

UNIVERSIDADE DO SAGRADO CORAÇÃO

SEBASTIÃO FRANCISCO DA SILVA

**TRATAMENTO DE ÁGUA SUPERFICIAL NA CIDADE
DE BAURU**

BAURU
2015

SEBASTIÃO FRANCISCO DA SILVA

**TRATAMENTO DE ÁGUA SUPERFICIAL NA CIDADE
DE BAURU**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas da Universidade do Sagrado Coração como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Química, sob orientação da Profa. Ma. Bárbara de Oliveira Tessarolli.

BAURU
2015

S5868t

Silva, Sebastiao Francisco da

Tratamento de água superficial na cidade de Bauru /
Sebastiao Francisco da Silva. -- 2015.

74f. : il.

Orientadora: Profa. Ma. Barbara de Oliveira Tessarolli.
Coorientador: Prof. Dr. Herbert Duchatsch Johansen.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) –
Universidade do Sagrado Coração – Bauru – SP.

1. Água. 2. Tratamento de água superficial. 3. Parâmetros físico-químicos. 4. Parâmetros microbiológicos. 5. Tratamento de água em Bauru. I. Tessarolli, Barbara de Oliveira. II. Johansen, Herbert Duchatsch. III. Título.

SEBASTIÃO FRANCISCO DA SILVA

TRATAMENTO DE ÁGUA SUPERFICIAL NA CIDADE DE BAURU

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas da Universidade do Sagrado Coração como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Química, sob orientação da Profa. Ma. Bárbara de Oliveira Tessarolli.

Banca examinadora:

Profa. Ma. Bárbara de Oliveira Tessarolli
Universidade do Sagrado Coração

Prof. Dr. Marcelo Telascrêa
Universidade do Sagrado Coração

Prof. Dr. Herbert Duchatsch Johansen
Universidade do Sagrado Coração

Bauru, 17 de junho de 2015.

Dedico este trabalho à minha querida esposa Fabiana, por estar sempre ao meu lado me proporcionando paz, amor, força e apoio a todos os momentos e à minha filha Rebeca, e aos filhos que possam vir.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela ajuda concedida a todos instantes da minha vida.

Aos meus pais por acreditarem sempre em mim.

À minha esposa pelo seu amor, paciência e dedicação em todos os momentos de nossa vida.

À orientadora professora Bárbara de Oliveira Tessarolli pela oportunidade concedida e pela confiança depositada, de grande valor nesta importante etapa da minha vida. Agradeço também pela atenção concedida, pelas horas dedicadas nas correções do trabalho e pelas orientações.

Ao professor Herbert Duchatsch Johansen pelos atendimentos e orientações concedidas, visando à melhoria na aparência e formatação do trabalho.

A todos os professores (as) que compartilharam suas experiências e por todo conhecimento transmitido.

E por fim a todos as pessoas que conheci durante o curso, em especial aos colegas de classe.

“O sábio nunca diz tudo o que pensa, mas
pensa sempre tudo o que diz”.

Aristóteles

RESUMO

O presente trabalho busca demonstrar as principais propriedades físico-químicas da água, sua importância e disponibilidade tendo como objetivo dissertar sobre a importância do tratamento de águas superficiais destinada ao consumo humano bem como as tecnologias mais utilizadas nos tratamentos de águas superficiais dando ênfase ao tratamento em ciclo completo que geralmente é constituído em pré-tratamento, coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, fluoração e correção de pH e apresenta a utilização do cloro gasoso para desinfecção da água tratada demonstrando as vantagens e desvantagens que este material apresenta nas estações de tratamento de água. Apresenta, também, informações sobre as principais legislações vigentes que dispõe sobre classificação de corpo d'água e procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água. O trabalho também aborda, de forma simplificada, o tratamento de águas superficiais no Município de Bauru, para tanto foram utilizadas informações do Departamento de Água e Esgoto disponíveis em sites de domínio público.

Palavras-chave: Água. Tratamento de água superficial. Parâmetros físico-químicos. Parâmetros microbiológicos. Tratamento de água em Bauru.

