uso do *JAR-TEST* (Teste do Jarro) como mostra a seguir:

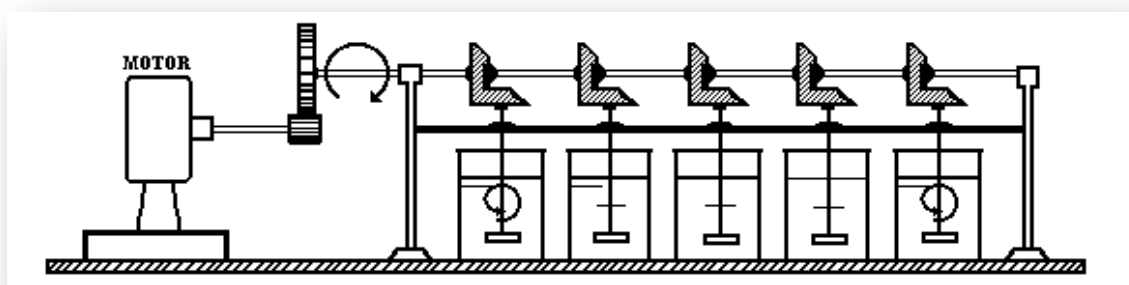


Figura 35 – Esquema de Jar-Test de bancada.

O aparelho em questão dispõe geralmente de 05 ou 06 jarros iguais, construídos em vidro ou acrílico, com capacidade cada de 1 ou 2 litros. Quando se faz o teste, coloca-se em cada um a mesma quantidade de água a ser tratada, submetendo a mesma velocidade de rotação, através de motor elétrico.

No teste, cada copo simula a estação de tratamento, utilizando dosagens diferentes que são aplicadas simultaneamente. Após a conclusão do teste, ou seja coagulação(mistura rápida), floculação e decantação, o jarro que apresentar melhor resultado, a custo de menor quantidade de reagentes, é o que deve ser tomado como parâmetro para projeto e operação mais eficiente da estação.

4.1.4 Tipos de Coagulantes Empregados

Em certos casos há necessidade de se adicionar substâncias à água para que se consiga uma purificação conveniente. Os produtos mais empregados com esta finalidade são :

- Sais de Alumínio e Ferro: sulfato de alumínio, sulfato ferroso, sulfato clorado, sulfato férrico, etc.

- Álcalis Para Promover e Manter a Alcalinidade: - Cal virgem (CaO);
 - Cal hidratada (Ca(OH)₂);
 - Barrilha (Na₂CO₃), etc.

Para um produto ser empregado como coagulante é necessário que reaja com álcalis produzindo precipitados floculentos. O motivo do largo emprego de sulfato de alumínio, prende-se ao fato de ter custo baixo e ser produzido em várias regiões do Brasil e também ser fácil de transportar e de manejar.

Abaixo apresentamos uma Tabela que mostra diversos coagulantes e as faixas de pH em que geralmente se obtém as condições ótimas de tratamento.

C O A G U L A N T E S	F A I X A D E p H
Sulfato de alumínio	5,0 a 8,0
Sulfato Ferroso	8,5 a 11,0
Sulfato Férrico	5,0 a 11,0
Cloreto Férrico	5,0 a 11,0
Sulfato Ferroso Clorado	ACIMA DE 4,0
Aluminato de Sódio e Sulfato de Alumínio	6,0 a 8,5

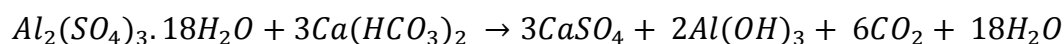
A L C A L I N I Z A N T E S	FÓRMULA QUÍMICA
Cal Virgem	CaO
Cal Hidratada	Ca(OH) ₂
Carbonato de Sódio (Barrilha)	Na ₂ CO ₃

Normalmente são empregados para conferir alcalinidade a água para promover uma boa floculação ou para correção de pH.

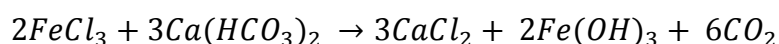
4.1.4.1 Reações

- Formação do gel hidróxido (insolúvel)

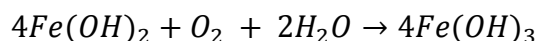
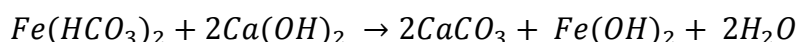
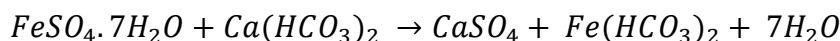
- Sulfato de alumínio com a alcalinidade natural de bicarbonato de cálcio:



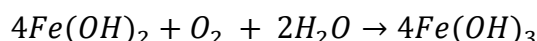
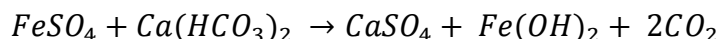
- Cloreto férrico com a alcalinidade natural de bicarbonato de cálcio:



- Sulfato ferroso com a alcalinidade natural de bicarbonato de cálcio, cal e oxigênio dissolvido (aeração):

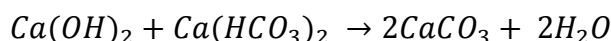


- Sulfato ferroso com a alcalinidade natural de bicarbonato de cálcio e oxigênio dissolvido (aeração):

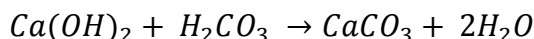


- Formação do carbonato de cálcio (insolúvel)

- Cal e a alcalinidade natural de bicarbonato de cálcio:



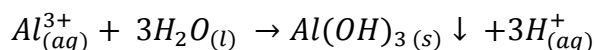
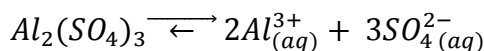
- Cal e ácido carbônico:



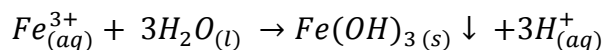
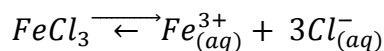
OBS: O carbonato de cálcio atua como se fosse coagulante.

- Formação de produtos de hidrólise

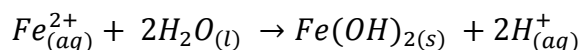
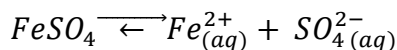
- Hidrolisação do sulfato de alumínio, formando o hidróxido de alumínio:



- Hidrolisação do cloreto férrico, formando o hidróxido férrico:



- Hidrolisação do sulfato ferroso, formando o hidróxido ferroso:



A formação de H^+ no meio, diminui o pH.

4.1.5 Preparação da Solução de Coagulantes e Alcalinizantes

A preparação da solução do coagulante na tina faz-se da seguinte maneira: dissolve-se a quantidade que for recomendada do coagulante, sob constante agitação, e determina-se a sua concentração.

Exemplo : suponhamos que :

$$V = 5\text{m}^3 \text{ (volume da tina)}$$

100 Kg = coagulante dissolvido (sulfato de alumínio) para expressar a concentração em g m^{-3}

$$c = \frac{\text{coagulante(g)}}{\text{volumedatina(m}^3\text{)}} = \frac{100.000\text{g}}{5\text{m}^3} = 20.000\text{g / m}^3 = \frac{20\text{g}}{\text{L}}$$

Se determinarmos, mediante ensaio de coagulação, a quantidade de coagulante necessário para uma boa floculação na água a ser tratada, devemos calcular a vazão da solução de coagulante preparada na tina para adicionarmos a água.

Admitamos que no ensaio de coagulação a dosagem ótima foi de 30 mg L^{-1} e a vazão da água bruta é de $60 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

CÁLCULO DA VAZÃO DA SOLUÇÃO DESULFATO A SER APLICADA

DADOS:

$$C = \frac{20.000\text{g}}{\text{m}^3} = \frac{20\text{g}}{\text{L}} - \text{concentração de sulfato na tina}$$

$$d = \frac{30\text{mg}}{\text{m}^3} = \frac{30\text{g}}{\text{m}^3} - \text{dosagem ótima encontrada}$$

$$Q = \frac{60\text{m}^3}{\text{h}} - \text{vazão da água a ser tratada}$$

q =? - Vazão da solução do coagulante a ser adicionada na água

$$q = \frac{d \times Q}{C} = \frac{\frac{30\text{g}}{\text{m}^3} \times \frac{60\text{m}^3}{\text{h}}}{\frac{20\text{g}}{\text{L}}} \therefore q = \frac{90\text{L}}{\text{h}}$$

OBS : Para determinar a concentração do alcalinizante o processo é análogo.

4.1.6 Efeitos que causam na água

O sulfato de alumínio em virtude de ser um sal derivado de um ácido forte é corrosivo e de caráter ácido. Torna a água mais ácida (baixa o pH) e pôr isso a Tina de preparação da solução deve ser revestida de material resistente a corrosão. A cal como é básica eleva o pH da água tornando-a mais alcalina.

4.1.7 Fatores que influem na Coagulação

- Espécie de coagulante, quantidade de coagulante: a quantidade de coagulante está relacionada com a turbidez e cor a serem removidas e ao teor bacteriológico.
- Teor e tipo de cor e turbidez

- Outras características químicas da água: alcalinidade natural, teor de ferro, matéria orgânica, etc;
- Concentração hidrogeniônica da água (pH): sempre há um pH ótimo de floculação que se determina experimentalmente.
- Tempo de misturas rápida e lenta
- Temperatura: a coagulação é melhor em temperaturas mais elevadas. Em temperaturas mais baixas espera-se maior consumo de coagulante.
- Agitação: se a velocidade de agitação for pequena, a formação de flocos diminui, o que dificulta a decantação.
- Presença de núcleos: os coadjuvantes (aditivos de floculação) são substâncias capazes de promover núcleos mais densos para flocos mais pesados.
- Dosagem ótima de coagulante: é a menor dosagem de coagulante para se obter o melhor resultado, quanto à qualidade da água a ser tratada. A dosagem requerida para o tratamento de uma água é feita experimentalmente em laboratório. Esta experiência será rapidamente concluída se antes tivermos conhecimento da:
 - Temperatura da água a se ensaiar;
 - pH;
 - cor;
 - O₂ consumido.

Existe uma tabela que relaciona a dosagem de sulfato de alumínio com a turbidez da água bruta, dando já uma idéia.

Sabemos que cada 1 mg de sulfato de alumínio requer 0,45 mg de alcalinidade de água. Para sabermos se a água tem alcalinidade suficiente, efetuamos as seguintes determinações: turbidez da água bruta e, mediante a tabela turbidez X dosagem, tomamos o valor máximo da dosagem de sulfato de alumínio correspondente. A dosagem máxima de sulfato multiplicada por 0,45 mg L⁻¹, dá a alcalinidade requerida para a completa reação do coagulante.

4.1.8 Produtos Auxiliares da Coagulação

Em caso de necessidade, além da cal e do carbonato de sódio, pode-se utilizar outros auxiliares dependendo das características da água a tratar e do coagulante utilizado.

Os principais são:

- a) Carvão ativado- Apresentando-se na forma de pó, tem grande poder de adsorção. Em vista disto, é utilizado no tratamento da água para remover gosto e odor produzidos por matéria orgânica;
- b) Betonita- Pode ser aplicada misturada com o sulfato de alumínio para melhorar a coagulação, em águas com teores baixos de cor e turbidez (principalmente). Em razão do seu poder absorvente, tem eficácia na remoção do gosto e odor resultantes de matéria orgânica;

c) Ácido Sulfúrico- O ácido Sulfúrico que tem múltiplas aplicações pode ser empregado como auxiliar da coagulação de águas de cor e pH acentuadamente elevados;

d) Sílica Ativada- Quando adicionada ao sulfato de alumínio ou sulfato ferroso, devido sua elevada carga negativa, promove a formação de flocos maiores, mais densos e resistentes, o que aumenta a eficiência da coagulação, principalmente para a remoção de dureza, desde que utilize o sulfato de alumínio;

e) Polieletrólitos- São polímeros de cadeia molecular grande que uma vez lançados na água, apresentam cargas distribuídas ao longo desta cadeia. Quando as cargas são positivas o polieletrólito é denominado de catiônico, quando negativas aniônico e quando não iônico é neutro. O polieletrólito usado com coagulantes metálicos comuns permite a redução da dosagem desses coagulantes, com o aumento da densidade e do tamanho dos flocos, o que implica em economia.

Exemplo de Dimensionamento de mistura rápida:

Dimensionar um tanque de mistura rápida para o efluente de uma indústria têxtil com vazão uniforme de $50 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, temperatura de 20°C e agitação mecanizada.

Solução:

- Volume do tanque (V)

$$V = Q (\text{m}^3 \text{ h}^{-1}) \cdot t (\text{h})$$

t é o tempo de detenção adotado de 1,0 minuto (0,01667 h)

$$V = \underline{\hspace{2cm}} (\text{m}^3 \text{ h}^{-1}) \cdot \underline{\hspace{2cm}} (\text{h})$$

$$V = \underline{\hspace{2cm}} \text{m}^3$$

- Dimensões

$$V = L^2 \cdot H$$

Fazendo $H = 1,2 \cdot L$

$$V = 1,2 \cdot L^3$$

$$\underline{\hspace{2cm}} \text{m}^3 = 1,2 \cdot L^3$$

$$L = \underline{\hspace{2cm}} \text{m}$$

$$H = 1,2 \cdot \underline{\hspace{2cm}} \text{m}$$

$$H = \underline{\hspace{2cm}} \text{m}$$

As dimensões úteis serão $\underline{\hspace{2cm}} \text{m} \times \underline{\hspace{2cm}} \text{m} \times \underline{\hspace{2cm}} \text{m}$.

- Potência do misturador rápido em HP (P)

$$P = \frac{\mu V G^2}{76}$$

μ é a viscosidade absoluta do líquido a 20°C igual a $1,029 \times 10^{-4} \text{ kgf s m}^{-2}$

V é o volume do tanque em m^3

G é o gradiente de velocidade em 1000 s^{-1}

$$P = \frac{1,029 \times 10^{-4} \times ____ \times ____^2}{76}$$

$$P = ______ \text{HP}$$

Com o acréscimo de 50% e a folga recomendada, fazendo com que o motor trabalhe com 80% da potência nominal, a potência instalada será:

$$P = \frac{1,5 \times ____}{0,80}$$

$$P = ______ \text{HP}$$

Utiliza-se o agitador com potência imediatamente.

4.2 Floculação

Após haver a coagulação no tanque de mistura rápida, o efluente passará para a unidade subsequente de mistura lenta, cujo gradiente de velocidade deverá situar-se entre 20 e 80 s⁻¹, objetivando fazer com que os coágulos, que são partículas desestabilizadas, tendam a formar agora partículas maiores denominadas flocos. Os flocos assim formados poderão ser separados da água por decantação, flotação ou filtração. A formação dos flocos se dá à medida que há colisões entre as partículas. Além disso, é importante salientar que, para haver formação dos flocos perfeitamente grandes e com densidade suficiente para boa sedimentação, o tempo de agitação deverá ficar em torno de 30 minutos. A formação de bons flocos ocorre quando se emprega dosagem de coagulante adequada, que sofre influência do pH e outros fatores. Pequenas dosagens não chegam a atingir próximo do ponto isoelétrico, enquanto altas dosagens podem reverter o sinal das cargas, reestabilizando-as, sendo ambas prejudiciais.

Nos efluentes industriais, têm-se verificado que os flocos formados necessitam de maior densidade para poderem sedimentar-se nos decantadores. Recorre-se então, aos auxiliares de floculação, que são os polieletrólitos que aumentam a velocidade de sedimentação dos flocos e a resistência as forças de cisalhamento. O tipo de polieletrólito adequado deverá ser pesquisado em laboratório, através dos ensaios de floculação e pode-se prever redução, no consumo de coagulante primário, de até 20%. No caso de haver pequena turbidez, pode-se recorrer a substância inertes para melhorar a floculação. Podem ser utilizados sílica ativada, argila ou lodofresco como formadores de núcleos de flocos, melhorando sensivelmente a floculação.

A floculação poderá ser mecânica ou hidráulica. Na floculação mecânica, utilizam-se agitadores eletromecânicos. A potência do agitador é calculada usando a mesma fórmula para correção de pH.

Na floculação hidráulica, a energia de agitação é conseguida com o uso de chicanas, em que o líquido efetua movimento e fluxo do tipo pistão, sinuoso horizontal ou vertical. A sua maior vantagem é não utilizar equipamento eletromecânico, não consumindo energia elétrica. No caso de tanque com agitador mecânico, seu formato deverá ser prismático com seção horizontal quadrada. Para evitar curto-circuito, a

entrada deverá ser por cima e a saída deverá ser por baixo ou vice-versa. Para câmaras hidráulicas com chicanas, a seção horizontal deverá ser retangular, a velocidade deverá situar-se entre 0,15 e 0,45 m s⁻¹ para evitar quebra dos flocos, recomendando-se mantê-la em 0,30 m s⁻¹. Os tanques de floculação deverão ser providos de descarga de fundo, desaguando no tanque de equalização.

Os floculadores hidráulicos podem ser de fluxo horizontal e de fluxo vertical. O tempo de detenção é o mesmo de floculadores mecanizados, ou seja, 30 minutos. Para verificar o gradiente de velocidade (G), utiliza-se a seguinte fórmula:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma \cdot h_f}{\mu \cdot t}}$$

γ é o peso específico do líquido (kg m³)

h_f é a perda de carga (m)

μ é a viscosidade absoluta do líquido (kgf s m⁻²)

t é o tempo de detenção (s)

A perda de carga (h_f) é obtida pela seguinte fórmula:

$$h_f = n \cdot k \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

n é o número de mudanças de direção do fluxo líquido, que é igual ao número de chicanas

k é uma constante referente às perdas de carga localizadas e é igual a 2,5 para cada mudança de direção

v é a velocidade de escoamento (m s⁻¹)

g é a aceleração da gravidade (m s⁻²)

Para verificar o Número de Camp (N_C) que indica a oportunidade de choques entre as partículas e que deverá situar-se entre 30.000 e 150.000, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$N_C = G \cdot t$$

t é o tempo de detenção em segundos

G é o gradiente de velocidade (s⁻¹)

As câmaras de floculação são dimensionadas em função do gradiente de velocidade G e do período de detenção T , isto através de ensaios de floculação (*Jar-Test*), efetuados em laboratório.

4.2.1 Tipos de Floculadores

a) Hidráulico em câmaras com chicanas de fluxo vertical e horizontal, conforme ilustram as figuras a seguir:

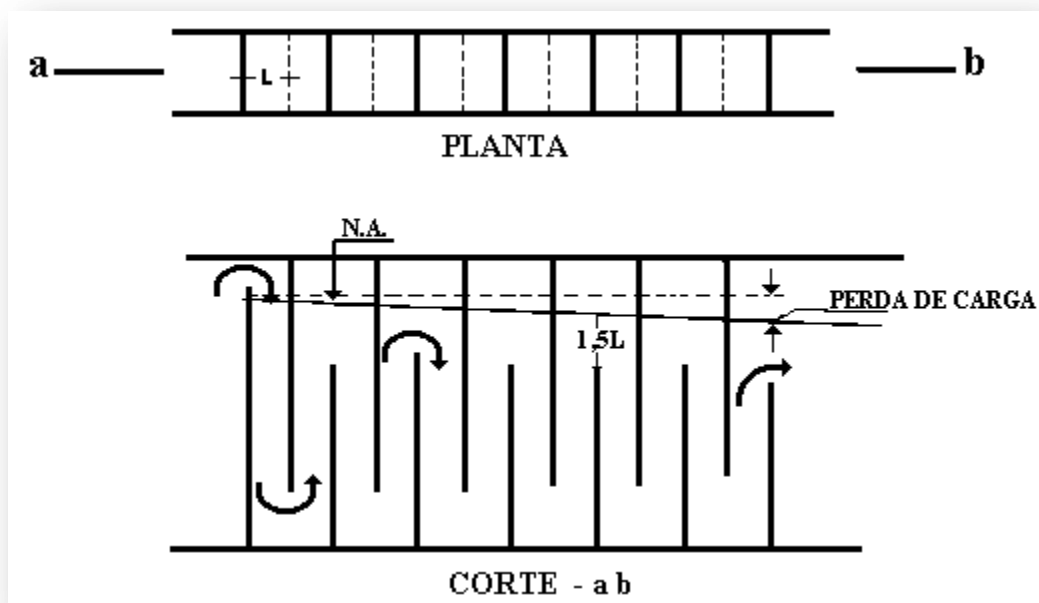


Figura 36 – Chicanas de fluxo vertical

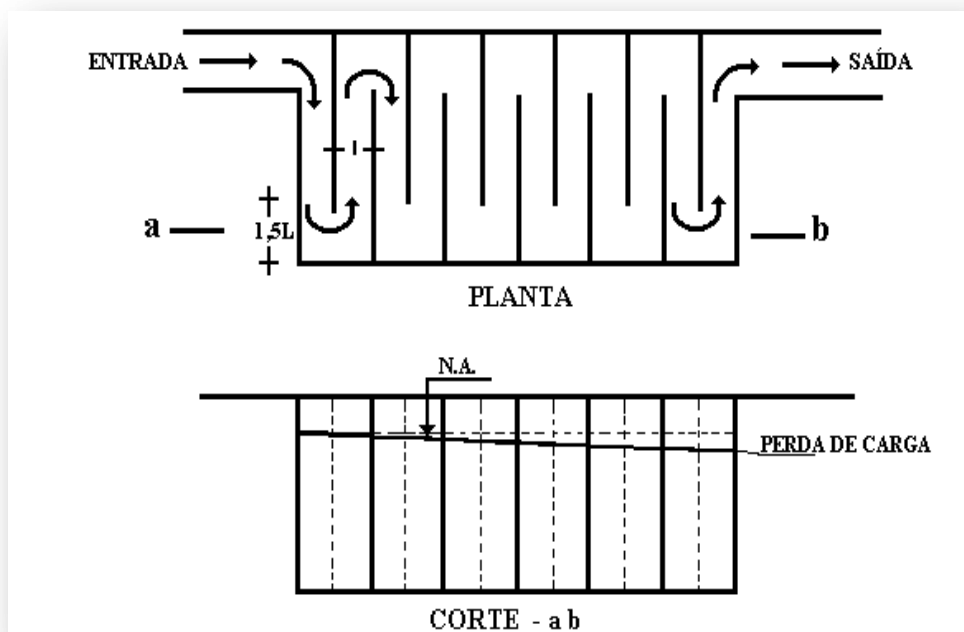


Figura 37 – Chicanas de fluxo horizontal

b) Mecânico - são construídos em câmaras nos tipo com eixos vertical e horizontal, com paletas, e do tipo turbina com fluxo axial.