ABSTRACT

This study aims to demonstrate the main physical and chemical properties of water, its importance and availability aiming to speak about the importance of treatment of surface water intended for human consumption as well as the most commonly used technology in surface water treatment emphasizing treatment complete cycle that generally consists in pre-treatment, coagulation, flocculation, sedimentation, filtration, disinfection, fluorination and pH correction and presents the use of chlorine gas for water disinfection treated demonstrating the advantages and disadvantages that this material has in stations water treatment. It also presents information on key current legislation which regulates the water body and procedures for control and surveillance of water quality classification. The work also addresses, in a simplified way, the treatment of surface water in the city of Bauru, were used for both the Department of Water and Sewer information available in the public domain sites.

Keywords: Water. Treatment of surface water. Physical and chemical parameters. Microbiological parameters. Water treatment in Bauru.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Molécula da água	17
Figura 2 - Ciclo hidrológico.	19
Figura 3 - Distribuição da água no Brasil.	20
Figura 4 - Características físicas da água.....	22
Figura 5 - Tabela de padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção.	23
Figura 6 - Principais indicadores de qualidade química da água.....	23
Figura 7 - Padrão microbiológico da água.	25
Figura 8 - Principais agentes infecciosos encontrados mundialmente em água.....	26
Figura 9 - Aquíferos confinados e livres.....	26
Figura 10 - Aquífero Guarani.	27
Figura 11 - Cacimba e poços.....	28
Figura 12 - Principais tecnologias de tratamento de água para consumo humano.....	31
Figura 13 - Interação entre partícula coloidal e água de hidratação em sistemas aquosos.	33
Figura 14 - Representação esquemática da dupla camada elétrica nas vizinhanças de uma interface sólido-líquido e configuração esquemática da dupla camada elétrica.....	35
Figura 15 - Representação esquemática de uma partícula de argila.	36
Figura 16 - Estrutura proposta para o ácido húmico e ácido fúlvico.....	37
Figura 17 - Vertedor Parshall	39
Figura 18 - Caminhos para a coagulação por adsorção e neutralização de carga e por varredura utilizando o sulfato de alumínio.	42
Figura 19 - Esquema indicativo da mistura rápida e floculação.....	44
Figura 20 - Flocladores hidráulicos.	45
Figura 21 - Flocladores mecanizados.....	46
Figura 22 - Flocladores mecanizados.....	47
Figura 23 - Esquema de flocladores em planta e corte longitudinal, respectivamente.....	47
Figura 24 - Zonas de estudo nos decantadores.	49
Figura 25 - Mecanismo de transporte, aderência e desprendimento de partículas durante a filtração.....	50
Figura 26 - Interações entre as forças eletrostáticas e as de van de Waals (partícula de argila e grãos do meio filtrante).	51
Figura 27 - Material utilizado no fundo dos filtros.....	52

Figura 28 - Concentração de ácido hipocloroso e íon hipoclorito em função do pH.	56
Figura 29 - Cilindros de cloro gasoso.	57
Figura 30 - Esquema de equipamento de extração de lodo.	59
Figura 31 - Dados geográficos da cidade de Bauru.	60
Figura 32 - Captação no Rio Batalha.	62
Figura 33 - Caixa de areia.	62
Figura 34 - Poço de sucção.	63
Figura 35 - Sistema de bombeamento.	63
Figura 36 - Adutoras.	64
Figura 37 - Estação de tratamento de água de Bauru.	65
Figura 38 - Fluxograma ilustrado do tratamento de água na cidade de Bauru.	66
Figura 39 - Calha Parshall.	66
Figura 40 - Canaleta da ETA de Bauru.	67
Figura 41 - Decantadores da ETA de Bauru.	67
Figura 42 - Canaletas de saída de água decantada na ETA de Bauru.	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