Veja ilustração das figuras a seguir:

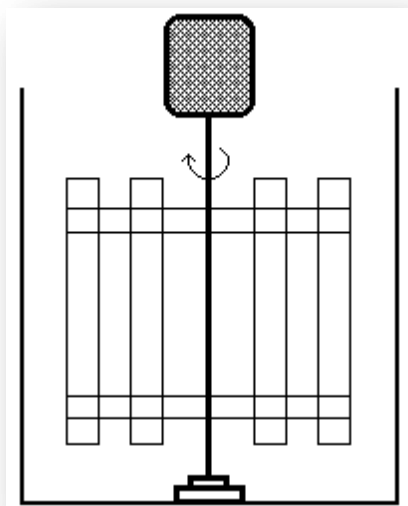


Figura 38 – Eixo vertical

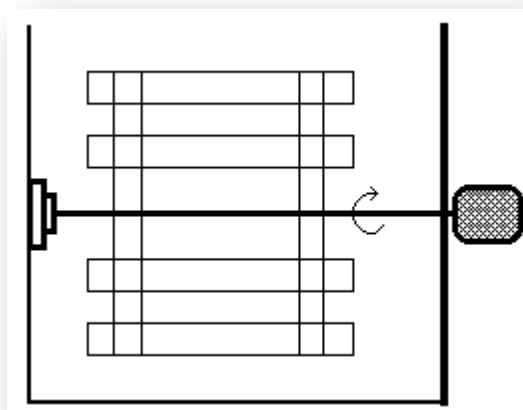


Figura 39 – Eixo horizontal

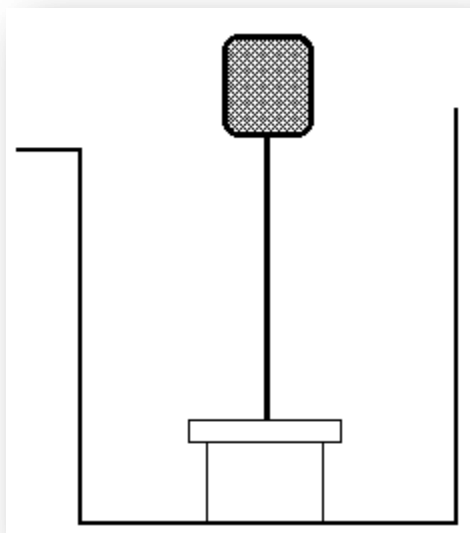


Figura 40 – Turbina de fluxo axial

As câmaras mecanizadas dispõem de dispositivos que permitem ajustar a velocidade de acordo com o gradiente desejado. A velocidade das pás ou palhetas gira em torno de 1 a 8 rotações por minuto.

Exemplo de Dimensionamento de um floculador1:

Dimensionar um tanque de floculação de uma ETE, cuja vazão uniforme de águas residuárias é de $70 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, temperatura de 20°C , dotado de agitador mecânico.

Solução:

- Volume do tanque (V)

$$V = Q (\text{m}^3 \text{ h}^{-1}) \cdot t (\text{h})$$

t é o tempo de detenção adotado de 30 minutos

$$V = \text{_____} (m^3 h^{-1}) \cdot \text{_____} (h)$$

$$V = \text{_____} m^3$$

- Dimensões

$$V = L^2 \cdot H$$

Fazendo $H = 1,2 \cdot L$

$$V = 1,2 \cdot L^3$$

$$\text{_____} m^3 = 1,2 \cdot L^3$$

$$L = \text{_____} m$$

$$H = 1,2 \cdot \text{_____} m$$

$$H = \text{_____} m$$

As dimensões úteis serão _____ m x _____ m x _____ m.

Potência do misturador rápido em HP (P)

$$P = \frac{\mu V G^2}{76}$$

μ é a viscosidade absoluta do líquido a 20°C igual a $1,029 \times 10^{-4} \text{ kgf s m}^{-2}$

V é o volume do tanque em m^3

G é o gradiente de velocidade em 50 s^{-1}

$$P = \frac{1,029 \times 10^{-4} \times \text{_____} \times \text{_____}^2}{76}$$

$$P = \text{_____} \text{ HP}$$

Com o acréscimo de 50% e a folga recomendada, fazendo com que o motor trabalhe com 80% da potência nominal, a potência instalada será:

$$P = \frac{1,5 \times \text{_____}}{0,80}$$

$$P = \text{_____} \text{ HP}$$

Utiliza-se o agitador com potência imediatamente.

Exemplo de Dimensionamento de um floculador 2:

Dimensionar um floculador hidráulico de chicanas, com única zona de separação e fluxo horizontal, para uma ETE, cuja vazão uniforme de águas residuárias é de $450 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, temperatura de 20°C.

Solução:

- Seção de escoamento (S)

$$S = \frac{Q (m^3 s^{-1})}{v (m s^{-1})}$$

v é a velocidade de escoamento adotada em $0,30 \text{ m s}^{-1}$.

$$S = \frac{\text{_____} (m^3 s^{-1})}{\text{_____} (m s^{-1})} = \text{_____} m^2$$

- Profundidade do tanque (h)

$$h = \frac{S (m^2)}{e (m)}$$

e é o espaçamento entre chicanas adotado em $0,50 \text{ m}$.

$$h = \frac{\text{_____} (m^2)}{\text{_____} (m)} = \text{_____} m$$

- Volume do tanque (V)

$$V = Q (m^3 h^{-1}) \cdot t (h)$$

t é o tempo de detenção adotado de 30 minutos

$$V = \text{_____} (m^3 h^{-1}) \cdot \text{_____} (h)$$

$$V = \text{_____} m^3$$

- Quantidade de compartimentos (m)

$$m = \frac{V}{e \cdot b \cdot h}$$

b é a largura do tanque adotada em $13,75 \text{ m}$.

$$m = \frac{\text{_____} (m^3)}{\text{_____} (m) \times \text{_____} (m) \times \text{_____} (m)} = \text{_____}$$

- Comprimento do tanque (L)

$$L = m \cdot e$$

$$L = \text{_____} \cdot \text{_____} m$$

$$L = \text{_____} m$$

- Quantidade de chicanas (n)

$$n = \frac{L}{e} - 1 \text{ ou } n = m - 1$$

$$n = \frac{\text{_____}}{\text{_____}} - 1 = \text{_____}$$

- Perda de carga (h_f)

$$h_f = n \cdot k \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$h_f = \text{_____} \cdot \text{_____} \cdot \frac{\text{_____}^2}{2 \cdot \text{_____}} = \text{_____} m$$

- Verificação do Gradiente de Velocidade (G)

$$G = \sqrt{\frac{\gamma \cdot h_f}{\mu \cdot t}}$$

$$G = \sqrt{\frac{1000 \cdot \text{_____}}{1,029 \times 10^{-4} \cdot \text{_____}}} = \text{_____} s^{-1}$$

- Verificação do Número de Camp (N_C)

$$N_C = G(s^{-1}) \cdot t(s)$$

$$N_C = \text{_____} (s^{-1}) \cdot \text{_____} (s)$$

$$N_C = \text{_____}$$

O gradiente de velocidade (G) e o número de Camp(N_C) encontram-se na faixa satisfatória

- Dimensões do floculador hidráulico

O floculador hidráulico com fluxo horizontal terá dimensões de: _____ m x _____ m x _____ m com _____ chicanas (ver Figura 41)

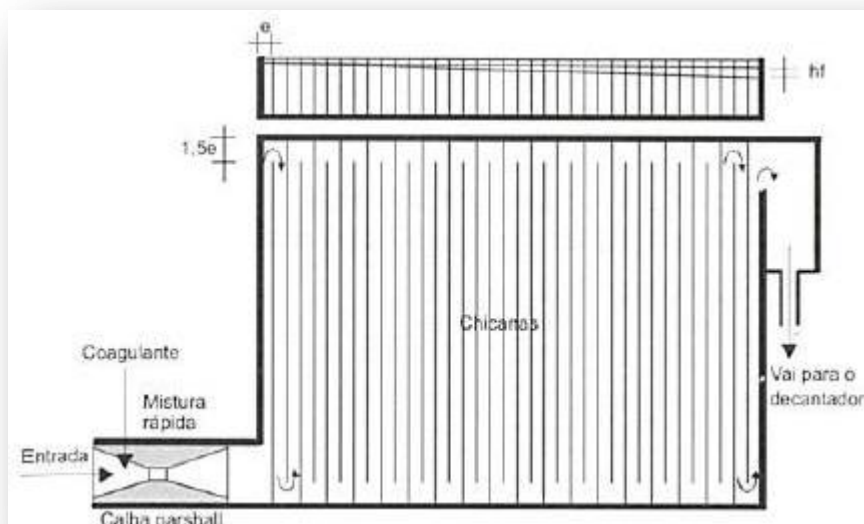


Figura 41 – Floculador hidráulico de fluxo horizontal

4.3 Decantação ou Sedimentação

A decantação é uma operação onde ocorre a deposição de matérias em suspensão pela ação da gravidade. Os sólidos sedimentam no fundo do decantador de onde são removidos como lodo. É uma preparação da água para filtração. Quanto melhor a decantação, melhor será a filtração.

Quando, no efluente, os sólidos sedimentáveis são muito consideráveis, podendo ser recolhidos sem coagulação, a decantação é dita simples ou primária, aliviando as unidades subseqüentes com cargas menores, trazendo economias referentes à utilização de coagulantes.

Tempo de Detenção: o tempo que a água permanece no decantador é denominado tempo de detenção.

$$\text{temos: } T = \frac{C}{Q}$$

Onde: T = tempo de detenção (h)

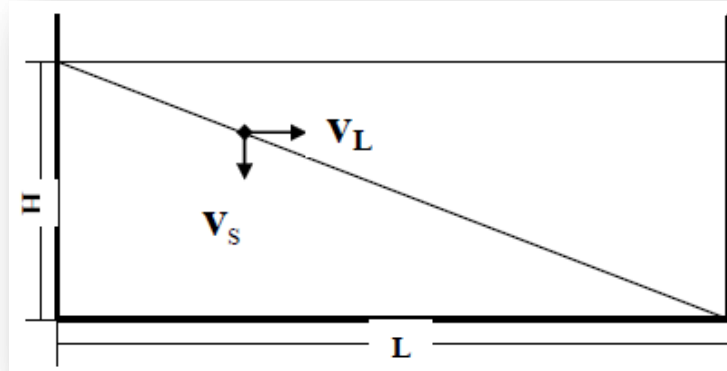
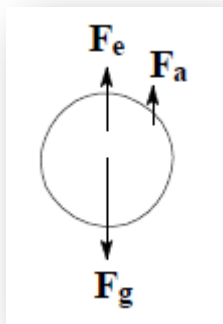
C = capacidade do decantador (m³)

Q = vazão (m³ h⁻¹)

De acordo com a expansão acima, o tempo de detenção corresponde ao necessário para encher o decantador com a vazão Q.

A sedimentação permite remover o material particulado sedimentável que se encontra no efluente (remoções superiores a 70-80%). A remoção dos sólidos suspensos depende da capacidade operacional do decantador e pode variar de 40 a 70%. A remoção de DBO associada ao material particulado, em geral, fica na faixa de 30 a 40%. Valores inferiores a esta faixa indicam má operação. Nos decantadores primários é comum existir dispositivos para remover gordura e espuma que não foram removidos nos tratamentos preliminares.

O processo de sedimentação é governado principalmente pela concentração das partículas em suspensão. Quanto mais concentrado for o meio, maior é a resistência à sedimentação. Em suspensões bastante diluídas prevalece a ***sedimentação do tipo I(individual ou discreta)***. Neste caso as partículas sedimentam individualmente sem ocorrer interrelações, segundo uma velocidade constante ao longo da profundidade do tanque. É o tipo de sedimentação predominante nas caixas de areia. Neste caso, a velocidade de sedimentação pode ser calculada através do equilíbrio de forças atuantes sobre a partícula na direção vertical (força gravitacional, para baixo, e empuxo mais força de atrito, para cima), do qual resulta a lei de Stokes.



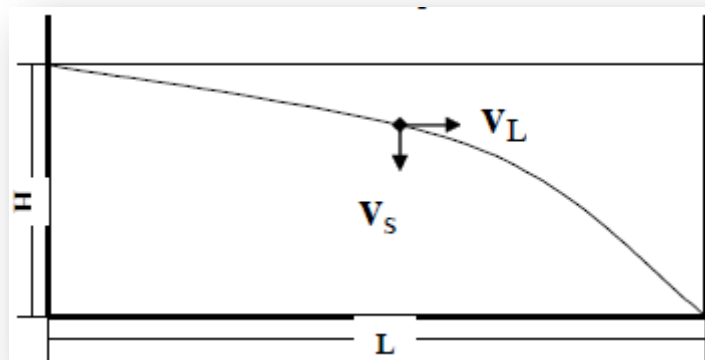
Forças que atuam na partícula para uma velocidade constante:
 $F_e + F_a = F_g$

H = altura da linha d'água
 L = comprimento do tanque
 V_S = velocidade de sedimentação
 V_L = veloc. de escoamento do líquido

Equação de Stokes:

$$V_S = \frac{g(\rho_s - \rho)d_p^2}{18\mu}$$

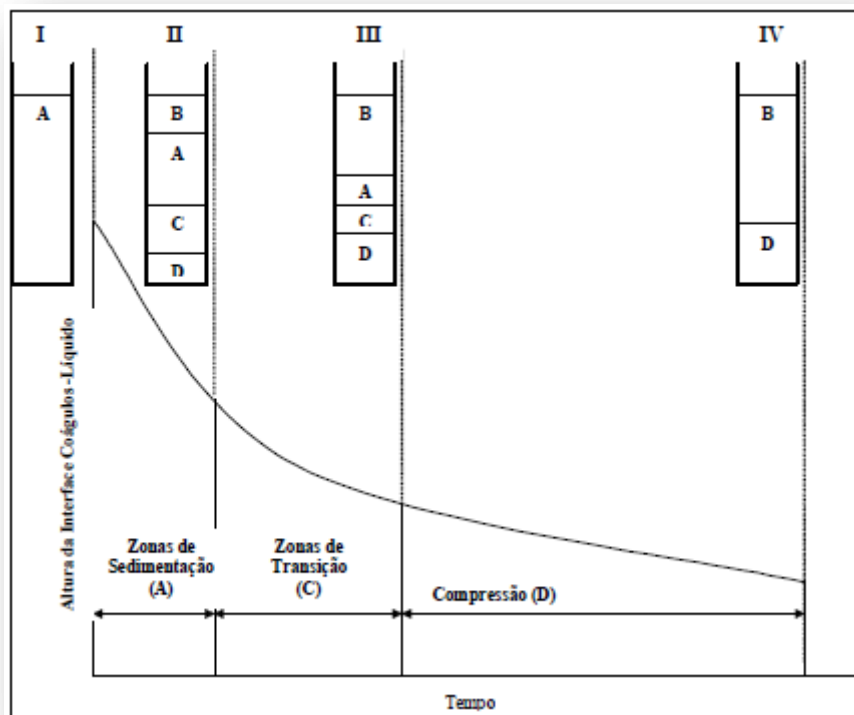
Aumentando-se a concentração de sólidos em suspensão, passa a prevalecer a **sedimentação do tipo II**, também chamada de **sedimentação floculenta**. Neste caso, a maior concentração de partículas permite a formação de emaranhados ou flocos de maior velocidade de sedimentação ao longo de suas trajetórias, fazendo com que a velocidade de sedimentação aumente com a profundidade. É o que tipicamente ocorre nos decantadores primários das estações de tratamento de efluentes, onde a relativa e elevada concentração de sólidos em suspensão permite tais interações. A partir deste caso, não é mais válida a lei de Stokes, devendo-se proceder a ensaios em colunas de sedimentação para a obtenção de parâmetros para o projeto das unidades.



Aumentando-se ainda mais a concentração da suspensão, passa a prevalecer a **sedimentação do tipo III** (também chamada de **sedimentação zonal**). Neste caso, a concentração de sólidos é muito elevada e passa a ocorrer dificuldade de saída de água

em contracorrente para possibilitar a sedimentação dos sólidos. Assim, a velocidade de sedimentação diminui ao longo da profundidade do decantador, sendo bastante baixa no fundo onde a concentração de sólidos é muito elevada. Este tipo de sedimentação predomina em decantadores secundários de processos de lodos ativados, que são alimentados pelo lodo concentrado do tanque de aeração. Neste caso é nítida a ocorrência de interface lodo/líquido sobrenadante. Quando o lodo é colocado em proveta, o deslocamento desta interface pode ser cronometrado ao longo do tempo e através de interpretação gráfica pode-se calcular a velocidade de sedimentação por zona (VSZ) importante para a interpretação da condição operacional de um processo de lodos ativados. O resultado final, após 30 minutos de sedimentação, é utilizado para o cálculo do índice volumétrico de lodo (IVL).

A **sedimentação do tipo IV**, também chamada de **sedimentação por compressão**, ocorre no fundo dos decantadores secundários e nos adensadores de lodo. Neste caso, a suspensão é tão concentrada que a "sedimentação" dá-se pelo peso de uma partícula sobre a outra, provocando a liberação de água intersticial.



4.3.1 Tipos de Decantadores

Existem vários tipos de decantadores: os retangulares (os mais comuns) (Figura 42), circulares, trapezoidais, de placas paralelas; estes dois últimos são mais modernos e de menores dimensões.

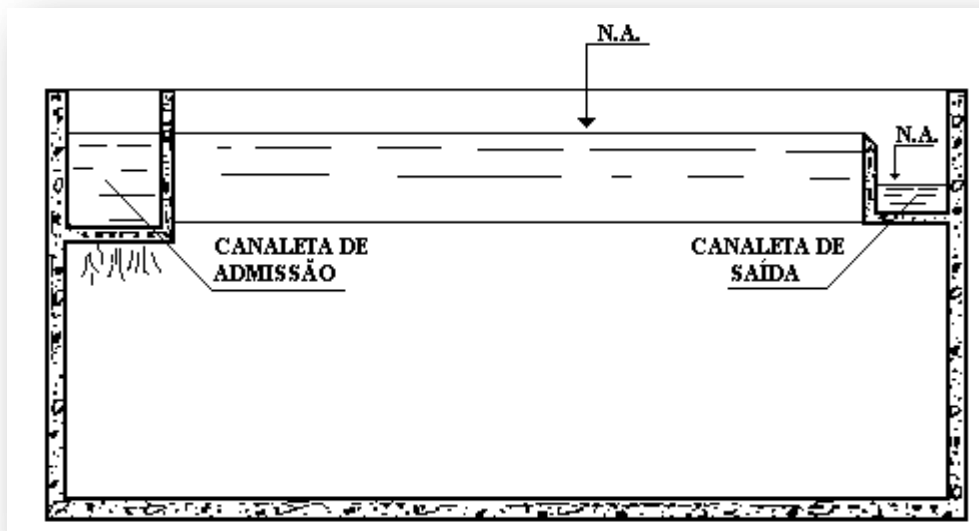


Figura 42 – Corte longitudinal de um decantador convencional

Os decantadores são classificados também em mecanizados e não-mecanizados. Nos mecanizados o lodo é removido mecanicamente com raspadores de fundo comumente usado em médias e grandes estações (Figura 43). Nos não-mecanizados ocorre a remoção hidráulica do lodo, através das cargas hidrostáticas que não deverão ser inferiores a 1,50 m (Figura 44).

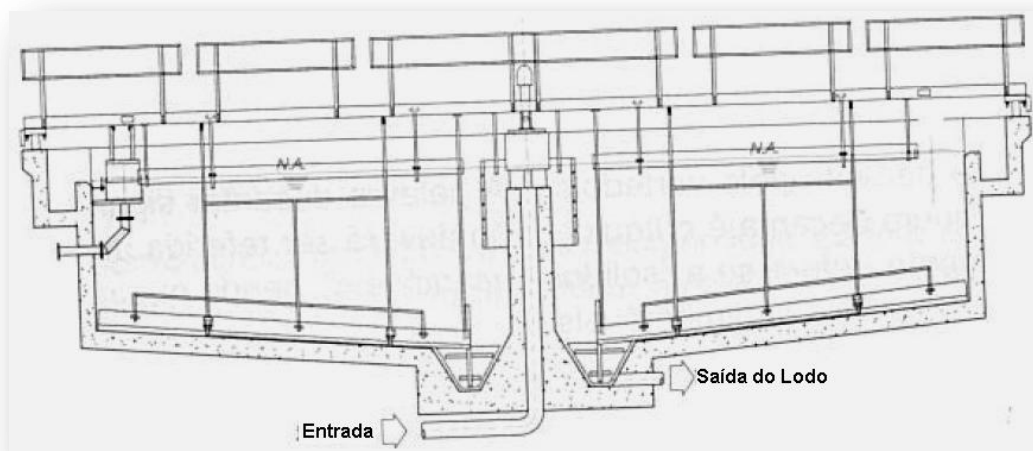


Figura 43 – Decantador circular mecanizado.

Conforme o escoamento, tem-se os decantadores de escoamento horizontal, geralmente com profundidade relativamente pequena e comprimento relativamente grande em relação à largura, e os de escoamento vertical, com aplicação por baixo, cujo líquido efetua o movimento ascendente. Ainda existe o tipo compacto, efetuando, ao mesmo tempo, floculação e decantação.

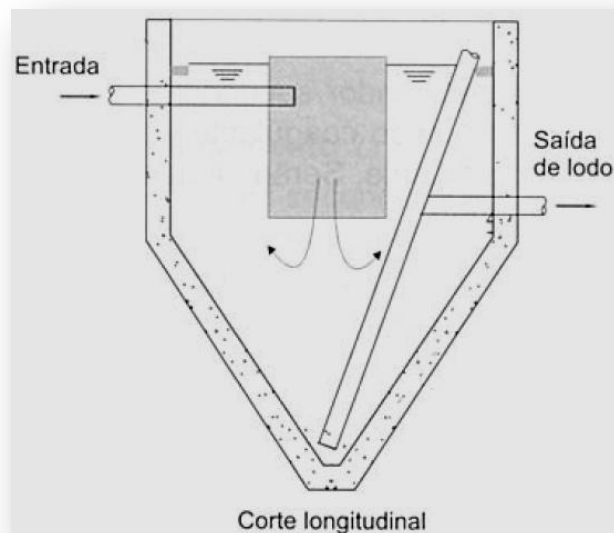


Figura 44 – Decantador do tipo Dortmund

Ultimamente usam-se decantadores com escoamento laminar de alta taxa de escoamento superficial (Figura 45), cujo emprego dos módulos tubulares ou de placas diminuem a turbulência, diminuindo consideravelmente o Número de Reynolds para valores abaixo de 250. Neste caso, em águas residuárias as taxas de escoamento superficial situam-se entre 60 e 75 $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$, e em águas de abastecimento público entre 180 e 240 $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$.

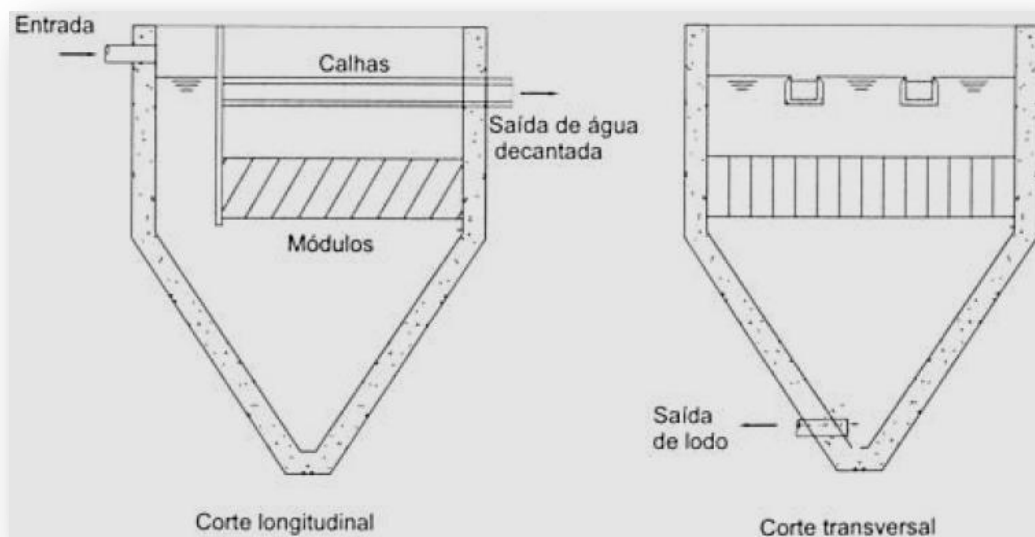


Figura 45 – Decantador de escoamento laminar.

O tempo de detenção não deverá ser utilizado para o dimensionamento dos decantadores, porém, com o uso de coagulantes e dependendo das características dos efluentes, este valor poderá situar-se entre 1,5 a 3 horas e, no caso dos decantadores laminares, de 0,5 a 1 hora. A altura poderá ser adotada e posteriormente verificar-se o tempo de detenção, entretanto deve-se excluir a altura referente ao volume de lodo. O

lodo é recolhido no fundo dos decantadores, direcionado a uma caixa que deverá situar-se ao lado e, posteriormente, recalçado para adensamento, filtros-prensa ou leitos de secagem, etc, conforme a concentração em que se encontra. Nos decantadores não-mecanizados, o fundo deverá formar, com a horizontal, ângulo de 60°. O diâmetro mínimo da tubulação de descarga de lodo deverá ser de 150 mm.

4.3.2 Mecanismo da Decantação

- uma partícula está submetida a duas forças:

- horizontal - devido ao movimento da água no decantador;
- vertical - devido à ação da gravidade.

Como existem espaços mortos, curto - circuitos, etc; o período de escoamento é sempre inferior ao teórico.

4.3.3 Zonas do Decantador

- Zona de turbilhonamento - é a parte de entrada da água onde as partículas estão em turbilhonamento.
- Zona de decantação - é a zona onde não há agitação e as partículas avançam e descem lentamente, caminhando para a zona de repouso.
- Zona de ascensão - é a zona onde os flocos que não alcançaram a zona de repouso seguem o movimento ascensional da água e aumentam a velocidade tornando - se máxima na passagem pelo vertedor.
- Zona de repouso - é onde se acumula o lodo. Nesta zona não há influência da corrente de água do decantador, a não ser que haja inversão das camadas de água pela brusca mudança de temperatura; fermentação do lodo, etc.

4.3.4 Lavagem do Decantador

O lodo que se acumula na zona de repouso, quando atinge outras zonas, começa a corrente de água ascendente arrastar os flocos indicando com isso que o decantador deve ser lavado. Pode acontecer que antes de atingir tal situação o lodo no interior comece a fermentar ocasionando desprendimento de gases que provocam cheiro e gosto desagradáveis no efluente da estação. Portanto deve-se lavar um decantador quando: a camada de lodo se torna espessa ou quando se inicia a fermentação.

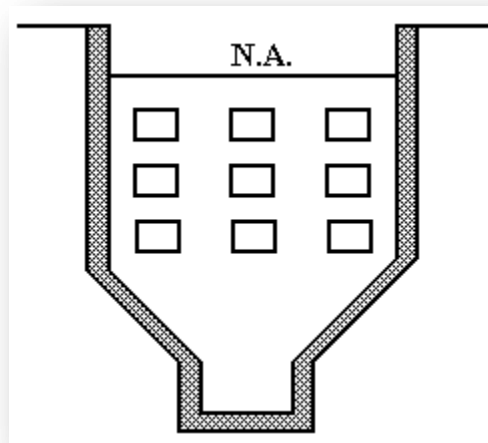
O primeiro caso só se verifica quando há grande produção de lodo. O segundo caso ocorre quando há pouco lodo e a fermentação se inicia antes do lodo atingir a altura que impede a decantação normal dos flocos. O início da fermentação é notado através do aparecimento de pequenas bolhas de gás na zona de turbilhonamento.

Além da produção de gosto e odor desagradáveis na água efluente, haverá levantamento de grandes placas de lodo na zona de decantação (jacaré).

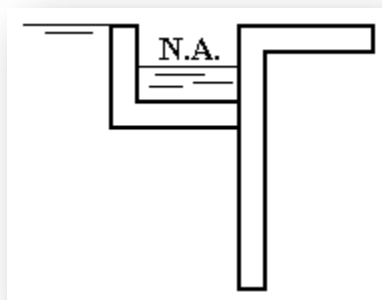
4.3.5 Decantadores Convencionais

Condições para funcionamento normal:

- Tempo de detenção → 2 à 4 horas;
- Velocidade da água → em torno de $0,5 \text{ cm s}^{-1}$;
- Taxa de escoamento → $5 \text{ à } 80 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ em função do tipo de partícula a remover;
- Profundidade → 3,6 à 6,0 m para decantadores de escoamento horizontal;
- Relação comprimento(L) X Largura(B) → $L = 2,5 B$ (para melhor funcionamento o comprimento deve ser longo para evitar correntes transversais);
- Dispositivo de entrada → normalmente utiliza-se cortina para que o fluxo horizontal seja o mais uniforme possível. Veja figura a seguir,



- Dispositivo de saída → é comum usar canaletas ou vertedores no extremo de jusante dos decantadores, principalmente nos retangulares. Veja um exemplo na figura a seguir,



- A vazão por metro linear no vertedor da canaleta recomenda-se na faixa de $2 \text{ à } 7 \text{ L s}^{-1}$.

4.3.6 Decantadores de Módulos Tubulares ou de Placas Paralelas

São decantadores de taxa acelerada, conseqüentemente de tempo de detenção reduzido.

As taxas em função da área coberta pelos módulos estão compreendidas entre 180 e 240 m³ m⁻² dia⁻¹. Isto corresponde a cerca de 5 vezes as taxas adotadas em decantadores convencionais.

4.3.7 Módulos Tubulares Brasileiros

O módulo formado por duto de PVC de 4,9 x 8,8 cm, com paredes em torno de 1mm de espessura, pesa cerca de 28 kg m⁻².

A cor preta adotada foi pelo fato de ser mais desfavorável ao desenvolvimento de microrganismos.

O ângulo de inclinação dos tubos deve ser mantido entre 55 e 60°.

Os comprimentos dos tubos adotados devem ser na faixa de 0,60 a 1,20 m, em módulos com alturas de 0,53 a 1,06 m.

Tratando-se de placas a inclinação adotada é a mesma (60°) e o espaçamento entre elas varia de 5 a 6 cm, com comprimento obedecendo o mesmo critério adotado para os módulos.

Veja figura:

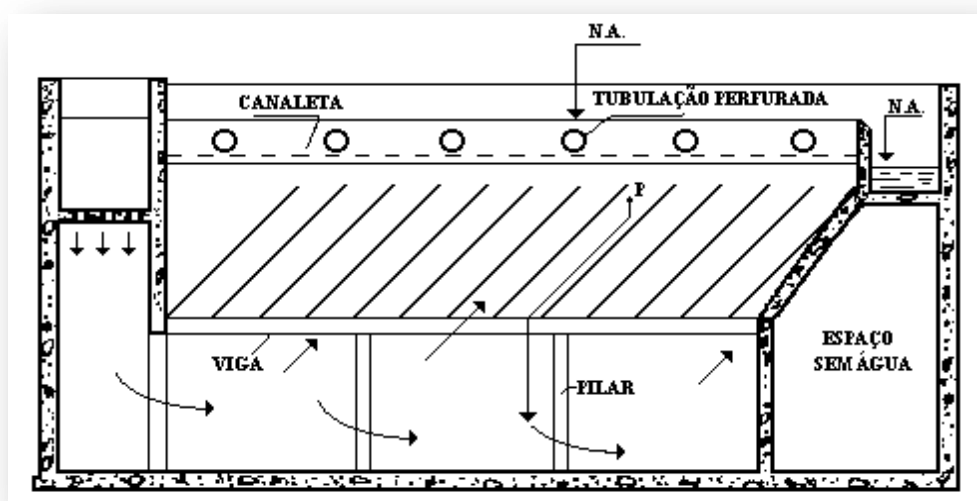


Figura 45 – Decantador de módulos tubulares.

4.3.8 Dimensionamento de decantadores primários

Os decantadores são dimensionados em função das taxas de escoamento superficial, conforme o tipo e as características do efluente. As taxas empregadas para os efluentes industriais são bem menores que as empregadas em tratamento de água de abastecimento público.

De acordo com a NB-570, os decantadores primários devem ser dimensionados com base na vazão máxima horária de efluente e para vazões de dimensionamento superiores a 250 L s^{-1} deve-se empregar mais de um decantador.

Para a determinação da área de decantação deve-se utilizar como parâmetro a taxa de escoamento superficial. Na literatura internacional são recomendadas taxas na faixa de 30 a $60 \text{ m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$ e tempo de retenção hidráulica entre $1,5$ e $3,0 \text{ h}$. A NB-570 impõe três condições para a adoção da taxa de escoamento superficial para decantadores primários:

- a) até $60 \text{ m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$, só tratamento primário
- b) até $80 \text{ m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$, seguido de filtros biológicos
- c) até $120 \text{ m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$, seguido de lodos ativados

A NB-570 recomenda tempo de retenção hidráulica superior a 1 h , com base na vazão máxima de efluente e inferior a 6 h , com base na vazão média.

Determina-se a área de decantação através da taxa de escoamento superficial e o volume do decantador através do tempo de retenção. Obtendo-se área e volume, pode-se obter a profundidade útil dos decantadores.

Para decantadores retangulares a relação comprimento largura deve ser superior a $2:1$, sendo típicos valores na faixa de $3:1$ a $4:1$, ou mais.

As profundidades dos decantadores variam de $2,0$ a $4,5 \text{ m}$, sendo mais comuns na faixa de $3,0$ a $4,0 \text{ m}$. A NB-570 impõe que os decantadores devem possuir profundidade superior a $2,0 \text{ m}$.

Os sedimentadores lamelados empregam um conjunto de lâminas, em geral de material plástico, inclinadas e espaçadas de alguns cm, que permitem aumentar a eficiência de coleta das partículas. Em decorrência, esses sedimentadores operam com capacidades bastante elevadas (da ordem de $20 \text{ m}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ou $480 \text{ m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$).

Exemplo de dimensionamento 1:

Dimensionar um decantador para uma ETE de uma indústria têxtil, onde será usado coagulante e polieletrólito nas misturas rápidas e lentas respectivamente. Serão utilizados módulos tubulares e a vazão uniforme é de $45 \text{ m}^3 \text{h}^{-1}$.

Solução:

- Área do decantador (A)

$$A = \frac{Q (\text{m}^3 \text{d}^{-1})}{I (\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1})}$$

I é a taxa de escoamento superficial. Para decantadores com módulos tubulares é igual a $75 \text{ m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$. A altura (H) adotada é igual a $2,80 \text{ m}$.

$$A = \frac{\text{_____} (\text{m}^3 \text{d}^{-1})}{\text{_____} (\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1})} = \text{_____} \text{m}^2$$

- Comprimento (L) e largura (B)

Considerando o decantador de fluxo ascendente e com dois poços no fundo para deposição do lodo, foi adotado o comprimento igual a 2 vezes a largura, ou seja, $L = 2B$

$$A = L \cdot B \rightarrow A = 2B \cdot B \rightarrow A = 2B^2$$

$$\text{_____} m^2 = 2B^2$$

$$B = \text{_____} m$$

$$L = 2 \times \text{_____} m \rightarrow L = \text{_____} m$$

- Volume do decantador

$$V = L \cdot B \cdot H$$

H é a altura adotada em 2,80 m, excluindo o volume reservado para o lodo,

$$V = \text{_____} m \times \text{_____} m \times \text{_____} m$$

$$V = \text{_____} m^3$$

- Tempo de detenção (t)

$$t = \frac{V (m^3)}{Q (m^3 h^{-1})}$$

$$t = \frac{\text{_____} (m^3)}{\text{_____} (m^3 h^{-1})} = \text{_____} h = \text{_____} min$$

O tempo de detenção é satisfatório, situa-se entre 0,5 e 1 hora.

O decantador terá comprimento (L) igual a _____ m, largura (B) igual a _____ m e altura (H) igual a _____ m.

Exemplo de dimensionamento 2:

Dimensionar um decantador circular, para uma ETE de uma indústria têxtil, que utiliza o processo de lodos ativados, cuja vazão média é de $80 m^3 h^{-1}$, funcionando 24 h d^{-1} , possuindo 1000 funcionários.

Solução:

- Vazão total (Q_T)

$$Q_T = Q_I + Q_S$$

Q_I é a vazão da água residuária industrial

Q_S é a vazão dos esgotos sanitários

$$Q_S = N \times C$$

N é o número de contribuintes

C é a contribuição de despejos igual a $70 L \text{ pessoa}^{-1} d^{-1}$ (NBR 7229/93)

$$Q_S = \text{_____} \times \text{_____}$$

$$Q_S = \text{_____} L d^{-1} \rightarrow Q_S = \text{_____} m^3 d^{-1}$$

$$Q_T = \text{_____} \times \text{_____} + \text{_____}$$

$$Q_T = \text{_____} m^3 d^{-1} \rightarrow Q_T = \text{_____} m^3 h^{-1}$$

- Diâmetro do decantador (D)

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q_T}{\pi \times I}}$$

I é a taxa de escoamento superficial. Para lodos ativados é igual a $24 \text{ m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$. A altura (H) adotada é igual a 2,50 m.

$$D = \sqrt{\frac{4 \times \underline{\hspace{2cm}}}{3,14 \times \underline{\hspace{2cm}}}}$$

$$D = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}$$

- Tempo de detenção (t)

$$V = \pi \cdot R^2 \cdot H$$

$$V = 3,14 \times \underline{\hspace{2cm}}^2 \times \underline{\hspace{2cm}}$$

$$V = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^3$$

$$t = \frac{V (\text{m}^3)}{Q (\text{m}^3 \text{h}^{-1})}$$

$$t = \frac{\underline{\hspace{2cm}} (\text{m}^3)}{\underline{\hspace{2cm}} (\text{m}^3 \text{h}^{-1})} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ horas}$$

O tempo de detenção é satisfatório, situa-se entre 1,5 e 3 hora.

O decantador terá diâmetro (D) igual a $\underline{\hspace{2cm}}$ m e altura (H) igual a $\underline{\hspace{2cm}}$ m.

4.4 Flotação

As aplicações da flotação na área mineiro-metalúrgica são conhecidas por mais de um século e se encontram totalmente incorporadas na maioria das atividades de beneficiamento de minerais. Por outro lado, a flotação, principalmente a Flotação por Ar Dissolvido (FAD), é uma das técnicas de separação sólido-líquido que vem ganhando espaço no cenário do tratamento físico-químico de efluentes, como alternativa de descontaminação de águas via remoção de poluentes, tais como pequenas partículas e/ou colóides, íons, precipitados, macromoléculas, microorganismos, fibras, algas e outros materiais da água. Ainda, a FAD pode ser considerada como um processo eficiente, prático e confiável na remoção de óleos e graxas, químicos, solventes, sólidos ultrafinos e coloidais, para reduzir DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de Oxigênio) e no espessamento de lodos.

Para separar materiais de peso específico maior que a água ou remover óleos emulsionados, é necessário insuflar ar comprimido, cujas bolhas arrastam para a superfície líquida, sólidos e líquidos de difícil separação.

A flotação fundamenta-se no processo de separação de partículas (ou agregados) ou gotículas via adesão a bolhas de ar, pela incorporação dessas no interior de flocos ou por simples arraste hidráulico. As unidades formadas (flocos) por bolhas e partículas (ou gotículas) apresentam uma densidade aparente menor do que no meio aquoso e “flutuam” ou “flotam” até a superfície de um reator (célula de flotação) ou interface

líquido/ar, onde são removidos por um sistema mecânico de superfície, enquanto a água ou o efluente clarificado ficam nas camadas mais baixas do tanque de onde é removido.

Substâncias químicas, como sulfato de alumínio, cloreto férrico, polieletrólito, são às vezes adicionadas, formando flocos e melhorando a eficiência de tratamento.

Em relação à sedimentação, a flotação apresenta as seguintes vantagens:

- Lodos mais concentrados;
- Remoção de sólidos de difícil separação;
- Ocupação de menor área e volume;
- Taxas maiores de aplicação superficial;

O tempo de detenção no tanque varia de 10 a 30 minutos.

A flotação é geralmente empregada no tratamento de águas residuárias de curtumes, refino de petróleo, conservas, lavanderias, matadouros e frigoríficos, petroquímica, celulose e papel, mineração, etc.

A flotação pode ser realizada através de ar dissolvido ou por ar disperso. A flotação por ar disperso consiste em introduzir o ar diretamente no líquido, no fundo do tanque. Este sistema tem baixa eficiência de remoção de sólidos e óleos, sendo recomendada para a remoção de espumas.

A flotação por ar dissolvido consiste em receber o efluente em um tanque em que uma bomba recalca o efluente a um tanque de retenção, enquanto o ar é aplicado, com controle de valor admissível, na sucção da bomba. A pressão no tanque de retenção é de 2 a 5atm, suficiente para se conseguir a saturação do ar na água. Do tanque de retenção, o efluente contendo ar dissolvido é lançado ao tanque de flotação, é controlado através de uma válvula redutora de pressão. A entrada no tanque de flotação poderá ser diretamente no fundo, ou em um compartimento à montante do outro compartimento onde se situa o raspador mecânico, sendo a passagem do primeiro compartimento para o segundo, efetuada por cima (Figura 46).

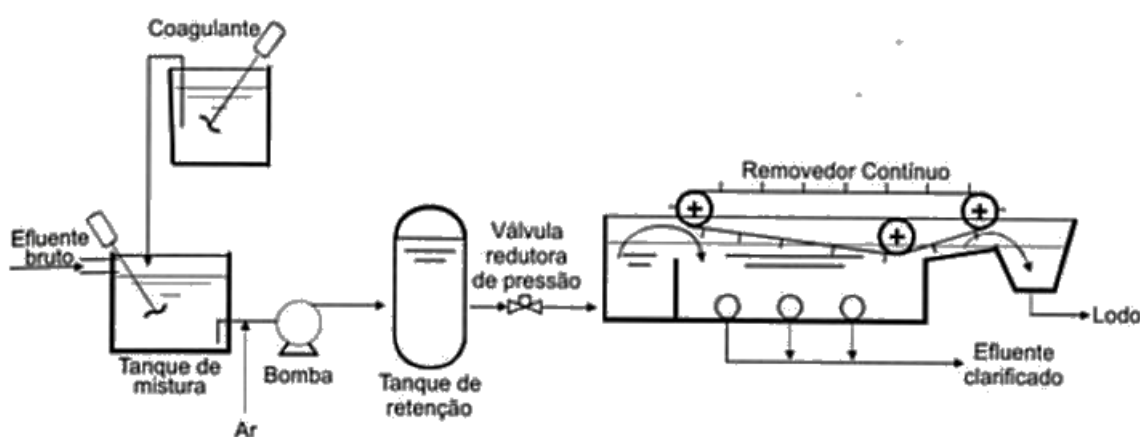


Figura 46 – Tanque de flotação sem recirculação.

Melhores eficiências consegue-se reciclando o efluente clarificado (Figura 47).

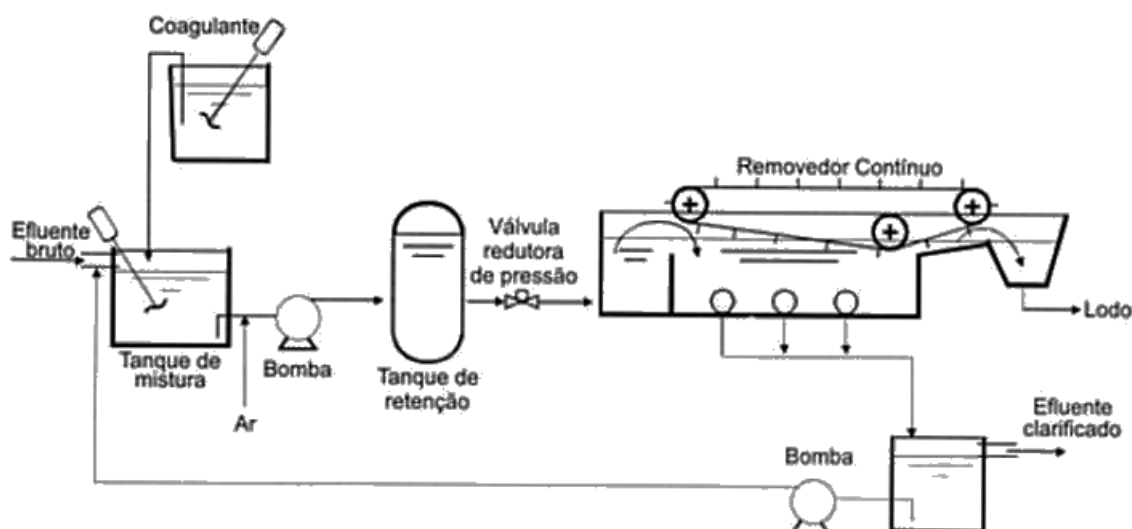


Figura 47 – Tanque de flotação com recirculação.