μm	Micrômetro
μS	Micro Siemens
APP	Área de proteção permanente
Art.	Artigo
cal	Caloria
CE	Condutividade elétrica
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DAE	Departamento de Água e Esgoto
E. Coli	<i>Escherichia coli</i>
ETAs	Estações de tratamento de água
g	Gramma
km^2	Quilômetro quadrado
km^3	Quilômetro cúbico
m	Metro
m^2	Metro quadrado
m^3	Metro cúbico
m^3/h	Metro cúbico por hora
ME	Mobilidade eletroforética
MS	Ministério da Saúde
mV	Milivolt
N·m	Newton metro
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
pH	Potencial hidrogeniônico
ppm	Partes por milhão
PZ	Potencial zeta
SS	Secretaria da Saúde
THMs	Trihalometanos
UFC	Unidade formadora de colônia
VMP	Valor máximo permitido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVOS GERAIS	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3	METODOLOGIA	16
4.	A ÁGUA – PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS	17
4.1	CICLO HIDROLÓGICO	18
4.2	ÁGUA - DISPONIBILIDADE E IMPORTÂNCIA	19
4.3	POLUIÇÃO HÍDRICA	20
4.4	ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO	21
4.4.1	Parâmetros físicos	22
4.4.2	Parâmetros químicos	23
4.4.3	Parâmetros microbiológicos	24
4.5	ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	26
4.5.1	Aquífero Guarani	27
4.5.2	Aquífero Bauru	27
4.6	POÇOS	28
4.7	ÁGUAS SUPERFICIAIS	29
5	TECNOLOGIAS NO TRATAMENTO DE ÁGUA	29
5.1	COAGULANTES	29
5.2	TRATAMENTOS SIMPLIFICADO	31
5.3	TRATAMENTOS EM CICLO COMPLETO	32
6	ETAPAS DO TRATAMENTO DE ÁGUA – CICLO COMPLETO	32
6.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS – IMPUREZAS NA ÁGUA	32
6.1.1	Partículas coloidais	33
6.1.2	Argila	36
6.1.3	Substâncias húmicas	36
6.2	MISTURA RÁPIDA E COAGULAÇÃO	38
6.3	VERTEDOR PARSHALL	39
6.4	MECANISMOS DE COAGULAÇÃO	40
6.5	CONTROLES DO PROCESSO DE COAGULAÇÃO	42

6.6	FLOCULAÇÃO.....	43
6.7	AGREGAÇÃO E RUPTURA	43
6.8	FLOCULADORES	44
6.9	SEDIMENTAÇÃO	48
6.10	DECANTADORES.....	48
6.11	FILTRAÇÃO	49
6.12	MECANISMOS DE ADERÊNCIA.....	50
7	DESINFECÇÃO.....	53
7.1	FATORES QUE PODEM INFLUENCIAR A DESINFECÇÃO DA ÁGUA TRATADA.....	53
7.1.1	Tempo de contato do desinfetante com a água.....	53
7.1.2	Concentração do desinfetante químico.....	53
7.1.3	Desinfetante físico.....	54
7.1.4	Temperatura.....	54
7.1.5	Concentração de microrganismos.....	54
8	DESINFECÇÃO COM CLORO	55
8.1	VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DE CLORO GASOSO.....	56
9	FLUORAÇÃO	58
10	LODO	59
11	MUNICÍPIO DE BAURU	60
11.1	ABASTECIMENTOS DE ÁGUA NO MUNICÍPIO DE BAURU.....	60
11.2	CAPTAÇÕES DE ÁGUAS SUPERFICIAIS EM BAURU	61
12	TRATAMENTO DE ÁGUA SUPERFICIAL EM BAURU	65
12.1	CONTROLE DE QUALIDADE	68
13	CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
	REFERÊNCIAS	70

1 INTRODUÇÃO

O planeta Terra é coberto por cerca de 70% de água, todavia uma pequena quantidade da água é recomendável para o consumo dos seres humanos. De toda a água existente na Terra, aproximadamente 97% são dos mares e oceanos. Também existem as águas presentes nas neves, geleiras, vapor atmosférico, e em profundidades de difícil acesso que não são aproveitáveis, porém essenciais para a natureza. (1)

Existem 1.370 milhões de km³ de água livre sobre a Terra, dessa quantidade, 8,2 milhões de km³ são de água doce (água com salinidade igual ou inferior a 5%), sendo disponibilizada naturalmente correspondendo a 0,6%. Desse valor de água livre sobre a terra, 98,8% é água subterrânea, sendo apenas 1,2% as que constituem os rios e lagos. Apenas 50% das águas subterrânea são utilizáveis, pois a outra parte se encontra em profundidades que excedem 800 metros, sendo inviável a captação. (1,2)