4.4.1 Flotação por Ar Dissolvido

A FAD é caracterizada pela geração e utilização de microbolhas (20-100 μm) que são formadas pelo processo de cavitação da água saturada com ar a alta pressão (3 a 5 atm). A flotação com microbolhas apresenta mecanismos de formação de bolha distintos da flotação convencional. As bolhas são obtidas usando aparelhos, tais como constrições do tipo venturi ou “nozzles”, que ocasionam quedas de pressão bruscas. O processo de formação de microbolhas envolve duas etapas: nucleação e crescimento. A nucleação é o primeiro estágio da cavitação, que consiste na formação dos primeiros núcleos de gás.

Dois tipos de nucleação de bolhas podem ser distinguidos conforme a forma de ocorrência: na fase homogênea (líquida) ou sobre uma superfície sólida (fase heterogênea). As microbolhas formadas aderem-se às partículas gerando um agregado bolha-partícula cuja densidade é menor que a fase contínua e ascende até a superfície do líquido, constituindo o produto flotado.

Em comparação com processos convencionais de flotação, a FAD apresenta adicionais mecanismos de interação entre partícula e bolha, nomeados: nucleação, aprisionamento e arraste (Figura 48). O mecanismo de nucleação ocorre quando parte do ar dissolvido na água não é convertido em bolhas pela constrição do fluxo, o ar remanescente em solução na água nucleia e cresce na interface da partícula com o líquido arrastando para a superfície das células de flotação. O aprisionamento de bolhas no interior dos flocos ocorre devido às pequenas dimensões das bolhas e o agregado bolha-partícula apresenta densidade baixa. O último mecanismo envolvido na FAD é o arraste de partículas pela ascensão da nuvem de bolhas, neste caso as partículas arrastadas não necessariamente encontram-se agregadas às bolhas de ar e o arraste depende principalmente das condições hidrodinâmicas no interior da célula de flotação e da distribuição do tamanho de bolhas.

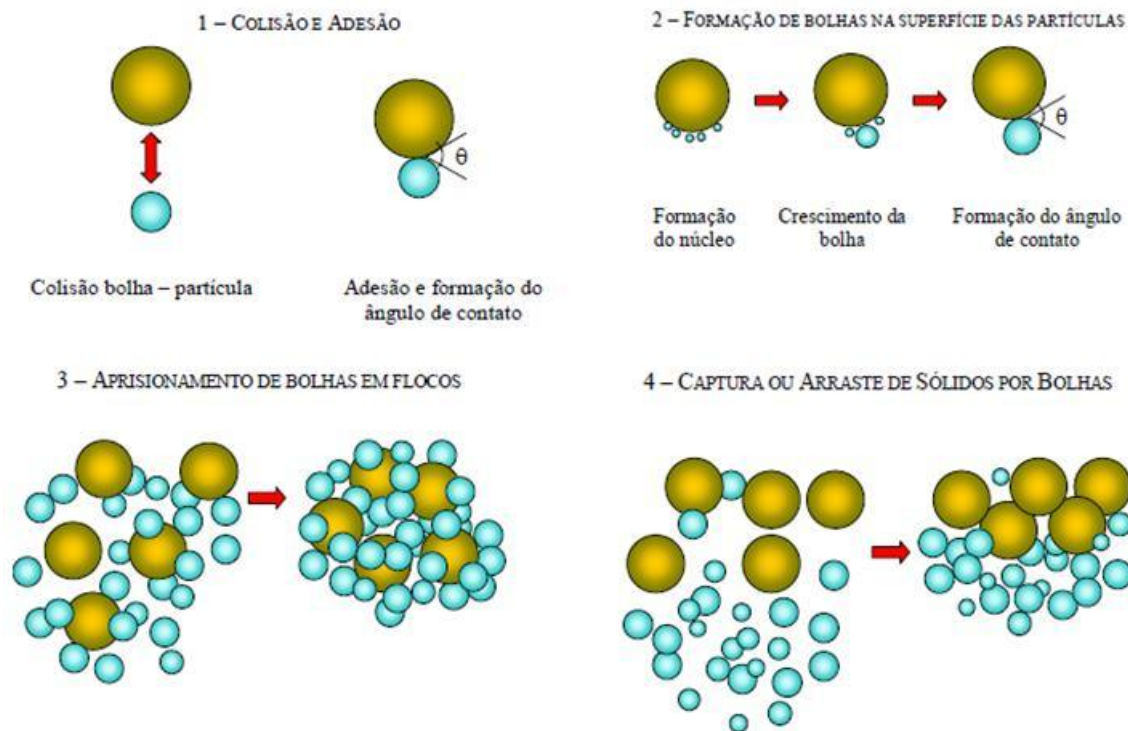


Figura 48 - Fenômenos de colisão, adesão, nucleação e captura de partículas e agregados por microbolhas

Como perspectivas atuais, a FAD vem sendo aplicada nos programas de despoluição da baía de Guanabara, no Rio de Janeiro, dos rios Pinheiro e Tiete e do lago do Ibirapuera, em São Paulo e, atualmente, estudada e aprimorada para a sua aplicação no tratamento de efluentes industriais, em especial da indústria mineral.

4.4.2 Dimensionamento do sistema de flotação

O dimensionamento do sistema de flotação com ar dissolvido depende de uma relação entre a massa de ar liberada (A) e a massa de sólidos na água residuária (S). A melhor eficiência se consegue determinando a relação ótima A/S; como S é um valor constante, um valor baixo de A leva a uma flotação parcial, enquanto um valor alto provoca agitação excessiva. O valor ótimo de A/S é determinado em laboratório ou planta piloto. No caso de espessamento de lodos, o valor de A/S situa-se entre 0,005 e 0,060. De posse da relação ótima A/S, determina-se a pressão de funcionamento (P) e em seguida a área superficial (A), adotando-se um fator de carga entre 4,8 e 9,6 m³ m⁻² h⁻¹, sendo para espessamento de lodo entre 0,47 e 0,96 m³ m⁻² h⁻¹.

As fórmulas seguintes permitem dimensionar os sistemas de flotação por ar dissolvido sem e com reciclagem.

- Sem reciclagem

$$\frac{A}{S} = \frac{1,3 \cdot S_a(f \cdot P - 1)}{X_o}$$

- Com reciclagem

$$\frac{A}{S} = \frac{R}{Q} \cdot \frac{1,3 \cdot S_a (f \cdot P - 1)}{X_o}$$

Sendo que:

S_a é a solubilidade do ar em $\text{cm}^3 \text{ L}$ de água residuária. A tabela abaixo mostra os valores de S_a para várias temperaturas a pressão atmosférica.

Temperatura (°C)	$S_a (\text{cm}^3 \text{ L})$
0	29,2
10	22,8
20	18,7
30	15,7

f é a fração de ar dissolvido, considerando-se a saturação incompleta. Geralmente entre 0,5 e 0,8.

P é a pressão de funcionamento em atmosfera (atm)

X_o é a concentração de sólidos na água residuária

R é a razão de circulação

Q é a vazão afluente

O pH exerce grande influência na flotação. A seguir, eis alguns valores de pH em que há boa flotação:

Fibras de celulose: entre 5 e 6

Óleo mineral emulsionado: 4,5

Sabão: entre 4 e 5

Exemplo de dimensionamento:

Dimensionar um sistema de flotação cuja vazão afluente é de $30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, contendo sólidos em suspensão em concentração igual a 300 mg L^{-1} . A relação ótima A/S encontrada em escala piloto é de 0,02 Kg de ar/ Kg de sólidos e a temperatura de funcionamento é de 30°C . Adotar $f = 0,5$ (mais conservador). Calcular, primeiro, para um sistema sem circulação, e em seguida para em efluente de melhor qualidade, com circulação.

Solução:

- Sem circulação

1 – Pressão de funcionamento (P)

$$\frac{A}{S} = \frac{1,3 \cdot S_a (f \cdot P - 1)}{X_o}$$

$$\frac{0,02}{300} = \frac{1,3 \cdot \text{ } (\text{ } \cdot P - 1)}{\text{ }}$$

$$\text{ } = \text{ } P - \text{ }$$

$$P = \text{ } \text{ atm}$$

2 – Área Superficial (A)

Adotando fator de carga (I) igual a $7,2 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$

$$A = \frac{Q(\text{m}^3 \text{ h}^{-1})}{I (\text{m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1})}$$

$$A = \frac{\text{_____} (\text{m}^3 \text{ h}^{-1})}{\text{_____} (\text{m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1})}$$

$$A = \text{_____} \text{ m}^2$$

- Com circulação

1 – Vazão de recirculação (R)

$$\frac{A}{S} = \frac{R}{Q} \cdot \frac{1,3 \cdot S_a (f \cdot P - 1)}{X_o}$$

$$\text{_____} = \frac{R}{\text{_____}} \cdot \frac{1,3 \cdot \text{_____} (\text{_____} \cdot \text{_____} - 1)}{\text{_____}}$$

$$\text{_____} = \text{_____} R$$

$$R = \text{_____} \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$$

2 – Área Superficial (A)

Adotando fator de carga (I) igual a $7,2 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$

$$A = \frac{Q + R}{I}$$

$$A = \frac{\text{_____} + \text{_____}}{\text{_____}}$$

$$A = \text{_____} \text{ m}^2$$

Nota: A área superficial é o dobro da anterior.

4.5 Filtração

A filtração da água consiste em fazê-la passar através de substâncias porosas capazes de reter ou remover algumas de suas impurezas. Como meio poroso, emprega-se em geral a areia sustentada por camadas de seixos, sob as quais existe um sistema de drenos.

4.5.1 Classificação dos Filtros

4.5.1.1 De acordo com a Taxa de Velocidade de Filtração

- filtros lentos: funcionam com taxa média de $0,4 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$;
- filtros rápidos: funcionam com taxa média de $120 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

4.5.1.2 Quanto a Pressão, os Filtros Rápidos Podem ser de Dois Tipos

- De pressão: fechados, metálicos, nos quais a água a ser filtrada é aplicada sobre pressão (usados em piscinas, indústrias e companhias de saneamento).
- De gravidade: os mais comuns.

4.5.1.3 Quanto ao Sentido do Fluxo

- Descendentes: os mais comuns;
- Ascendentes: os clarificadores de contato.

4.5.2 Definições

Areia: Grãos constituídos essencialmente de quartzo resultantes da desagregação ou da decomposição das rochas em torno de 99% de sílica.

Tamanho Efetivo: Abertura da malha, em mm, da peneira que deixa passar 10% em peso de uma amostra, representativa de areia. Este valor é obtido graficamente.

Coefficiente de Uniformidade: Relação entre abertura da malha da peneira, em mm, através da qual passa 60% em peso, de uma amostra representativa de areia, e o tamanho efetivo da mesma amostra. A abertura da malha que deixa passar 60% da amostra, é obtida graficamente.

$$C.U = \frac{A60\%}{A10\%}$$

4.5.3 Especificações dos Materiais Filtrantes

4.5.3.1 Filtro Lento

- camada suporte (seixo rolado - quartzo);
- composição granulométrica de baixo para cima.

DIÂMETRO (mm)	ESPESSURA DAS CAMADAS
63,50 à 31,70	15 cm
31,70 à 19,10	10 cm
19,10 à 12,70	9 cm
12,70 à 6,35	8 cm
6,35 à 2,00	8 cm
Total	50 cm

Camada De Areia

DIÂMETRO (mm)	ESPESSURA DAS CAMADAS
Espessura da camada	1,00 m
Diâmetro Efetivo, D_{ef}	0,30 mm
Coeficiente de Desuniformidade, D_{du}	2,50
Diâmetro de maior grão	1,41 mm
Diâmetro de menor grão	0,149 mm
D_{10}	0,30 mm
D_{60}	0,75 mm

4.5.3.2 Filtro Rápido de Gravidade

Areia Selecionada

Diâmetro Efetivo, D_{ef}	0,50 mm
Coeficiente de Desuniformidade, D_{du}	1,45
Diâmetro de maior grão	1,68 mm
Diâmetro de menor grão	0,42 mm

Camadas De Pedregulho (Sub-Camadas)

DIÂMETRO (mm)	ESPESSURA
1" - 2"	23 cm
1/2" - 1"	10 cm
1/4" - 1/2"	10 cm
1/8" - 1/4"	10 cm
Total	53 cm

4.5.3.3 Filtro de Fluxo Ascendente

Camada De Areia

DIÂMETRO (mm)	ESPESSURA DAS CAMADAS
Espessura da camada	1,80 m
Diâmetro Efetivo, Def	0,75 mm
Coeficiente de Desuniformidade, Ddu	1,60
Diâmetro de maior grão	1,680 mm
Diâmetro de menor grão	0,590 mm
D ₁₀	0,75 mm
D ₆₀	1,20 mm

Camada Suporte (Seixo Rolado)

Composição Granulométrica de baixo para cima

DIÂMETRO (mm)	ESPESSURA DAS SUBCAMADAS
63,50 à 31,70	15 cm
31,70 à 19,10	10 cm
19,10 à 12,70	9 cm
12,70 à 6,35	8 cm
6,35 à 2,00	8 cm
Total	50 cm

4.5.4 Condições Específicas de Areia para Leito Filtrante

- A solubilidade em ácido não deve exceder de 5% e a perda ao fogo ser menor que 0,7%.
- O tamanho efetivo e o coeficiente de uniformidade devem atender aos valores especificados pelo comprador.

4.5.5 Operação e Manutenção dos Diversos Tipos de Filtros

4.5.5.1 Filtro Rápido de Gravidade Convencional

Funcionamento:

A água procedente do decantador, alimenta o filtro, através de canal ou tubulações, armazenando-se no reservatório, conforme ilustra esquema a seguir.

Durante a filtração a água vai se processando a velocidade constante, por intermédio de um controlador de vazão, consequentemente a areia vai se colmatando aos poucos, em decorrência da detenção das partículas em suspensão (flocos), carregadas para o filtro. Ao mesmo tempo a perda de carga vai aumentando até atingir um valor limite o qual não deve ser ultrapassado.

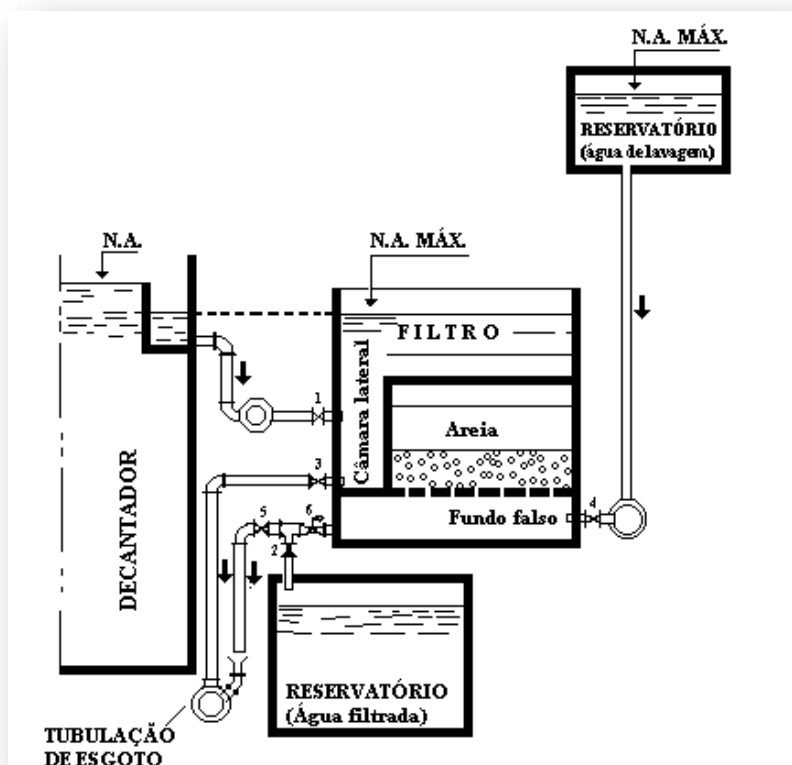


Figura 49 – Esquema de um filtro rápido convencional

Limpeza:

Quando a perda de carga atinge o limite, geralmente em torno de 2,5 m.c.a, recomenda-se a lavagem através da inversão de corrente. Para isto, fecham-se os registros de entrada e saída, após o nível da água ficar a uns 10 cm acima do leito filtrante e em seguida abre-se o registro 3 (esgoto) e logo após, de forma gradativa, o de nº 4 que recebe água do reservatório de lavagem. Essa abertura deve ser lenta e gradual para expulsão do ar sem danificar o sistema de drenagem do filtro.

A vazão de lavagem é cerca de 8 vezes maior que a de filtração. A água quando começa cair na canaleta apresenta-se bastante turva, e após 5 a 7 minutos começa-se a clarear indicando que a areia está limpa, oportunidade em que são fechados os registros 3 e 4 e abertos os de nº 1 e 5, sendo que este último só quando a água atingir o nível de filtração (N.A. máx). O registro 5 só deverá ficar aberto o tempo suficiente para expurgar a primeira parcela d'água filtrada, tempo esse de alguns minuto, em seguida é fechado e aberto o nº 2 para reiniciar a filtração.

O controlador de vazão, devido a problema de custo e de ordem operacional está havendo uma forte tendência de substituição dos filtros com esse dispositivo por unidades de filtração com taxa declinante.

4.5.5.2 Filtros de Pressão

Os filtros de pressão tem muita coisa em comum em relação aos filtros de gravidade. Diferem apenas por serem fechados, confeccionados em metal, de forma cilíndrica, e operarem sob pressão. Sua pressão varia de 10 à 50m e a perda de carga máxima é da ordem de 7 metros.

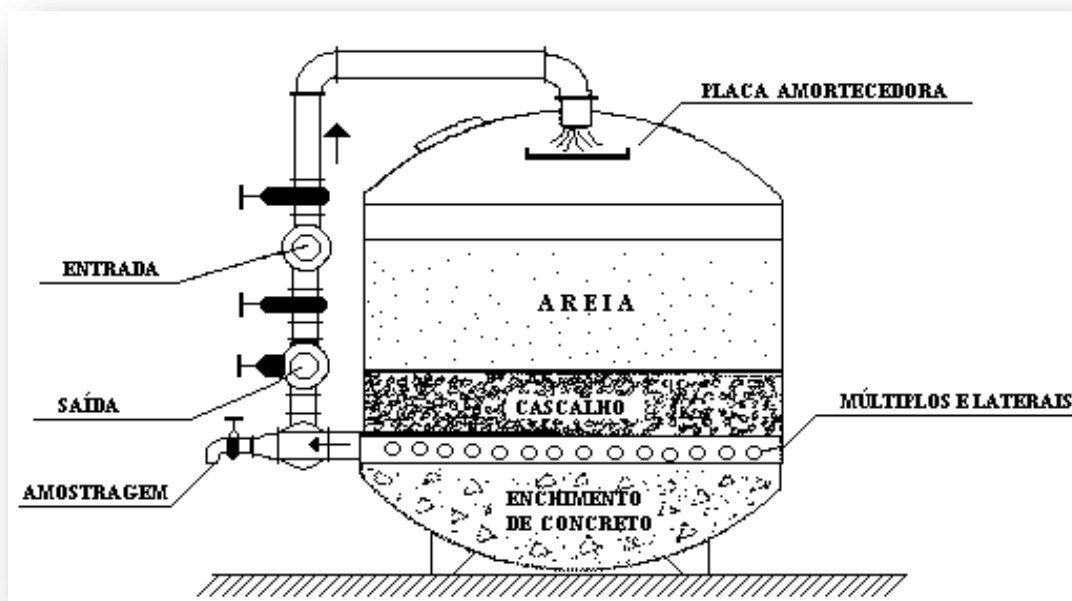


Figura 50 – Figura de um filtro de pressão

Quanto aos princípios de funcionamento e lavagem são análogos aos dos filtros rápidos convencionais.

4.5.5.3 Filtração Rápida com Taxa Declinante

Os filtros que compõem uma bateria, o nível d'água é o mesmo em um determinado instante, embora variando entre um máximo e um mínimo, sendo esse máximo garantido pelo nível d'água da saída do decantador e o mínimo pela soleira do vertedor situado no reservatório de água filtrada.

Característica do Sistema

Nesse tipo de sistema, caracteriza-se por existir um conduto comum de água decantada não existindo controlador de vazão na entrada de cada filtro. Esse conduto ou canal deverá ser de secção suficientemente grande para servir aos filtros com suas vazões variáveis e com pequena perda de carga.

O vertedor situado no interior do reservatório de água filtrada destina-se principalmente a impedir a ocorrência de carga negativa no leito de areia.

O funcionamento de um filtro, após a lavagem, caracteriza-se por apresentar seu nível na posição mais baixa, por sinal no mesmo dos demais.

Nesse momento a maior taxa de filtração, na bateria, ocorre exatamente nesse mesmo filtro e a menor no próximo a ser lavado.

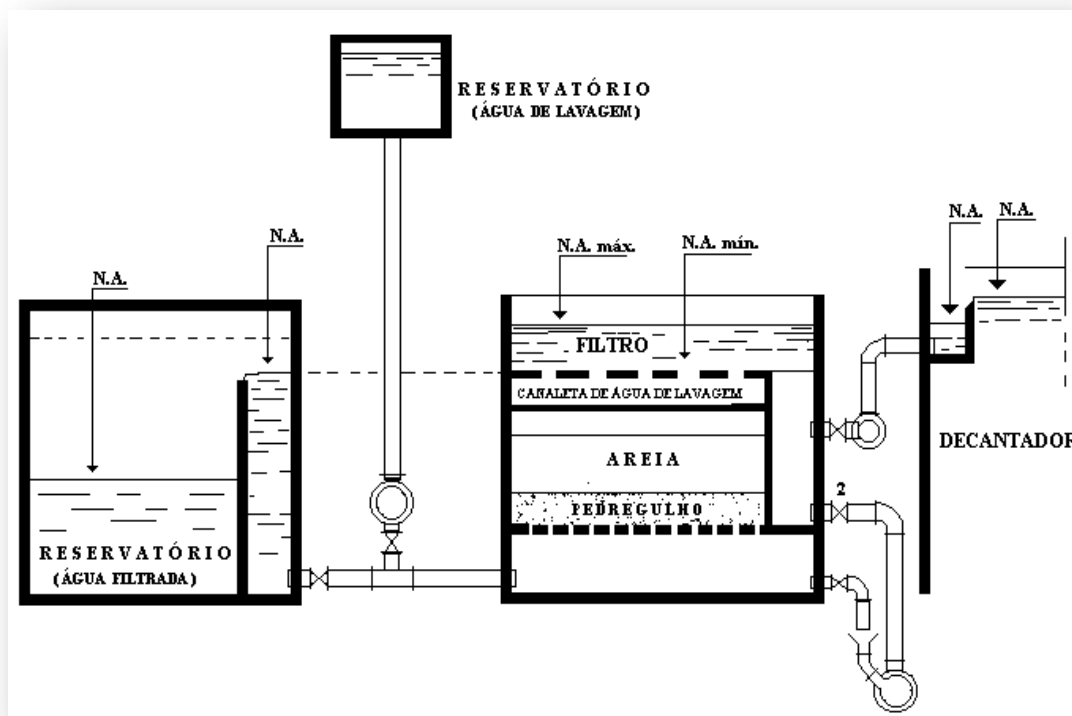


Figura 51 - Filtração com taxa declinante

4.5.5.4 Filtração com Leito Duplo

A areia usada em filtro rápido tem granulometria com tamanho efetivo entre 0,45 à 0,55mm e coeficiente de uniformidade de 1,3 à 1,7 de onde se conclui que seus grãos são de tamanhos diferentes.

Na lavagem, após a expansão da areia, há uma tendência das partículas menores ficarem em cima, devido a problema de peso.

Devido a isto, na filtração, apenas os primeiros centímetros da areia retêm as impurezas (flocos). Caso fosse o inverso, apenas as impurezas diminutas ficariam retidas na areia fina, camadas inferiores, o que sem dúvida traria uma ação mais efetiva em toda sua espessura e não apenas nas primeiras camadas.

A conclusão que se chega a essa hipótese é que a perda de carga seria menor, após um período de filtração de determinada quantidade de água, aumentando dessa forma a taxa de filtração e o período de funcionamento do filtro entre duas lavagens consecutivas.

Devido com a areia não ser possível essa hipótese, lança-se mão de outro material complementar, de grãos maiores, porém de menor densidade, o que possibilita manter-se sobre a areia após a lavagem do filtro.

O material geralmente empregado com esse fim é o antracito de densidade 1.5 e tamanho efetivo de 1 à 1,4mm o que para a areia respectivamente seria 2,65 e 0,45 à 0,55mm.

4.5.5.5 Filtração Ascendente (Filtro Russo)

Tratamento recomendado para águas de turbidez baixa ou moderada, pouco contaminada e de baixo teor de sólidos em suspensão.

Unidades componentes: Coagulação (mistura rápida), floculação, filtração e desinfecção.

Para evitar a expansão da areia na própria filtração, recomenda-se taxa de $120 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, tolerando-se o valor máximo de $146 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, isto considerando tamanho efetivo de 0,55 à 0,65mm e coeficiente de uniformidade de 2,5.

Para a vazão de lavagem recomenda-se taxa da ordem $1.100 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ à $1.300 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. A operação de lavagem assemelha-se a recomendada para filtros de gravidade convencionais com restrição apenas que antes de iniciar a lavagem propriamente dita, lança-se para o esgoto toda água armazenada no filtro acima da camada filtrante. Isto para que os flocos retidos no interior, das camadas sejam arrastados para os esgotos.

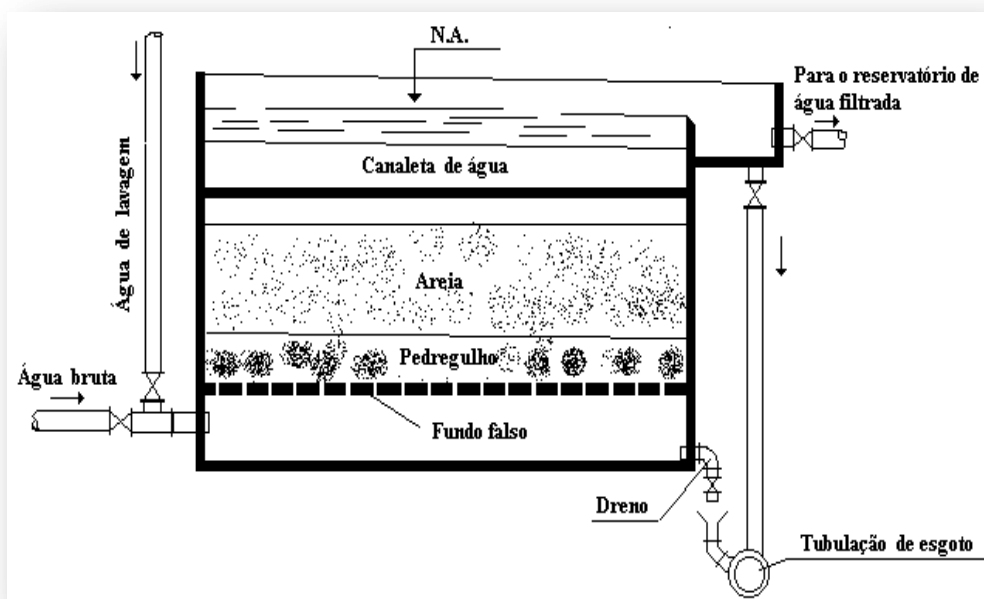


Figura 52 - Filtro upflow, filtro russo ou clarificador de contato

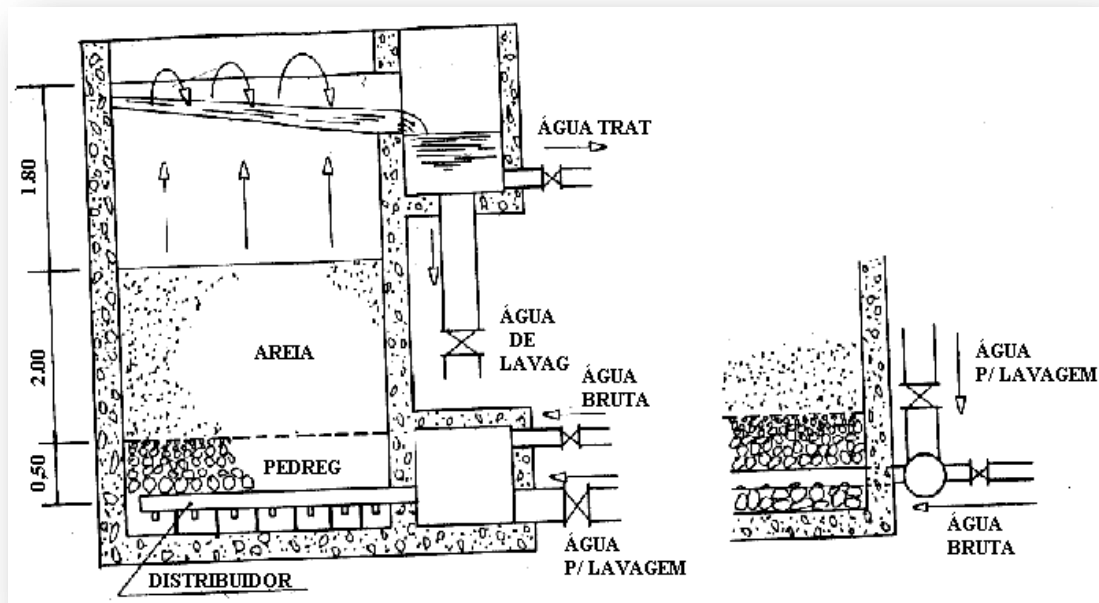


Figura 53 – Filtro Russo

4.5.5.6 Filtração Lenta

É usada para remoção de teores pouco elevados de cor e turbidez (cor + turbidez $\leq 50 \text{ mg L}^{-1}$) sem auxílio de coagulação. Geralmente são aplicados em pequenas comunidades. Tem forma retangular em grande parte e, devido baixa taxa de filtração, são relativamente grandes.

Durante a filtração a taxa é normalmente mantida constante. Usualmente, tanto a tubulação influente quanto a efluente são equipadas com válvulas automáticas ou manuais para fazer com que as taxas de filtração permaneçam constantes.

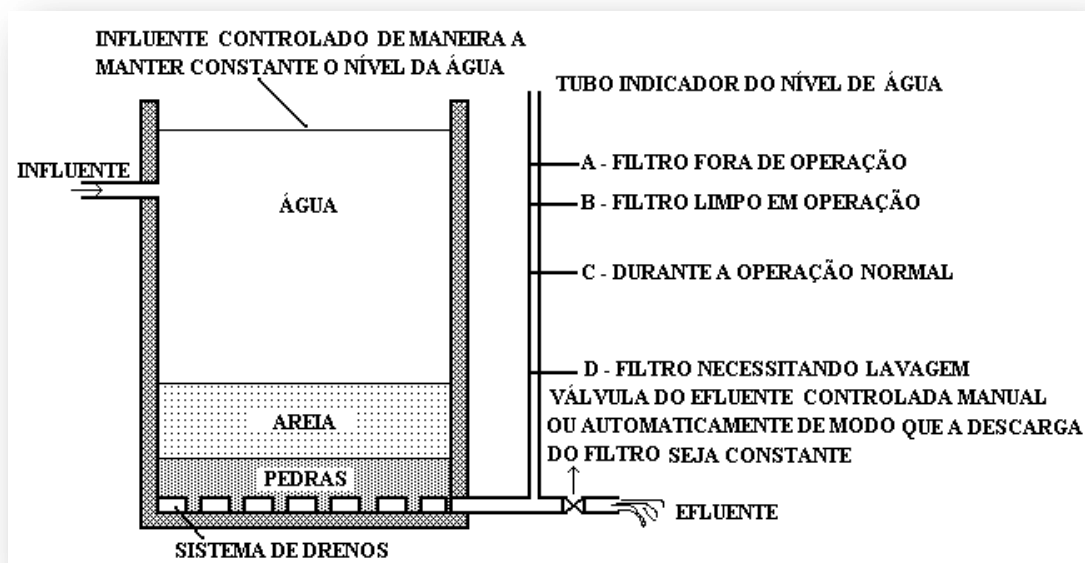


Figura 54 - Filtro de areia, diagrama da seção

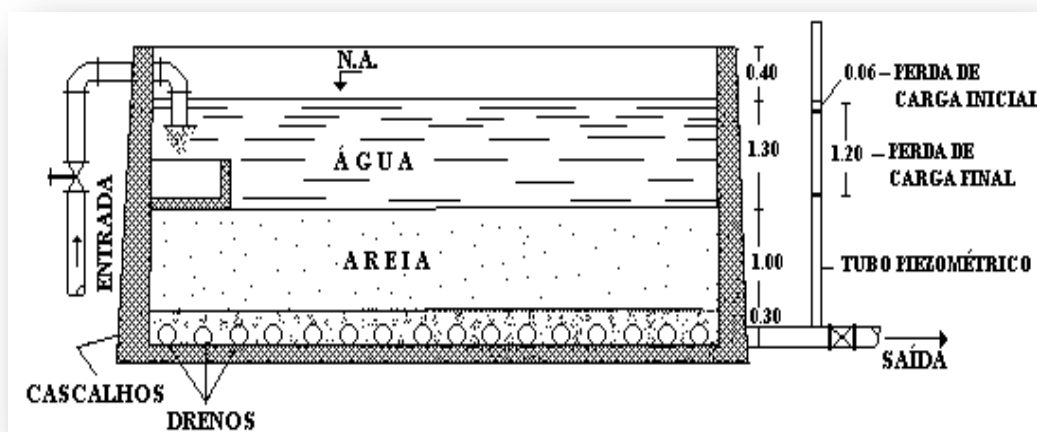


Figura 55 – Corte longitudinal de um filtro lento

A Figura 54 mostra um diagrama da seção transversal de um filtro, ilustrando a sua operação. Admita-se que o filtro tenha sido limpo, preenchido com água e esteja pronto para entrar em operação, com a válvula da tubulação efluente fechada. Se um tubo piezométrico for colocado nessa linha, antes da válvula, o nível de água neste tubo estará exatamente ao mesmo nível da água acima da areia como indicada pelo ponto A no diagrama.

Operação do Filtro Lento: após carregar o filtro, abre-se o influente e a descarga.

A água no início da operação não é de boa qualidade e deve ser desprezada até que na descarga apresente-se com a qualidade desejada.

Amadurecimento do Filtro: a medida que o filtro funciona pela descarga, a areia vai retendo o material mais grosso em suspensão: algas, protozoários, etc, que vai formando sobre ela uma camada de lodo (camada biológica).

A medida que ela se forma, por ser gelatinosa vai absorvendo partículas menores (colóides, emulsóides, etc) e melhorando a qualidade da água. Só quando a água está em boas condições pelo tratamento, fecha-se a descarga e abre-se o efluente enviando a água para o reservatório de distribuição, depois de clorada e corrigido o pH. A operação de amadurecimento pode levar de 2 à 3 semanas e o filtro assim operado pode fornecer água de boa qualidade por 2 à 3 semanas.

Perda de Carga: continuando a filtração, a camada de lodo vai aumentando e oferecendo maior resistência à passagem da água (perda de carga) e o filtro vai perdendo vazão. Quando a perda de carga atingir de 0,90 à 1,50 m (limite comum 1,20) o filtro deve ser lavado, pois já não oferece vazão econômica.

Lavagem do Filtro Lento: ao atingir o limite de perda de carga, fecha-se o influente e deixa-se que a água seja drenada através do filtro. Ao atingir a superfície da areia, fecha-se o efluente. Exposta ao sol, a camada de lodo se contrai formando placas que podem ser facilmente removidas; ou retira-se uma camada (enquanto úmida) de 1 à 2 cm de areia com lodo de toda a superfície filtrante. O filtro pode ser limpo diversas

vezes antes da reposição de qualquer areia retirada; entretanto, recomenda-se que a profundidade de areia no filtro nunca deve ser menor do que 60 à 75 cm, uma vez atingida essa profundidade, toda areia removida, em diversas limpezas, deve ser lavada e estocada para posterior recolocação.

5 Processos unitários de tratamento terciário de água e efluentes

5.1 Precipitação Química

Os processos de coagulação/floculação, seguidos de sedimentação ou flotação, se aplicam à remoção de material insolúvel em suspensão, de origem orgânica e inorgânica. Já a precipitação química se aplica à remoção de material inorgânico dissolvido no efluente, em particular os metais pesados, presentes em elevados teores em efluentes de indústrias metalúrgicas, mecânicas e galvanoplastias. Nestas indústrias a remoção de metais é o alvo principal do tratamento.

Em geral os metais são solubilizados em condições ácidas e precipitam em condições alcalinas. A precipitação de metais ocorre pela formação de hidróxidos metálicos, devendo ser verificada a curva de solubilidade dos metais (pH x solubilidade). A maior dificuldade é a precipitação concomitante de diversos metais, sem que as curvas de solubilidade apresentem coincidências entre as concentrações mínimas. Deve-se observar também se as concentrações mínimas obtidas pelo tratamento, quando a precipitação ocorre em um pH comum a diversos metais, são inferiores aos limites estabelecidos para lançamento nos corpos receptores ou na rede coletora. A precipitação de metais na forma de sulfetos é também muito eficiente, posto que sulfetos metálicos apresentam solubilidade muito baixa. No entanto, o processo exige cuidados, pois há risco de emissão de gás sulfídrico (H_2S).

5.1.1 Oxidação de sulfetos

Os sulfetos são comumente encontrados em despejos provenientes de curtumes, devido a utilização do sulfeto de sódio e cal para desprender pêlos e outras partículas fibrosas da pele. Este processo é denominado banhos de caleiro. A concentração de sulfetos residual fica em valor igual ou superior a 50% do banho original.

Os sulfetos são tóxicos, corrosivos e causam sérios problemas de odores, sendo que sua toxicidade aumenta, diminuindo o pH. Nas estações de tratamento de efluentes impede a floculação e devem ser removidos antes do sistema biológico. Lançados em corpos d'água, provocam, além da ação tóxica, devido a sua ação redutora, diminuição do oxigênio dissolvido.

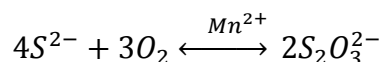
O tratamento pode ser realizado por precipitação ou oxidação. A segunda alternativa é a mais utilizada, porque apresenta maiores vantagens econômicas. A oxidação de sulfeto a tiosulfato é efetuada através da introdução de ar nos banhos residuais em separado, onde possa ser utilizado o sal de manganês como catalisador. A

quantidade de catalisador é de 0,15 kg Mn^{2+} $kg^{-1} S^{2-}$ ou ainda 0,325 kg $MnSO_4 \cdot H_2O$ m^{-3} e o tempo de reação fica entre 8 e 10 horas.

Para garantir completa oxidação, é recomendado usar a seguinte relação: 1,0 kg S^{2-} $kg^{-1} O_2$. Sem a utilização de catalisador, o tempo de reação fica entre 20 e 24 horas.

Reação:

Oxidação de sulfeto S^{2-} a tiosulfato $S_2O_3^{2-}$



A oxidação pode ser realizada também através de agentes oxidantes como o cloro, peróxido de hidrogênio, ozônio, permanganato de potássio, etc., sendo o alto custo, o maior inconveniente para a adoção destes reagentes.

Na precipitação dos sulfetos pode ser utilizados sulfato ferroso e aeração. Pode ser também utilizado o cloreto férrico. Estes reagentes, além de precipitar os sulfetos, promovem a coagulação-floculação dos sólidos coloidais e em suspensão.

O dimensionamento do tanque para precipitação de sulfetos e sólidos coloidais e em suspensão segue os princípios da coagulação-floculação. Deve-se lembrar que a oxidação dos sulfetos pode ser realizada em conjunto com os demais despejos no tanque de equalização.

Exemplo:

Dimensionar um tanque de oxidação de sulfetos em separado para um curtume cujo volume de banhos residuais do caleiro é de 40 $m^3 d^{-1}$ e são encontrados cerca de 50 kg de sulfetos, e será utilizado catalisador para acelerar a reação.

Solução:

- Volume do tanque (V) para um tempo de detenção de 9 horas

$$V = Q (m^3 h^{-1}) \cdot t (h)$$

$$V = \underline{\hspace{2cm}} (m^3 h^{-1}) \cdot \underline{\hspace{2cm}} (h)$$

$$V = \underline{\hspace{2cm}} m^3$$

- Dimensões

$$V = L^2 \cdot H$$

H é a profundidade útil do tanque adotado em 2,0 metros

$$\underline{\hspace{2cm}} = L^2 \times \underline{\hspace{2cm}}$$

$$L = \underline{\hspace{2cm}} m$$

As dimensões úteis serão $\underline{\hspace{2cm}} m \times \underline{\hspace{2cm}} m \times \underline{\hspace{2cm}} m$.

- Vazão de ar, caso sejam usados difusores de bolhas finas (Q_{ar})

O oxigênio requerido é igual a 50 kg de O_2 (igual à mesma quantidade de sulfetos, ou seja, 1,0 kg de O_2 para 1,0 kg de S^{2-}).

Considerando-se a taxa de transferência de oxigênio para a massa líquida nas condições reais é de 10% e que 1,0 m^3 de ar contem 0,28 kg de O_2 , serão transferidos 0,028 kg $O_2 m^{-3}$ de ar, logo a vazão de ar (Q_{ar}) será:

$$\begin{array}{rcl} 1 \text{ m}^3 \text{ de ar} & \text{-----} & 0,028 \text{ kg O}_2 \\ Q_{\text{ar}} & \text{-----} & 50 \text{ kg O}_2 \end{array}$$

$$Q_{\text{ar}} = 1786 \text{ m}^3 \text{ de ar por dia}$$

Para 9 horas de reação com o uso de catalisador

$$Q_{\text{ar}} = 198,4 \text{ m}^3 \text{ de ar por hora}$$

Em função da vazão de ar, selecionam-se os difusores em catálogos de fabricantes, calcula-se o número deles e dimensionam-se a potência do soprador e as tubulações.

- Caso seja utilizado aerador de superfície, determinar a potência instalada em HP (P)

Seleciona-se o aerador, conforme catálogo fabricante. Vamos considerar que, nas condições reais, é transferido $1,0 \text{ kg O}_2 \text{ kWh}^{-1}$ para o aerador selecionado, logo em 9 horas são transferidos $9,0 \text{ kg O}_2 \text{ kWh}^{-1}$.

$$P = \frac{\text{-----} \text{ kg O}_2}{\text{-----} \text{ kg O}_2 \text{ kWh}^{-1}}$$

$$P = \text{-----} \text{ kw}$$

$$\text{Como } 1 \text{ HP} = 0,745 \text{ kw}$$

$$P = \text{-----} \text{ HP}$$

Deve-se deixar uma folga para compensar o rendimento mecânico.

Usa-se o aerador de potência imediatamente superior.

5.1.2 Oxidação de cianetos

Como os efluentes de algumas indústrias contêm, além de metais pesados, elementos tóxicos como o cianeto, faz-se necessária a oxidação desses íons, para destruir as ligações formadas entre os cianetos e os metais tóxicos a eles ligados. Deve-se ressaltar que se os metais estiverem complexados pelos cianetos, torna-se impossível a sua precipitação. Os metais mais comumente ligados ao cianeto são o zinco, o cobre, o níquel, a prata e o cádmio.

O cianeto é pelo menos cerca de mil vezes mais tóxico que o cianato. A toxidade aumenta com a elevação da temperatura e abaixamento do pH. Num pH abaixo de 8,0, o ácido cianídrico HCN se ioniza muito pouco, ou seja, a concentração do íon é baixa e de HCN é alta.

A oxidação dos cianetos ocorre pela reação do íon hipoclorito em meio alcalino, com a formação do gás carbônico e nitrogênio. Os metais após a oxidação dos cianetos tornam-se insolúveis na forma de hidróxidos. O tempo da reação é de aproximadamente 1 h, e o pH deve ser superior a 11,5 para evitar a liberação de cloreto de cianogênio (ClCN), gás extremamente tóxico e letal.

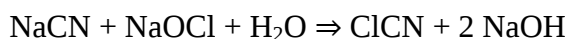
Em galvanoplastia, a oxidação pode ser efetuada em uma única etapa até a formação do cianato, sendo o tempo de detenção do tanque entre 20 a 40 minutos, a depender do tipo de cianeto utilizado (de sódio, de zinco, ou de cádmio 20 minutos, de

cobre 30 minutos e de prata 40 minutos) e mantido o pH igual a 12,0 ou em duas etapas, a primeira já citada e a segunda oxida o cianato até gás carbônico e nitrogênio, sendo o tempo de detenção no tanque de 40 a 50 minutos. A segunda etapa geralmente não é realizada devido à baixa toxidez do cianato quando comparada ao cianeto.

As reações típicas de oxidação são:



As reações parciais da primeira etapa são:



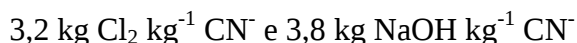
O pH deve ser mantido na faixa superior a 11,5 para evitar a liberação de cloreto de cianogênio (ClCN), gás extremamente tóxico.