Em termos globais, o consumo de água é menor que a sua disponibilidade, a distribuição é desigual e em muitos casos não é de acordo com as necessidades da população, dos setores agrícolas e industriais. Em determinadas regiões há água abundante, porém em outras a população vive com a escassez. Na região semi-árida do nordeste brasileiro, por exemplo, devido a estiagem a população precisa buscar água em locais distantes e muitas vezes de difícil acesso. (1) Os mananciais apresentam déficit devido alterações ambientais causadas principalmente pela ação antrópica, que também tem tornado grande parte da água imprópria para diversos usos devido à poluição, por exemplo, introdução de efluentes domésticos e industriais no corpo d'água. (1,3)

Água potável é a água que atende ao padrão de potabilidade estabelecido por Lei. A água para consumo humano é a água potável destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos, com qualidade atendendo ao padrão de potabilidade independente da sua origem, sendo que sua captação pode ter origem subterrânea ou superficial. (4).

Águas superficiais são classificadas em águas doces, salobras e salinas, de acordo com a concentração de sais presente na água. Dentro da classificação doce, a água é qualificada em: classe especial, classe I, classe II, classe III e classe IV. A água doce classe especial é destinada ao consumo humano, após a devida desinfecção que tem a finalidade de eliminar qualquer tipo de agente patógeno que possa estar presente. A água doce classe I pode ser utilizada para abastecimento humano, desde que tenha passado por tratamento simplificado que constitui geralmente em filtração, desinfecção, fluoretação e, se necessário, correção de

pH; A água doce classe II pode ser destinada ao consumo humano após tratamento convencional e a classe III, após tratamento convencional ou avançado; a água classe IV pode ser destinada a navegação e harmonia paisagística. (2,5)

A clarificação e desinfecção de águas superficiais são fatores indispensáveis para a obtenção de água com padrão de potabilidade adequado para o consumo humano e as tecnologias utilizadas em seu tratamento podem apresentar processos e operações unitárias diversas. Geralmente as etapas para o tratamento de águas superficiais são: captação, pré-cloração, pré-alcalinização, coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoração. (6).

Durante o processo de tratamento de água para o consumo humano são controlados os seguintes parâmetros físico-químicos: turbidez, cor, pH, teor de cloro livre, que devem estar de acordo com as normas estabelecidas pelas legislações vigentes com a finalidade de garantir o abastecimento de água com qualidade adequada a essa finalidade. (2)

O presente trabalho discutirá sobre a importância da água para a humanidade tendo em vista a utilização de águas superficiais visando o abastecimento público, abordando aspectos relevantes ao controle de sua qualidade determinada pelas legislações, abordando o uso de sistema de tratamento físico-químico convencional.

2 OBJETIVOS

Apresenta-se nos tópicos abaixo os objetivos gerais e específicos da pesquisa.

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Dissertar sobre a relevância da água para a humanidade e avaliar sobre a importância do tratamento físico-químico da água oriunda de captação superficial utilizada para abastecimento humano.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar as características físico-químicas da água, sua disponibilidade e ciclo hidrológico.
- Listar os parâmetros físico-químicos da água, seus respectivos conceitos e origem, enfatizando as legislações vigentes.
- Explorar acerca da captação de águas subterrâneas e superficiais.
- Apresentar, de modo sucinto, o abastecimento de águas na cidade de Bauru, dando relevância ao tratamento de águas superficiais.