Vantagens	Desvantagens
Controle de produtos químicos	Aumento da salinidade residual
Pode ter controle automático	Ajuste de pH a valores superiores a 11,5
Controlada pela medida de POR e pH(automatismo)	O excesso de cloro na etapa de neutralização pode oxidar o Cr^{+3}
Eficácia comprovada pela grande utilização e atendimento à legislação	Reação lenta
Baixo custo do tratamento	

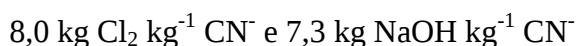
Os tanques são dimensionados conforme os tempos de detenção citados, embora os tempos de reação sejam menores. Deverão ser dotados de agitadores e as dosagens de alcalinizantes serão comandados pelos aparelhos que controlam o pH enquanto que as dosagens de oxidantes pelos aparelhos que controlam o potencial de oxi-redução (POR).

Devem-se usar as seguintes relações para cada kg de cianeto presente no efluente:

- Para reação até cianeto



- Para reação até CO_2 e N_2



No caso de usar hipoclorito, deve-se levar em conta a quantidade de cloro, geralmente 10% em volume.

Exemplo:

Determinar a quantidade de hipoclorito de sódio necessária para oxidar os cianetos dos efluentes de uma galvanoplastia, com vazão média de $10 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, funcionando 8 horas por dia. Através de análise, constatou-se concentração de 30 mL L^{-1} ($0,030 \text{ kg m}^{-3}$) de cianeto no efluente, pretendendo-se oxidar até cianato.

Solução:

- Quantidade diária de cianeto (C)

$$C = \text{_____ m}^3 \text{ d}^{-1} \times \text{_____ kg m}^{-3}$$

$$C = \text{_____ kg d}^{-1}$$

- Quantidade de hipoclorito de sódio NaClO

Se para oxidar 1 kg de cianeto até cianato são necessários 3,2 kg de Cl₂ ou 32 L de NaClO a 10% em volume, temos:

$$\begin{array}{rcl} 1 \text{ kg CN}^- & \text{_____} & 32 \text{ L NaClO a 10\%} \\ 2,40 \text{ kg CN}^- & \text{_____} & X \\ X = & \text{_____ L de NaClO a 10 \% em volume} \end{array}$$

5.1.3 Redução de cromo hexavalente

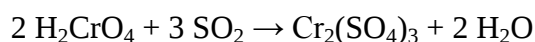
A utilização de cromo hexavalente nos banhos de galvanoplastias e curtumes é a principal origem do cromo nos efluentes industriais. O cromo ainda é utilizado como componente de tintas anticorrosivas e em tratamento de águas para sistemas de resfriamento. O cromo na forma hexavalente é solúvel em pH ácido ou alcalino. Para que ocorra a sua remoção é necessário que o mesmo seja reduzido para a forma de cromo trivalente e precipitado como hidróxido.

No caso do íon cromato, o Cromo +6 é reduzido para o estado de oxidação +3 pela ação do dióxido de enxofre ou compostos derivados (bissulfitos). A redução do cromo ocorre em pH ácido, inferior a 2,5. O cromo trivalente é pelo menos 100 vezes menos tóxico que o hexavalente. Em pH igual a 3,0 o tempo de reação é de 30 minutos, abaixo de 2,5 a reação é bem mais rápida em torno de 10 minutos, tornando-se instantânea quando for igual a 2,0.

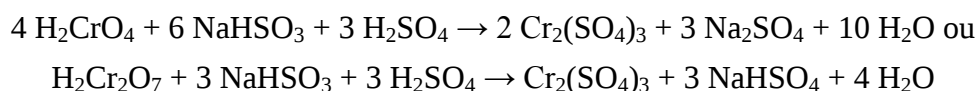
Os tanques deverão ser dotados de agitadores e as dosagens de acidificantes serão comandados pelos aparelhos que controlam o pH enquanto que as dosagens de redutores pelos aparelhos que controlam o potencial de oxi-redução (POR).

A relação entre as quantidades de bissulfito de sódio e de cromo hexavalente é de 5,36 kg de bissulfito para cada kg de cromo.

As reações apresentadas a seguir:



As reações de redução com a utilização de bissulfito são apresentadas a seguir:



Pelas reações apresentadas 3 g de bissulfito de sódio podem reduzir 1 g de cromo hexavalente. Deve-se considerar o consumo de bissulfito devido à presença de compostos orgânicos oriundos dos banhos da galvanoplastia, o que na prática pode aumentar o consumo do bissulfito.

Vantagens	Desvantagens
Controle de produtos químicos	Aumento da salinidade residual
Pode ter controle automático	Ajuste de pH a valores inferiores a 2,5
Controlada pela medida de POR(automatismo)	Necessidade de ventilação dos produtos estocados e dos reatores, devido à exalação de vapores tóxicos de SO ₂
Eficácia comprovada pela grande utilização e atendimento à legislação	O excesso de bissulfito no efluente tratado interfere positivamente na DQO
Reação muito rápida	
Baixo custo do tratamento	

Exemplo:

Determinar a quantidade de bissulfito de sódio para reduzir o cromo hexavalente a trivalente dos despejos de uma galvanoplastia, com vazão média de 8 m³ h⁻¹, funcionando 8 horas por dia. Através de análise, constatou-se concentração de 200 mg L⁻¹ (0,200 kg m⁻³) de Cr⁶⁺ no efluente.

Solução:

- Quantidade diária de Cr⁶⁺ (C)

$$C = 64 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1} \times 0,200 \text{ kg m}^{-3}$$

$$C = 12,8 \text{ kg d}^{-1}$$

- Quantidade de bissulfito de sódio NaHSO₃

Se para reduzir 1 kg de Cr⁶⁺, são necessários 5,36 kg de NaHSO₃ a 56%, temos:

$$1 \text{ kg Cr}^{6+} \quad \text{_____} \quad 5,36 \text{ kg de NaHSO}_3 \text{ a } 56\%$$

$$12,8 \text{ kg Cr}^{6+} \quad \text{_____} \quad X$$

$$X = \text{_____ kg de NaHSO}_3 \text{ a } 56\%$$

5.2 Adsorção

A adsorção tem se mostrado uma alternativa amplamente empregada na separação de componentes químicos de uma mistura fluida, quando os métodos clássicos apresentam-se inadequados ou inviáveis economicamente. Este fenômeno caracteriza-se pela existência de uma fase sólida, denominada adsorvente e de uma fase fluida denominada adsorvato. Não existe qualquer miscibilidade entre essas fases, apenas existe na interface entre as mesmas uma região de atração entre o adsorvente e algumas espécies químicas existentes na fase fluida, denominadas adsorvatos.

A adsorção resulta de uma interação favorável entre o material adsorvente e as espécies de soluto. Algumas interações podem contribuir para a adsorção e dessorção, como atração eletrostática, ligação covalente, ponte de hidrogênio, entre outras. Na adsorção de moléculas em solução sobre a superfície sólida há muitos fatores que devem ser considerados. Alguns deles são: temperatura, pH, competição com outros

solutos, quantidade de material adsorvido por unidade de massa ou área do sólido, concentração inicial de soluto necessária para produzir uma determinada cobertura (ou grau de adsorção), concentração de soluto em que ocorre a saturação da superfície, orientação das moléculas adsorvidas sobre a superfície e os efeitos da adsorção nas propriedades do sólido.

Existem substâncias que agem como adsorventes, fixando em sua superfície outras substâncias que produzem gosto, odor e matéria orgânica dissolvida. Entre as substâncias adsorventes citamos a turfa, cinza, areia, carvão vegetal, casca de extração do tanino, flocos de hidróxido férrico, trocadores iônicos granulares, zeólitas, carvão ativado, etc.

5.2.1 Adsorção química e física

A adsorção pode ser de natureza química ou física. A adsorção física ou fisissorção ocorre entre a superfície sólida e as unidades do adsorvato, onde as interações são devido às forças de van der Waals entre moléculas: são, portanto, forças relativamente fracas e o processo pode ser revertido mais facilmente. O calor de adsorção é geralmente baixo (entre 2 e 6 kcal/mol). As moléculas são atraídas para todos os pontos da superfície e não se limita apenas a uma camada. O equilíbrio é alcançado em menor tempo que na adsorção química.

Na adsorção química ou quimissorção, o adsorvato é fixado mais fortemente à superfície do adsorvente e admite-se que há combinação das espécies a serem adsorvidas com a superfície do sólido através de interações fortes (ligações iônica ou covalente polar). O calor de adsorção é mais alto que na adsorção física (geralmente acima de 20 kcal/mol). As unidades do adsorvato (moléculas, átomos, íons) não são atraídas para todos os pontos da superfície e dirigem-se para os sítios ativos. Geralmente envolvem apenas a primeira camada. Uma diferenciação das características dos dois fenômenos é apresentada na tabela abaixo:

Característica	Adsorção Física	Adsorção Química
Calor de adsorção (ΔH)	Baixo, menor que 1 – 5 vezes o calor latente de vaporização.	Alto, maior que 1 – 5 vezes o calor latente de vaporização.
Especificidade	Não específico.	Altamente específico.
Natureza da fase adsorvida	Monocamada ou multicamada; sem dissociação das espécies adsorvidas.	Somente monocamada; pode ocorrer dissociação das espécies adsorvidas.
Faixa de temperatura	Significativo somente a temperaturas relativamente baixas.	Possível em uma gama extensa de temperaturas.
Forças de adsorção	Sem transferência de elétrons, embora possa ocorrer a polarização do adsorvato.	Com transferência de elétrons (formação de ligações químicas) entre o adsorvato e a superfície.
Cinética e reversibilidade	Rápida e reversível.	Pode ser lenta e irreversível.

5.2.2 Fatores que influenciam na adsorção

Os principais fatores que afetam a capacidade de adsorção e sua cinética são:

- Velocidade de agitação: melhores resultados são obtidos quando se tem uma dispersão de partículas homogênea, porque diminui a espessura da camada-limite e aumenta a taxa de transferência de massa;
- Razão sólido-líquido: quanto mais alta a relação sólido-líquido, maior a taxa de adsorção;
- Tamanho das partículas: quanto menor o tamanho das partículas, maior é a superfície de contato e maior a taxa de adsorção;
- Concentração inicial: a taxa de adsorção é proporcional à concentração inicial usada porque esta modifica o coeficiente de difusão;
- Ionização do adsorbato: é geralmente desfavorável à adsorção por sólidos hidrofóbicos, compostos altamente ionizados são pobremente adsorvidos. Uma mudança na ionização pode afetar drasticamente a adsorção. Baixos valores de pH favorecem a adsorção de ácidos orgânicos enquanto que altos valores de pH favorecem a adsorção de bases orgânicas. O valor ótimo do pH deve ser determinado para cada adsorvato;
- Natureza do adsorvente: a estrutura química do adsorvente tem grande influência no grau de adsorção em função do tipo e posição do grupo funcional;
- Solubilidade do adsorbato: grupos polares na estrutura do adsorbato geralmente diminuem a adsorção a partir de soluções aquosas pela alta afinidade dessas espécies com a água;
- Área superficial: quanto maior a área superficial disponível para a adsorção, maior será a quantidade de adsorbato removido da solução;
- Temperatura: a adsorção é geralmente exotérmica. Na maioria dos sistemas, um aumento da temperatura implica em uma diminuição na quantidade adsorvida. A dessorção pode ser realizada com um aumento de temperatura;
- Distribuição da matéria mineral e presença de grupos polares na superfície do sólido são fatores que interferem no grau de adsorção.

5.2.3 Isotermas de adsorção

Uma isoterma de adsorção é a relação, a uma dada temperatura, entre a quantidade de espécie adsorvida na superfície e a concentração de equilíbrio da mesma na solução (ou pressão de equilíbrio no caso de gases). As isotermas podem ser obtidas experimentalmente e representadas de forma gráfica para um determinado componente.

As isotermas podem ser representadas por modelos simples que relacionam diretamente a massa da espécie adsorvida no adsorvente em função da concentração de equilíbrio da mesma na fase líquida. Os mais utilizados no estudo da adsorção monocomponente são os modelos de Langmuir e de Freundlich.

5.2.3.1 Isoterma de Langmuir

A teoria de Langmuir foi inicialmente usada para adsorção de moléculas de gás sobre superfícies metálicas. Porém esse modelo tem sido aplicado com sucesso a muitos outros processos de adsorção.

A isoterma de Langmuir é válida para adsorção em monocamada na superfície contendo um número finito de sítios. O modelo da isoterma de Langmuir segue as seguintes hipóteses:

- As moléculas são adsorvidas e aderem na superfície do adsorvente em sítios ativos definidos e localizados;
- Cada sítio ativo pode acomodar uma única espécie adsorvida (monocamada);
- A energia da espécie adsorvida é a mesma em todos os sítios da superfície e não depende da presença de outras espécies em sítios vizinhos.

Para casos em que a adsorção ocorre em fase líquida, a equação que representa a isoterma de Langmuir é dada pela Equação abaixo.

$$q_e = \frac{q_{\max} \cdot K \cdot C_e}{1 + K \cdot C_e}$$

onde q_e (mg de adsorvato/g de adsorvente) é a quantidade de adsorvato adsorvida por unidade de massa do adsorvente no equilíbrio, $q_{\max}$ (mg de adsorvato/g de adsorvente) é a quantidade máxima de material adsorvido por unidade de massa de adsorvente na qual ocorre a formação de uma monocamada completa do adsorvato, K (L mg⁻¹ de adsorvato) é a constante da isoterma de Langmuir relacionada com a energia de adsorção e C_e (mg de adsorvato/litro de solução) é a concentração de adsorvato na fase líquida (não adsorvida) no equilíbrio.

A Equação acima pode ser rearranjada, obtendo-se assim a seguinte forma linearizada:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{\max} \cdot K} + \frac{C_e}{q_{\max}}$$

onde podemos obter facilmente os parâmetros de Langmuir $q_{\max}$ e K pelos coeficientes angular e linear, respectivamente. Os parâmetros K e $q_{\max}$ são constantes (para uma determinada T) que apresentam significado físico. O parâmetro K representa a razão entre as taxas de sorção e dessorção. Altos valores de K indicam forte afinidade do adsorvato pelos sítios do material adsorvente. O parâmetro $q_{\max}$ representa (indiretamente) o número total de sítios disponíveis no material adsorvente.

5.2.3.2 Isoterma de Freundlich

A equação de Freundlich foi desenvolvida com o objetivo de suprir a limitação da equação de Langmuir de assumir que a adsorção em um ponto da superfície do sólido adsorvente não influencia na adsorção do ponto (sítio) vizinho e que cada sítio pode reter somente uma unidade do adsorvato, sendo que na realidade o calor de adsorção depende da concentração de adsorvato na fase sólida.

O modelo é representado por uma equação empírica que considera a existência de uma estrutura em multicamadas e não prevê a saturação da superfície baseada no processo de adsorção, sendo útil para descrever a adsorção em superfícies altamente heterogêneas. Ela corresponde a uma distribuição exponencial de vários sítios de adsorção com energias diferentes.

O modelo de Freundlich pode ser representado pela Equação abaixo:

$$q_e = K_F \cdot (C_e)^{1/n}$$

onde K_F é a constante relacionada à capacidade do adsorvente e n é a constante relacionada à intensidade de adsorção. A Equação acima pode ser linearizada de maneira que os parâmetros de Freundlich possam ser determinados pelos coeficientes angular e linear:

$$\log q_e = \log K_F + \left(\frac{1}{n}\right) \cdot \log C_e$$

A desvantagem desta isoterma empírica é que ela não se reduz à Lei de Henry a concentrações próximas de zero e sua aplicabilidade é restrita a um intervalo de concentração limitado. O expoente n indica se a isoterma é favorável ou desfavorável. Valores de n no intervalo de 1 a 10 representam condições favoráveis de adsorção.

5.2.4 Cinética de adsorção

O conhecimento da cinética de adsorção representa o primeiro passo para investigar as possibilidades de uso de um adsorvente em um determinado processo de separação. O conhecimento da cinética de adsorção serve para examinar o mecanismo que controla o processo de adsorção, sendo que vários modelos cinéticos podem ser testados para interpretar os dados experimentais. Uma boa correlação dos dados experimentais cinéticos com o modelo testado revela o mecanismo de adsorção. A cinética permite ainda determinar a quantidade de soluto que é retirada de uma solução com relação ao tempo, o que é de grande importância quando se deseja projetar um sistema de tratamento de efluentes por adsorção. A sequência de etapas individuais do mecanismo de adsorção em sólidos porosos consiste em:

- Transporte das espécies de adsorbato do interior da fase fluida até a camada limite adjacente ao sólido;
- Movimento das moléculas através da camada limite até a superfície externa do sólido e adsorção nos sítios superficiais externos;
- Difusão das moléculas no interior dos poros do sólido;
- Adsorção das moléculas nos sítios disponíveis na superfície interna do sólido.

A primeira etapa pode ser afetada pela concentração do adsorvato e pela agitação do meio, portanto, um aumento da concentração de adsorvato pode acelerar o transporte de adsorvato da solução para a superfície do sólido. A segunda etapa é dependente da natureza das espécies do adsorvato e a terceira etapa é geralmente considerada a etapa determinante, especialmente no caso de adsorventes microporosos.

Uma ou mais dessas etapas pode ser a etapa limitante do processo de adsorção, o qual poder ser modelado de maneira empírica ou fenomenológica.

A velocidade específica de adsorção de poluentes pode ser afetada, entre outros, pela temperatura, pH, concentração de sais, concentração inicial, agitação, tamanho das partículas e distribuição de tamanho dos poros do sólido adsorvente.

5.2.5 Adsorção em carvão ativado

Freqüentemente, depois do tratamento secundário, coagulação, sedimentação e filtração, ainda temos presente no efluente compostos orgânicos solúveis que não são biodegradáveis que são responsáveis por odores e sabores não desejáveis. Esses compostos, em geral, podem ser detectados pelo teste de DQO, podendo ser removidos por adsorção em carvão ativado. Além desses compostos, o processo de adsorção em carvão ativado pode ser empregado na redução de micropoluentes orgânicos e metais pesados (prata e mercúrio são completamente removidos, já o chumbo e o cobre são reduzidos a níveis aceitáveis).

O carvão ativado é uma substância adsorvente, possuindo uma elevada área superficial muito porosa, com a grande vantagem de possibilidade de regeneração, ou seja, é possível reativar seu poder de adsorção.

O carvão ativado é preparado a partir de matérias primas carbonáceas como ossos, madeira, carvão mineral e outros materiais. O processo de ativação térmica consiste na desidratação e carbonização seguida da aplicação de vapor. Após o processo térmico obtém-se uma estrutura bastante porosa com elevada área superficial. Depois de saturado, o carvão pode ser reativado através de aquecimento à temperatura e sob atmosfera adequada, de modo a desobstruirmos os poros. O material adsorvido é queimado e o carvão ativado recupera a sua capacidade inicial.

Pode-se empregar duas formas de carvão: em grãos ou em pó. A forma mais empregada é o carvão ativado granular, que possui um tamanho de partícula superior a 0,1 mm e é mais fácil de regenerar.

A economia do processo de adsorção depende da possibilidade de recuperação do carvão ativado, devendo-se ter em conta que em 10 a 14 regenerações há uma perda de 7 a 10% e uma ligeira diminuição de sua capacidade de adsorção. Existe ainda o problema da disposição final do carvão exaurido e não reciclável.

Além de remover as substâncias citadas acima, remove também cor (característica física, devido à existência de matéria dissolvida), fenóis (50 kg de carvão para cada 5 a 12 kg de fenóis), nutrientes (fosfatos, nitratos), sólidos em suspensão, matéria orgânica não biodegradável, etc. Os processos de remoção de gosto e odor são utilizados no tratamento de água potável. No tratamento de águas industriais é empregado para remover cloro residual antes do processo de desionização para não prejudicar as resinas de troca iônica.

Na remoção de matéria orgânica dissolvida, além da adsorção, há também a assimilação através de microorganismos, em que o carvão serve de suporte para o desenvolvimento e adaptação e contribui para regenerar o carvão, embora essa não seja a principal finalidade. No caso de tratamento físico-químico por coagulação-floculação, em que a eficiência de remoção do substrato não atinge valores satisfatórios como nos

sistemas biológicos, é possível obter um tratamento completo, combinando-se um sistema de carvão ativado à jusante. O mesmo procedimento pode ser utilizado para efluente tratado de sistemas biológicos, objetivando obter um clarificado de melhor qualidade. O tempo de contato no leito de carvão é de 15 a 40 minutos, sendo anteriormente filtrado. No tratamento de águas industriais, o tempo de contato é bem menor, cerca de 5 minutos. O leito de carvão ativado deve ser periodicamente lavado para desobstrução.

5.2.6 Troca Iônica

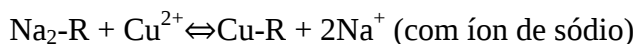
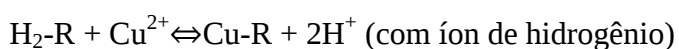
A troca iônica ocorre quando a reação entre o soluto e a matriz adsorvente de uma ou diversas espécies iônicas é acompanhada pela simultânea desorção de uma quantidade equivalente de espécies iônicas.

O processo de troca iônica é amplamente conhecido e utilizado no tratamento de águas e efluentes, sendo que suas principais aplicações são: abrandamento (remoção de Ca^{2+} e Mg^{2+}), remoção de metais pesados, sólidos dissolvidos e nitrogênio. Este processo consiste em uma tecnologia atrativa especialmente quando minerais de baixo custo podem ser utilizados como materiais trocadores de íons.

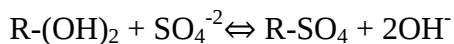
O processo de troca iônica tem sido aplicado na recuperação e purificação de materiais radioativos existentes em resíduos radioativos (por ex: ^{137}Cs e ^{90}Sr), bem como na remoção de poluentes de efluentes industriais (sulfato de zinco, cádmio, níquel, etc. e cromatos). A utilização de resinas de troca iônica para a remoção de poluentes em efluentes industriais tem um grande potencial de aplicação.

As resinas sintéticas são obtidas através da polimerização de vários compostos orgânicos, sendo os mais usados os copolímeros de estireno e divinilbenzeno numa proporção de 80 – 98% e 2 – 20%, respectivamente. Através de um processo de sulfonação da matriz (material resultante da polimerização) obtemos as resinas catiônicas. Já as resinas aniônicas são, em sua maioria, obtidas por clorometilação e aminação.

Ex: resina catiônica - remove os cátions (Zn^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Mg^{2+} , etc.)



Ex: resina aniônica - remove os ânions (SO_4^{2-} , CrO_4^{2-} , etc.)



Existem duas características importantes para qualquer reação de troca iônica: a troca equivalente entre íons (equivalência de cargas elétricas) e a preferência relativa de cada material por íons distintos. O sentido das reações de troca iônica depende principalmente da afinidade da resina pelos diversos íons em solução, o que é chamado de seletividade da resina. A seletividade depende de fatores externos como pressão e temperatura, mas está ligada principalmente à natureza e valência do íon, ao tipo de resina (macro ou gel), ao seu grau de saturação e à concentração iônica da solução aquosa.

Em geral, a resina catiônica tem mais afinidade por cátions de maior valência e entre os de mesma valência, a resina tem maior afinidade por cátions maiores. Por exemplo: $\text{Ba}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{H}^+$ (seletividade em ordem decrescente). A seletividade nas resinas fortemente básicas (resina aniônica) será pelos ânions fortes (sulfato, cloreto, nitratos) sobre os fracos (carbonatos, bicarbonatos, silicatos), indicando que a retenção preferencial será dos ânions fortes em detrimento dos fracos, que poderão ser deslocados por aqueles.

As resinas, quando perdem sua capacidade de troca, podem ser regeneradas. No caso dos trocadores catiônicos, antes se faz a lavagem da coluna em contracorrente para retirar os sólidos, e logo após, com uma solução de cloreto de sódio (NaCl) ou com uma solução de ácido (H_2SO_4 ou HCl), enquanto nas aniônicas a regeneração é feita pela lavagem da coluna com solução de soda (NaOH) à quente.

Do processo de regeneração, gera um pequeno volume de líquido com alta concentração de contaminantes que pode ser recuperada. Caso não seja possível sua recuperação, o mesmo deverá ser disposto adequadamente como resíduo perigoso.

Quando na solução são encontrados cátions e ânions, se utilizam trocadores em série. A Figura 56 mostra o diagrama de um sistema de troca iônica para tratar água residuária de galvanoplastia recuperando o ácido crômico (H_2CrO_4).

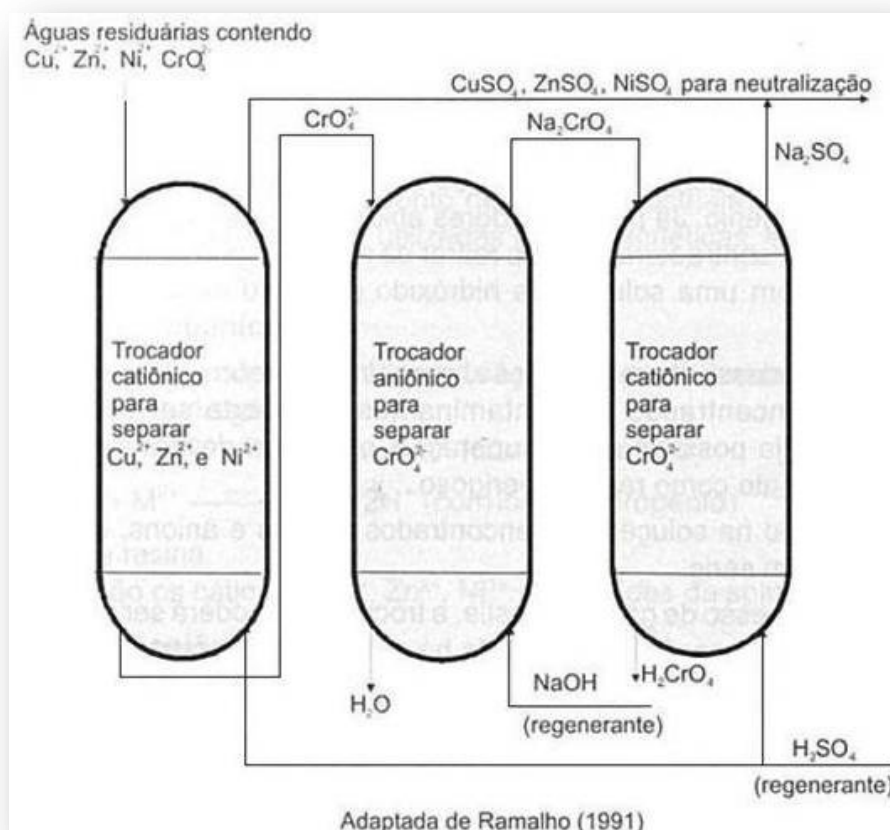


Figura 56: Sistema de troca iônica para recuperar ácido crômico H_2CrO_4 .

No primeiro trocador é separado os cátions Cu^{2+} , Zn^{2+} e Ni^{2+} e o cromato CrO_4^{2-} é recuperado no segundo, situado logo após. Na regeneração do trocador aniônico com

solução de hidróxido de sódio NaOH a 10% o efluente contém cromato de sódio Na_2CrO_4 . No terceiro trocador é recuperado o cromato CrO_4^{2-} como ácido crômico H_2CrO_4 . Os primeiro e terceiro trocadores são regenerados com solução de ácido sulfúrico H_2SO_4 a 5%. Os efluentes ácidos da regeneração dos trocadores catiônicos, após serem misturados, serão encaminhados para tanque de neutralização.

5.3 Remoção de nutrientes

Certamente, a eliminação de compostos orgânicos biodegradáveis, especificamente, compostos de carbono, constitui aspecto fundamental do tratamento biológico de efluentes. Porém, uma outra forma de poluição, que também deve ser eliminada, é causada pelos compostos contendo nitrogênio e fósforo. Os compostos nitrogenados (orgânicos e inorgânicos), lançados nos cursos receptores podem causar significativa demanda de oxigênio, além de a amônia ser tóxica para diversas espécies aquáticas. A remoção de nutrientes, compostos de fósforo e nitrogênio, é um procedimento de utilização mundialmente crescente, face os problemas de eutrofização dos corpos receptores estagnados causada por efluentes parcialmente tratados.

O fósforo apresenta-se no despejo a ser tratado nas seguintes formas: compostos inorgânicos em solução; polifosfatos e ortofosfatos (geralmente introduzidos pelos produtos de limpeza); compostos orgânicos dissolvidos ou em suspensão; fosfolipídios, ésteres, polinucleotídeos, ATP, ADP, AMP. Enquanto o nitrogênio apresenta-se no despejo a ser tratado na forma de amônia residual ou compostos orgânicos não transformados, nitritos e nitratos.

5.3.1 Remoção de nitrogênio

Os compostos de nitrogênio em despejos domésticos advêm principalmente da decomposição biológica de proteínas e da uréia, sendo denominados de nitrogênio orgânico. Este pode ser convertido biologicamente em amônia livre (NH_3) ou em íon amônio (NH_4^+).

O tempo de contato na maioria dos sistemas de tratamento secundário é suficiente para completar a conversão do nitrogênio orgânico em amônia, mas não é suficiente para uma nitrificação significativa. Os métodos para remoção de nitrogênio são:

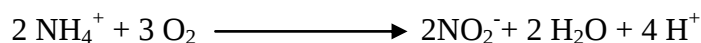
- remoção química
- remoção biológica

A remoção biológica se baseia em dois processos principais: i) a transformação da amônia gerada na degradação da matéria orgânica em nitrito e nitrato pela ação de dois grupos de bactérias, *Nitrosomonas* sp. e *Nitrobacter* sp. em meio aeróbio; e ii) a transformação dos nitratos em nitrogênio molecular pela ação de diversos grupos de bactérias, em especial os gêneros *Achromobacter*, *Aerobacter*, *Alcaligenes*, *Micrococcus*, *Proteus*, *Pseudomonas* e *Spirillum*. Essa reação, denominada

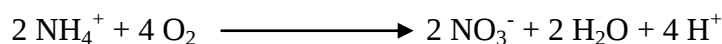
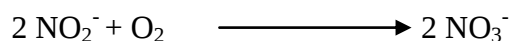
desnitrificação, ocorre em ausência de oxigênio, em condições anóxicas (em ausência de oxigênio).

1ª etapa: Nitrificação

Nitrosomonas

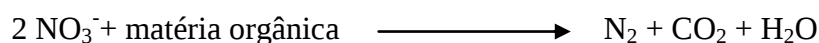


Nitrobacter

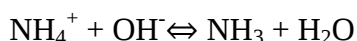


2ª etapa: Desnitrificação

grupo de bactérias



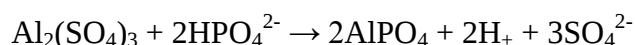
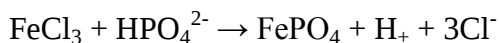
O nitrogênio também pode ser removido quimicamente através do aumento do pH, que leva o íon amônio a amônia e esta pode ser removida da água fazendo-se passar ar através da água (stripping).



5.3.2 Remoção de fósforo

A coagulação química e posteriormente a precipitação do fósforo é o método mais eficaz para a remoção deste nutriente dos esgotos sanitários ou efluentes industriais. Outro processo igualmente eficaz é a eletrocoagulação. Em ambos os casos a reação mais comum ocorre entre o íon férrico e o íon fosfato, com a consequente precipitação do fosfato férrico. A reação ocorre também com o íon alumínio, por coagulação ou por eletrocoagulação.

A aplicação de polieletrólitos é também recomendada. As reações com cloreto férrico, sulfato de alumínio e hidróxido de cálcio estão representadas a seguir.



Aplicação dos agentes químicos é feita no decantador primário ou no decantador secundário, dependendo da concepção do projeto e das características dos efluentes e do resultado final desejado.

No caso dos efluentes industriais, quando há clarificação dos efluentes à montante das etapas biológicas de tratamento, ocorre também a remoção do fósforo. Assim esse nutriente fica indisponível para a etapa biológica do processo, sendo necessária a sua adição conforme a proporção com a carga orgânica (relação DBO: N: P). Pode ocorrer também a precipitação química do fósforo pela reação com o cálcio e o magnésio presentes nos efluentes (dureza).

A exposição do licor misto (biomassa) a uma sequência anaeróbia/aeróbia no reator biológico seleciona micro-organismos que acumulam altos níveis de fósforo intracelular (como por exemplo, bactérias *Acinetobacter sp.*). Na etapa ou zona anaeróbia, microrganismos que removem fósforo são capazes de assimilar ácidos graxos voláteis (AGV) e outros produtos de fermentação sob condições anaeróbias e o fósforo é liberado para produzir a energia necessária para conversão e estocagem de poli- β -hidroxibutirato. Na etapa ou zona aeróbia, os microrganismos que removem fósforo produzem energia oxidando os produtos estocados enquanto acumulam fósforo intracelularmente. A habilidade destes microrganismos para assimilar rapidamente os produtos de fermentação sob condições anaeróbias dá a eles vantagens competitivas sobre os outros microrganismos e resulta em seu crescimento preferencial no sistema de tratamento. O fósforo acumula na biomassa como polifosfato e é removido na forma de lodo ativado residual. Ocorre um aumento do teor inorgânico do lodo, mas sem aumento da produção de lodo.

Portanto, para a remoção biológica conjunta de nitrogênio e fósforo, zonas ou etapas anaeróbia, aeróbia e anóxica devem existir no reator ou sistema de tratamento.

5.4 Processos Oxidativos Avançados

A separação física de sólidos suspensos e óleos e graxas e os tratamentos biológicos têm se mostrado sistemas extremamente confiáveis e econômicos na maioria dos casos (águas residuárias municipais, efluentes do processamento de alimentos, etc.). Existem, contudo, casos em que a eficiência destes tratamentos é bastante reduzida (substâncias solúveis na separação física, substâncias não biodegradáveis e/ou tóxicas nos processos biológicos). Neste último caso, comum em águas residuárias da indústria química, diferentes processos químicos, a maioria deles baseados em reações de oxidação-redução, estão sendo aplicados.

Processos como cloração, ozonização, irradiação com raios ultravioleta e processos baseados no ataque de radicais hidroxila têm sido investigados em busca de melhores eficiências na eliminação destas substâncias tóxicas. A maioria destes tratamentos têm se mostrado merecedores de destaque, atingindo bons resultados na destruição de poluentes. A maioria da pesquisa neste campo está dirigida para a mineralização dos poluentes (conversão da matéria orgânica em CO_2 e água), até mesmo empregando doses maciças de agentes oxidantes.

A vantagem básica dos processos oxidativos está no fato de serem processos destrutivos, quando comparados com processos físicos, tais como precipitação e adsorção, que apenas transferem os poluentes de uma fase aquosa para uma segunda fase. Entretanto, em alguns casos a oxidação química pode ter tanto uma velocidade de reação lenta quanto uma baixa seletividade, acarretando necessidade de reatores de grandes dimensões ou aumentando o custo com oxidantes. Por sua vez, a oxidação biológica aeróbia é limitada quando a alimentação é recalcitrante à biodegradação, e/ou inibitória e tóxica à biocultura. Este é um caso típico em que a integração dos processos

oxidativos com processos biológicos é conceitualmente vantajosa. Efluentes deste tipo poderão ser pré-tratados por oxidação, para produzir compostos biogênicos.

Nos processos de oxidação química, os mecanismos de reação mudam a estrutura e as propriedades químicas das substâncias orgânicas. As moléculas são quebradas em fragmentos menores e elevadas porcentagens de oxigênio aparecem nestas moléculas na forma de alcoóis, ácidos carboxílicos, etc. que, na maioria dos casos, são mais facilmente biodegradáveis do que os compostos de origem. Esta é a idéia geral que faz com que alguns pesquisadores pensem numa combinação de um processo de oxidação química seguido de um biológico.

Os Processos Oxidativos Avançados (POA) têm como principal característica a geração de radicais hidroxilas ($\text{HO}\bullet$), que são reativos e não seletivos. Quando gerados, os radicais hidroxilas reagem rapidamente e indiscriminadamente com muitos compostos orgânicos, este radical pode reagir com a matéria orgânica propiciando uma série de reações de degradação terminando nos produtos de mineralização, como CO_2 e H_2O .

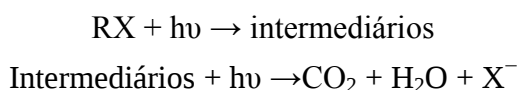
O radical hidroxila ($\text{HO}\bullet$) apresenta alto poder oxidante ($E^\circ \sim +2,8\text{V}$, 25°C) e baixa seletividade, possibilitando a transformação de um grande número de contaminantes tóxicos, em tempos relativamente curtos.

Espécie	Potencial de Redução (V, 25°C)
F	3,06
$\text{HO}\bullet$	2,8
O (oxigênio atômico)	2,42
O_3	2,07
H_2O_2	1,77
KMnO_4	1,67
Cl_2	1,36

A maneira como o radical $\text{HO}\bullet$ é gerado varia entre os POAs, o que permite que se escolha o processo adequado para cada situação/efluente. Os POAs dividem-se em sistemas homogêneos e heterogêneos, onde o radical hidroxila é gerado com ou sem irradiação ultravioleta. Alguns destes já são disponíveis comercialmente, como o reagente de Fenton, combinações entre $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ e fotocatalise heterogênea, enquanto outros estão sendo avaliados em escalas piloto e em laboratórios, como o ultra-som.

5.4.1 Oxidação utilizando radiação UV (fotólise)

A fotólise direta envolve a interação da luz com as moléculas, provocando a dissociação destas em fragmentos com a seguinte rota de mecanismo:



Nestas equações RX representa um composto halogenado e X^- representa o ânion do halogênio.

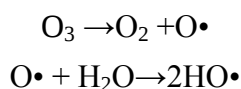
Muitas plantas para tratamento de águas de abastecimento, nas quais a etapa de desinfecção é feita com radiação UV, já estão em funcionamento na Europa, EUA e Canadá.

A radiação UV foi introduzida com o propósito de se diminuir a quantidade de cloro utilizada, uma vez que estas forma substâncias denominadas trihalometanos (THM) durante o processo.

5.4.2 Oxidação utilizando O_3

O conhecimento do poder oxidativo do ozônio data de praticamente um século. A utilização do ozônio para a desinfecção de água potável é conhecida desde o século passado, mais precisamente em 1906, em Nice na França. Atualmente o ozônio vem sendo utilizado também para outros fins, como: oxidante no controle da flora e odor, remoção da cor, remoção de ferro e manganês e no auxílio da floculação. O ozônio é um agente de oxidação muito poderoso ($E^\circ = + 2.07 \text{ V}$) que pode reagir com a maioria das espécies que contém ligações múltiplas (tais como $C=C$, $C=N$, $N=N$, etc.).

O ozônio molecular reage diretamente com as substâncias orgânicas presentes no meio, oxidando-as. Contudo, a reação direta é seletiva e somente parte dos componentes orgânicos são degradados. Normalmente, a ozonização direta ocorre em valores de pH ácidos ($\text{pH} < 4$). A reação indireta envolve radicais livres. O primeiro passo é o decaimento do ozônio para formar oxidantes secundários como o radical $HO^\bullet$, de grande poder oxidativo e que reage não seletivamente e imediatamente com compostos presentes em solução, como ilustram as equações abaixo:



A taxa de geração destes radicais é dependente do pH do meio, sendo que a reação indireta apresenta melhores resultados em valores de pH alcalinos ($\text{pH} > 9$).

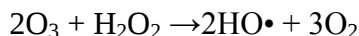
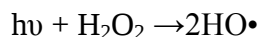
Os radicais formados reagem com as substâncias orgânicas presentes, formando compostos cada vez mais oxidados, de menor massa molar. O processo pode levar a mineralização total das substâncias orgânicas ou a intermediários que, muitas vezes, apresentam maior biodegradabilidade. A eficiência do processo será dependente do pH e das substâncias orgânicas presentes.

O processo oxidativo utilizando ozônio muitas vezes vem acoplado a outros processos como, por exemplo, processos biológicos e membranas. A ozonização pode ser aplicada para polimento de efluentes, como a remoção de cor em efluentes de indústria têxtil, como pré-tratamento para efluentes que contém recalcitrantes com a finalidade de aumentar a sua biodegradabilidade e possíveis outras combinações.

5.4.3 Oxidação utilizando O_3 /UV (ozonização fotolítica)

Ozonização Fotolítica é um método efetivo para a oxidação e destruição de orgânicos tóxicos e refratários em água. Em solução, o ozônio absorve na faixa de

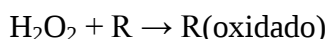
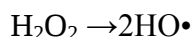
comprimento de onda da radiação UV, 254 nm, se decompondo e produzindo uma grande quantidade de radicais $\bullet\text{OH}$. Estes radicais, por sua vez, podem recombina-se, gerando H_2O_2 que também sofre fotólise e pode combinar-se com o O_3 ; como consequência tem-se um mecanismo radicalar complexo. As equações abaixo representam essas reações.



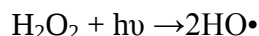
O O_3 apresenta uma baixa solubilidade em água e a consequente limitação de transferência de massa tem dificultado a aplicação efetiva desta tecnologia. Além disso, o investimento inicial para este processo e o seu custo de manutenção são relativamente altos, o que limita sua aplicação.

5.4.4 Oxidação utilizando H_2O_2 e $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$

O H_2O_2 , em solução, se decompõe formando dois radicais $\bullet\text{OH}$ que também reagem diretamente com as substâncias químicas presentes no efluente oxidando-as, como descrito nas reações representadas nas equações abaixo:



Este composto fotoreativo, o H_2O_2 , absorve comprimentos de onda menores que 254nm, sendo seu máximo de absorbância em 220 nm. Quando exposto à luz nesta faixa de comprimento de onda, o peróxido de hidrogênio se decompõe formando radicais $\bullet\text{OH}$, como mostra a equação abaixo:



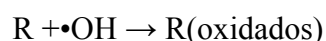
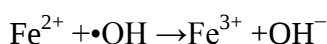
Em geral, em ambos os casos, O_3 e H_2O_2 , a combinação com UV é mais eficiente que apenas a radiação UV ou apenas o oxidante. Uma outra variação destes processos é a combinação UV/ O_3 / H_2O_2 , a qual gera um ambiente altamente oxidante.

5.4.5 Oxidação utilizando reagentes de Fenton

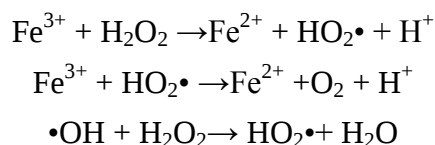
Este é um processo muito simples, e esta é sua vantagem, que é realizado com uma mistura de H_2O_2 e íons de ferro. Esta combinação resulta comprovadamente em um forte oxidante em valores de pH ácidos (2-4). As equações a seguir mostram como o radical $\bullet\text{OH}$ é gerado.



O radical $\bullet\text{OH}$ pode reagir com o Fe(II) produzindo Fe(III) , ou reagir com poluentes orgânicos presentes na solução:



A decomposição do H_2O_2 é catalisada por íons férricos e na reação de Fenton o H_2O_2 é decomposto em H_2O e O_2 .



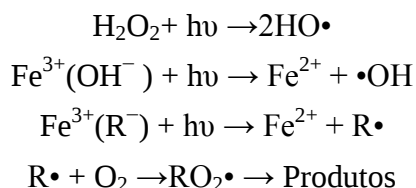
Os radicais $\cdot\text{OH}$ formados oxidam as substâncias orgânicas presentes. No caso do reativo de Fenton, muitas vezes, esta oxidação não leva a mineralização completa dos poluentes. O material é inicialmente transformado em alguns produtos intermediários que são resistentes às reações de oxidação posterior. Isto se deve a complexação destes intermediários com os íons Fe(III) e às diversas combinações que podem ocorrer com radicais $\cdot\text{OH}$ (reações competitivas).

Os radicais $\cdot\text{OH}$ produzidos na reação do H_2O_2 com Fe^{2+} , reagem rapidamente com uma ampla variedade de substâncias orgânicas presentes em águas residuárias, tais como álcoois, éteres, corantes, clorofenóis, pesticidas, aromáticos policíclicos, etc.

A reatividade deste sistema foi primeiro observada em 1894 por seu inventor, H. J. H. Fenton, no entanto sua utilidade só foi reconhecida por volta de 1930 quando seus mecanismos foram identificados. Atualmente, o reagente de Fenton é empregado no tratamento de uma ampla gama de efluentes industriais que contêm uma variedade de compostos orgânicos tóxicos (fenóis, formaldeídos, BTEX, e resíduos complexos derivados de corantes, pesticidas, preservativos de madeiras, aditivos plásticos, etc.). O processo pode ser aplicado a águas residuárias, lodos ou solos contaminados.

5.4.6 Oxidação utilizando Foto-Fenton ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{UV}$)

A mineralização das substâncias orgânicas pode ser conseguida com a combinação das reações $\text{Fe(II)/Fe(III)/H}_2\text{O}_2$ com radiação UV/Visível. A reação fotoassistida (Foto Fenton), a qual combina H_2O_2 e um catalisador férrico com luz UV próxima à região visível, é especialmente poderosa para tratar efluentes e, freqüentemente, conduz à mineralização extensa do contaminante designado. Nesse processo ocorre a regeneração do Fe(II) pela fotólise dos hidróxidos de Fe(III) , e reações fotoquímicas dos complexos formados com o Fe(III) e intermediários da degradação ou substratos orgânicos:



Bons resultados foram observados com este processo para degradação de pesticidas, herbicidas, fenóis e hidrocarbonetos halogenados.

5.5 Processos de separação com membranas

São processos utilizados para a remoção de partículas de um solvente (filtração). Utilizam-se da tecnologia de membranas semi-permeáveis, que funcionam como um filtro, deixando a água passar por seus poros, impedindo a passagem de sólidos

dissolvidos. Em todos os processos de separação com membranas o transporte de uma dada espécie, através da membrana, ocorre devido a existência de uma força motriz. A força motriz para estes processos é o gradiente de pressão, sendo empregados para concentrar, fracionar e purificar suspensões e soluções diluídas ou dispersões coloidais. Quanto menor o poro da membrana, maior terá que ser a pressão exercida, logo maior o custo.

A Figura 57 apresenta os vários tipos de processos com membranas empregados para remoção de microrganismos, moléculas de alto, médio e baixo peso molecular e até sais inorgânicos.

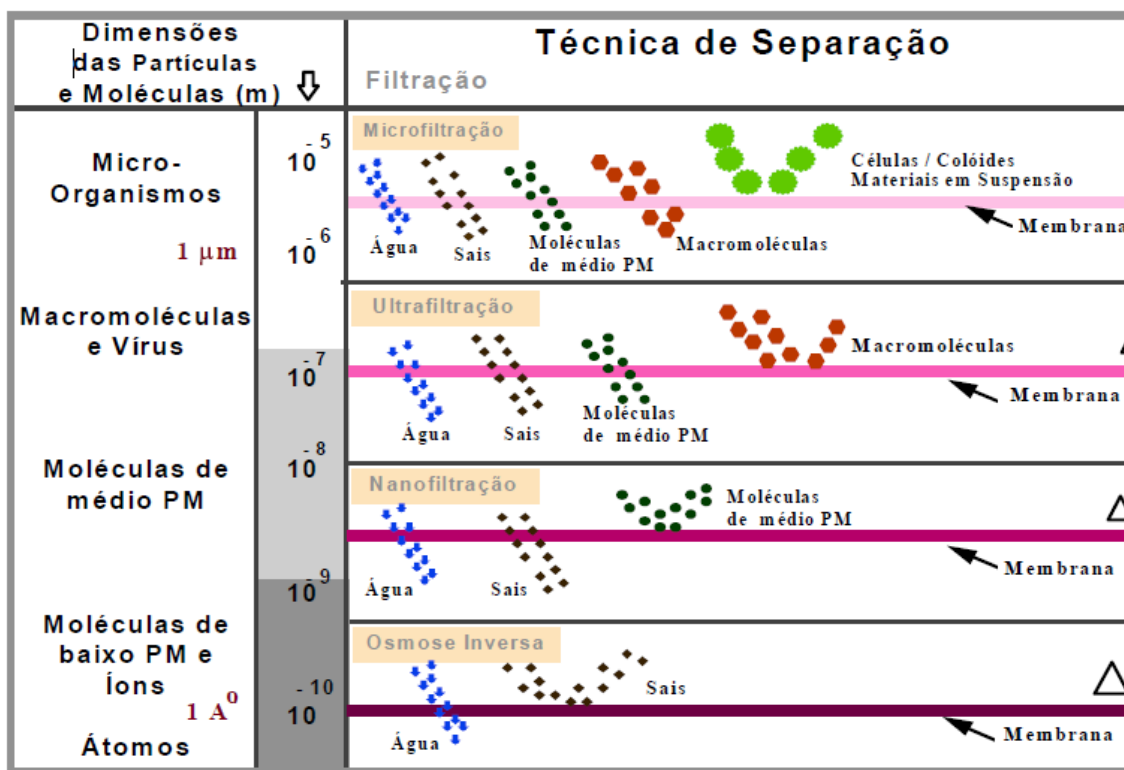


Figura 57 – Processos de separação com membranas.

5.5.1 Microfiltração

É o processo de separação com membranas mais próximo da filtração clássica. Utiliza membranas porosas com poros na faixa entre 0,1 e 10 μm , sendo, portanto, processos indicados para a retenção de materiais em suspensão e em emulsão. Como as membranas de microfiltração são relativamente abertas, as pressões transmembrana empregadas como força motriz para o transporte são pequenas, não ultrapassando 3 bar. Na microfiltração o solvente e todo o material solúvel permeia a membrana. Apenas o material em suspensão é retido.

5.5.2 Ultrafiltração

É utilizada quando se deseja purificar e fracionar soluções contendo macromoléculas. As membranas de ultrafiltração apresentam poros na faixa entre 1 e 100 nm, portanto mais fechadas do que as membranas de microfiltração. Soluções

contendo solutos numa ampla faixa de peso molecular (103 - 106 Daltons) podem ser tratadas por este processo. Como os poros das membranas de ultrafiltração são menores, é necessário uma maior força motriz para se obter fluxos permeados elevados o suficiente para que o processo possa ser utilizado industrialmente. Por este motivo, as diferenças de pressão transmembrana variam na faixa de 2 a 10 bar. Suas principais aplicações são a clarificação, concentração e fracionamento de solutos. A separação é eficiente quando existe pelo menos uma diferença de 10 vezes no tamanho das espécies. É largamente utilizada na indústria de alimentos, bebidas e laticínios, assim como em aplicações na biotecnologia e na área médica.

5.5.3 Osmose Reversa

Para que possamos entender melhor o processo de osmose reversa, lembremos o fenômeno de osmose natural:

- O fenômeno de osmose natural ocorre da seguinte forma: colocando-se soluções de concentrações diferentes separadas por uma membrana semi - permeável, a água da solução diluída fluirá naturalmente através da membrana, para a solução mais concentrada até atingir o equilíbrio osmótico.
- Quando isso ocorre, o nível líquido da solução mais concentrada fica acima do nível correspondente a coluna da solução mais diluída.
- Esta diferença de coluna (ΔH), denomina-se pressão osmótica.
- O processo de osmose reversa é obtido através de aplicação de uma pressão superior a pressão osmótica (ΔH), do lado da solução mais concentrada, forçando o fluxo através da membrana semi - permeável, assim permitindo-se obter solução pura do outro lado.

É usada quando se deseja reter solutos de baixo peso molecular como sais inorgânicos ou pequenas moléculas orgânicas como glicose. A diferença entre osmose reversa e ultrafiltração está no tamanho do soluto retido. As membranas de osmose reversa devem ser mais fechadas apresentando, portanto, uma maior resistência à permeação. Por este motivo, pressões mais elevadas do que as utilizadas na ultrafiltração são necessárias, da ordem de dezenas de bar. O nome osmose reversa se deve ao fato de que neste tipo de processo o fluxo permeado é no sentido contrário ao fluxo osmótico normal.

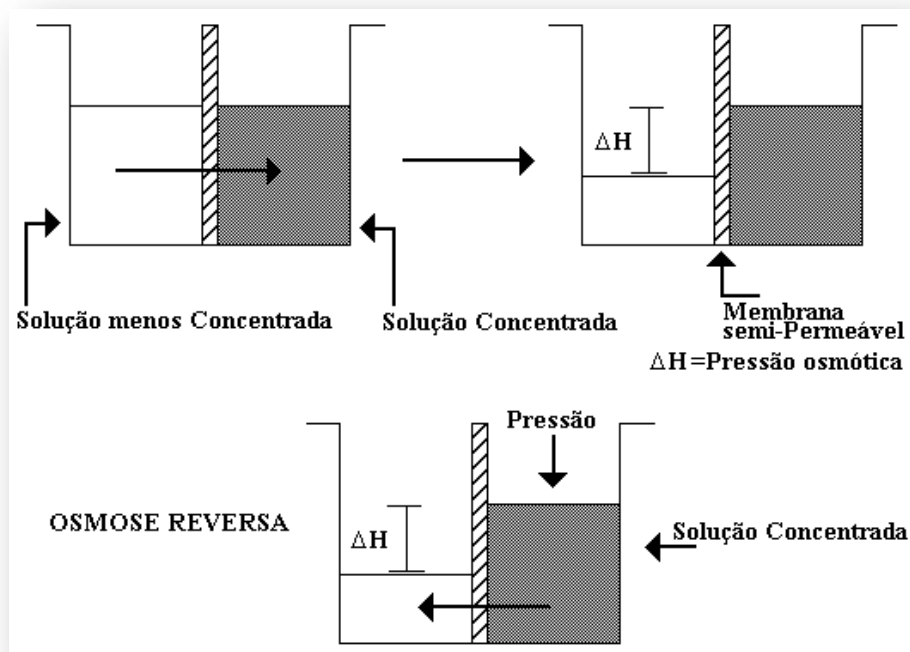


Figura 58 – Processo de osmose reversa

O desenvolvimento, relativamente recente, de novas gerações de membranas, resistentes à ampla faixa de pH, altas temperaturas e à presença de produtos cáusticos, além de fluxos permeados mais elevados, ampliou o campo de aplicação da osmose reversa. Assim, em adição à sua aplicação tradicional na dessalinização de águas salobras e do mar, a osmose reversa tem sido utilizada no tratamento de águas, na produção de água ultrapura, no tratamento de águas duras, na indústria alimentícia e em muitas outras aplicações. A osmose reversa pode também ser usada em combinação com outros processos clássicos de separação, nos chamados processos híbridos de separação, mais eficientes do que cada uma dessas técnicas isoladamente.

Considerando-se a atual situação dos recursos hídricos e sua premente possibilidade de escassez, é fundamental o uso de tecnologias para o tratamento de efluentes que possibilitem a obtenção de efluentes tratados que atendam não apenas aos padrões de lançamento em corpos d'água, como também possam servir de água de reuso. Neste crescente processo de escassez de água, o preço desse bem finito tende a ficar cada vez mais alto, favorecendo o reuso da água, que tende a apresentar custo menos elevado. Na medida em que a cobrança pelo uso da água (prevista na Lei 9.433, de 08/01/97) tornar-se mais abrangente, o mercado de água de reuso também tenderá a crescer. Assim, a utilização das águas servidas para propósitos de uso não potável, como na agricultura, representa um potencial a ser explorado em substituição à utilização de água tratada e potável. Neste contexto, os processos com membranas seriam uma excelente alternativa, pois a membrana é barreira absoluta para material suspenso e microrganismos, gerando-se efluentes tratados de excelente qualidade, possibilitando o atendimento aos padrões mais restritivos e a abertura para reuso do efluente tratado.

Os processos com membrana podem ser aplicados isoladamente (como tratamento terciário) ou associados a biorreatores (biorreatores de membrana - MBR). Os MBR combinam biológico (mais comum é o processo de Lodos Ativados) com unidade de filtração em membrana para separar o lodo do efluente, em substituição ao tanque sedimentador. Em geral, a membrana utilizada é uma membrana de microfiltração (MF) ou ultrafiltração (UF). Usados para tratamento de esgoto doméstico e efluentes industriais em situações ou regiões específicas, com pouca área disponível ou custo da terra elevado, escassez de água e/ou cuidadosa gestão de resíduos. No futuro, leis e padrões mais restritivos e estratégias de reuso de água devem aumentar o uso dos MBR.

5.5.3.1 Unidades Componentes do Sistema de Osmose Reversa

- Filtro de Cartucho

A água de alimentação da osmose reversa deverá obrigatoriamente passar pelo(s) filtro(s) de cartucho(s) instalado(s) na entrada do sistema, com objetivo de remover sólidos suspensos maiores que 5,0 μm .

- Bomba de alta pressão

Após filtro de cartucho, a água seguirá para(s) bomba(s) de alta pressão, com objetivo de fornecer uma pressão superior a pressão osmótica (ΔH).

- Permeadores

A água já em alta pressão segue para o(s) vasos(s) de pressão onde estão contida(s) a(s) membrana(s) de osmose reversa. O(s) conjunto(s) vaso(s) e membrana(s) denomina(m)-se permeador(es).

Parte da solução que transpassar a(s) membrana(s), tem alta qualidade de pureza, sendo esta denominada de produto ou permeado.

A parte da solução que não transpassar a(s) membrana(s) de concentração superior é denominada de rejeito.

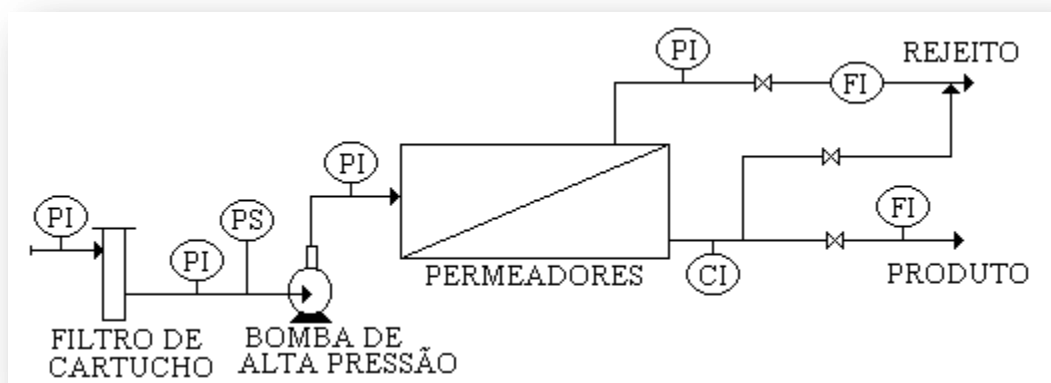


Figura 59 – Fluxo típico da osmose reversa. Onde: PI – Manômetro; FI – Rotâmetro; CI – Condutivímetro; PS – Pressostato de Proteção da Bomba.

5.5.3.2 Controle do Sistema de Osmose Reversa

Para o controle da operação do sistema de osmose reversa utiliza-se os seguintes instrumentos:

- Rotâmetros de medição de vazão do rejeito e permeado;
- Condutivímetro para controle de água produzida;
- Manômetros de medição de pressão;
- Pressostato de baixa pressão para proteção da bomba de alta pressão.

Observação - Caso o filtro cartucho esteja acentuadamente colmatado, impedindo a passagem da água de alimentação, o pressostato desliga a bomba interrompendo assim o funcionamento.

5.5.3.3 Manutenção do Sistema de Osmose Reversa

- Limpeza Química

Após algum tempo de uso ocorre uma deposição de sais na superfície da membrana de osmose reversa. Proporcional a concentração de sais minerais dissolvidos na água.

Esta incrustação provoca uma queda gradativa na vazão produzida pelo sistema e aumento gradativo da pressão de operação.

Estes sinais indicam a necessidade de limpeza química nas membrana, que ocorre em média a cada 03 meses de operação.

Para a remoção das incrustações na superfície da membrana, a limpeza química é realizada utilizando-se produtos ácidos ou alcalinos dependendo do tipo de incrustação ocorrida.

5.5.3.4 Água de Alimentação do Sistema de Osmose Reversa

A qualidade da água bruta à ser tratada no sistema de osmose reversa, é um fator importante para uma operação bem sucedida do processo.

A água de alimentação do sistema de osmose reversa deverá obedecer os seguintes parâmetros de qualidade:

- Temperatura não superior à 50 °C;
- SDI (SiltDensity Index) menor que 5;
- pH maior que 2,0 e menor que 11,0;
- Teor de ferro menor que 0,3 ppm;
- Teor de cloro menor que 0,1 ppm;
- Turbidez menor que 1,0 NTU;

Caso a água bruta não obedeça a qualidade referida, então deverá ser previsto um pré - tratamento anterior ao sistema de osmose reversa, que geralmente são:

- ETA para remover cor ou turbidez;
- Filtro de areia;
- Filtro de carvão;

- Dosagem de anti-incrustante.

5.6 Desinfecção

A desinfecção deve ser em caráter corretivo ou preventivo.

Conceito: consiste na destruição de organismos causadores de doenças e de outros de origem fecal, mas não necessariamente a destruição completa de formas vivas. Este último caso designaremos por esterilização.

5.6.1 Desinfetantes mais Empregados

a) A base de cloro

- cloro líquido ou gasoso (Cl_2) - 99,9% de cloro disponível;
- Hipoclorito de cálcio ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$) - 65% de cloro disponível;
- Hipoclorito de Sódio (Na OCl) - 10% de cloro disponível;
- Água Sanitária - 2,5% de cloro disponível;
- Cal Clorada (CaOCl_2) - 30% de cloro disponível.

Vantagens do Cloro:

- deixa resíduo.
- preço baixo.

Desvantagens do Cloro:

- não é tão eficiente.
- não pode aplicar superdosagens.

b) Ozônio: produzido no local de aplicação

- Além de desinfetante é usado como redutor de odor, gosto, ferro e manganês.

Vantagens:

- ação bactericida 30 à 300 vezes mais rápido que o cloro para o mesmo tempo de contato.
- não há perigo de superdosagens.

Desvantagens:

- não tem ação residual.
- muito gasto com energia.

c) Desinfecção pelo calor

Vantagens:

- facilidade
- eficiente

Desvantagens:

- alto custo
- não tem ação residual

d) Desinfecção por Irradiações

- é efetuada por luz ultravioleta, através de lâmpada de vapor de mercúrio com bulbo de quartzo.

Vantagens:

- não altera gosto e odor;
- período de contato pequeno;
- dosagens alta não é prejudicial.

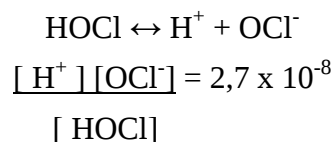
Desvantagens:

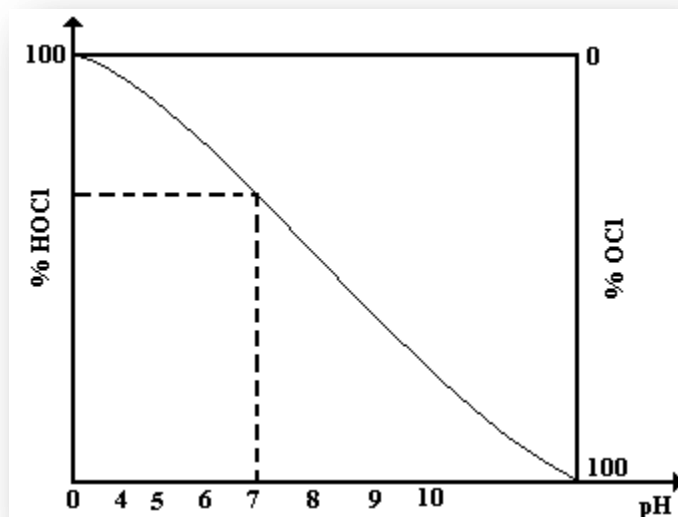
- não tem ação residual;
- esporos, cistos e vírus são resistentes;
- custos elevados.

Reações do Cloro com a Água

- para pH baixo a reação se desloca para a esquerda.
- para pH acima de 4, desloca-se para a direita.

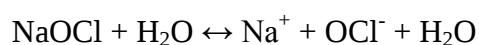
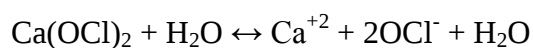
O Ácido Hipocloroso é fraco e pouco dissociado em pH abaixo de 6.



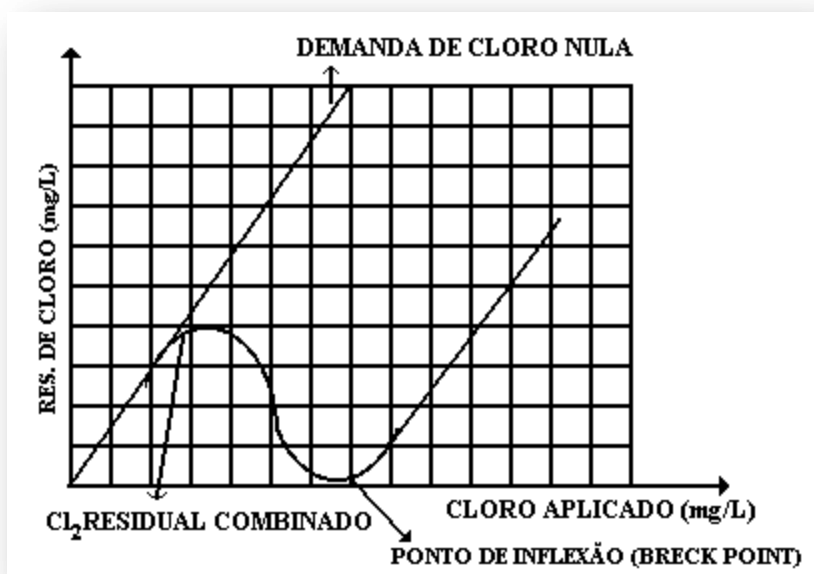
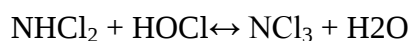
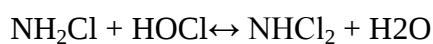


O cloro na forma de ácido hipocloroso e de íon hipoclorito é definido como cloro residual livre.

Reações dos Hipocloritos com a Água

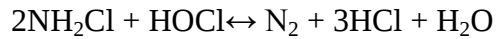


Cloro Combinado - O cloro com a amônia reage e forma compostos denominados cloraminas.

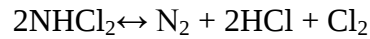


O ponto máximo é atingido quando toda a amônia se combinou com o cloro.

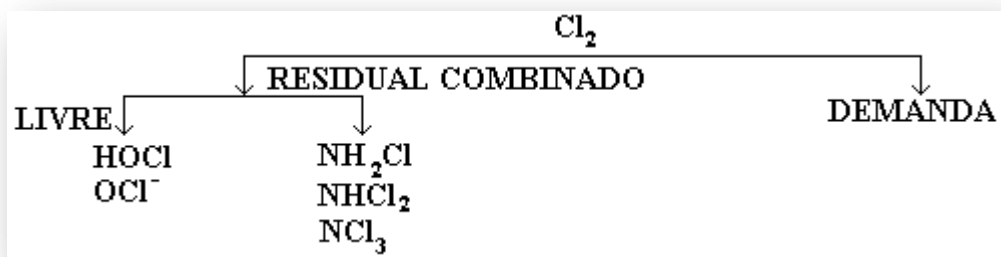
Reações após o máximo da curva:



Quando só há dicloraminas esta se decompõe



Esquema das Reações



A Ação do Cloro Depende:

- Da sua concentração;
- Da forma como se apresenta: cloro livre ou cloro combinado;
- Do tempo de contato;
- Da temperatura;
- DopH já que influi na dissociação do ácido hipocloroso;
- Do tipo de microrganismos a ser destruído;
- Da turbidez;
- Do grau de mistura.