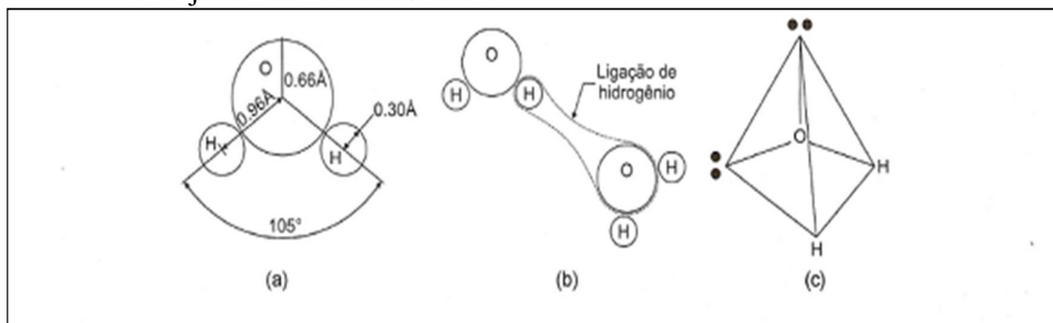
3 METODOLOGIA

A pesquisa abordada neste trabalho é de cunho qualitativo e quantitativo. Qualitativo porque se trata de um estudo de caso e quantitativo porque se utiliza de gráficos e tabelas. Também pode ser classificada como exploratória e de caráter descritivo, fazendo uma abordagem direta dos assuntos expostos, utilizando-se de fontes bibliográficas como fontes para os diversos assuntos apresentados. Quanto à metodologia o trabalho faz a opção pelo método comparativo permitindo realizar uma aplicação direta sobre os conceitos teóricos e sua aplicação. Enquanto procedimento, este trabalho realizar-se-á por meio da observação direta, tendo como artifício a exploração de um método já aplicado. A pesquisa utilizar-se-á de busca e seleção de componentes teóricos que fundamentem a pesquisa a ser apresentada. Essas ferramentas permitiram conceituar de modo bastante minucioso os aspectos microscópicos envolvidos em uma estação de tratamento de águas, visualizados apenas de modo macroscópico. Desta forma, o material aqui selecionado e documentado, bem como, as respectivas análises serão organizadas em relatório de pesquisa componente do estudo monográfico que se pretende construir.

4 A ÁGUA – PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

A água é considerada solvente universal por apresentar características únicas que lhe proporciona essa vantagem. É composta por hidrogênio e oxigênio (H_2O), onde as moléculas são unidas por ligação de hidrogênio. A Figura 1 ilustra as dimensões da molécula da água, as ligações de hidrogênio e a estrutura de sua molécula. (7)

Figura 1– Dimensões da molécula da água, ligações de hidrogênio entre as moléculas e arranjo tetraédrico da estrutura.



Fonte: (7)

Nota: Adaptado pelo autor

Dentre suas características físicas, a 25 °C pode-se citar: calor específico 0,99708 cal $g^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$; calor latente de vaporização 583,2 cal g^{-1} e tensão superficial 71,9 N m^{-1} , entre outras propriedades significativas. (8,9)

O elevado calor específico contribui para com que a água não varie a temperatura de maneira abrupta no ambiente aquático, conservando a vida de organismos aquáticos sensíveis a variações bruscas de temperatura. (1)

Seu alto peso específico em relação ao do ar permite a existência neste ambiente de fauna e flora própria; também a viscosidade elevada em relação ao ar, coopera para a sobrevivência de organismos integrantes do plâncton. Eles conseguem sobreviver em suspensão no meio líquido devido a sua viscosidade. (1)

A película de tensão superficial existente no limite entre a água e o ar apresenta grande importância para a sobrevivência dos animais e insetos que conseguem manter-se sobre a superfície da água devido a essa tensão superficial. Poluição na água pela introdução de agentes tensoativos provoca rompimento nessa película e pode causar danos à vida destes seres vivos. (1)

Outra característica importante é a presença de gases naturalmente dissolvidos na água. O oxigênio dissolvido provém do ar, da fotossíntese das algas e vegetais aquáticos; organismos aeróbicos dependem deste para sua sobrevivência. (1) O corpo de água doce ao nível do mar (pressão de 1 atmosfera) e 20 °C apresenta aproximadamente as seguintes concentrações de saturação dos principais gases: O₂: 9,0 ppm (partes por milhão); N₂: 14 ppm; CO₂: 0,5 ppm. (6) “[...] a água doce, ao nível do mar e a 20 °C, contém apenas 9,08 mg/L, isto é, nove partes de oxigênio por um milhão de partes de água”. (13) Quanto maior a agitação da água, maior a absorção de oxigênio. A produção fotossintética de oxigênio pela penetração da luz solar apresenta eficiência elevada em águas paradas com transparência elevada. (1)

O gás carbônico (CO₂) presente neste meio líquido é fundamental para a fotossíntese e é introduzido pelo ar atmosférico, respiração dos organismos aquáticos e da decomposição da matéria orgânica. (1) Apenas uma pequena quantidade do CO₂ (g) reage com a água formando ácido carbônico. A equação 1 ilustra a reação química do equilíbrio existente no processo de dissolução do gás carbônico na água. (10)



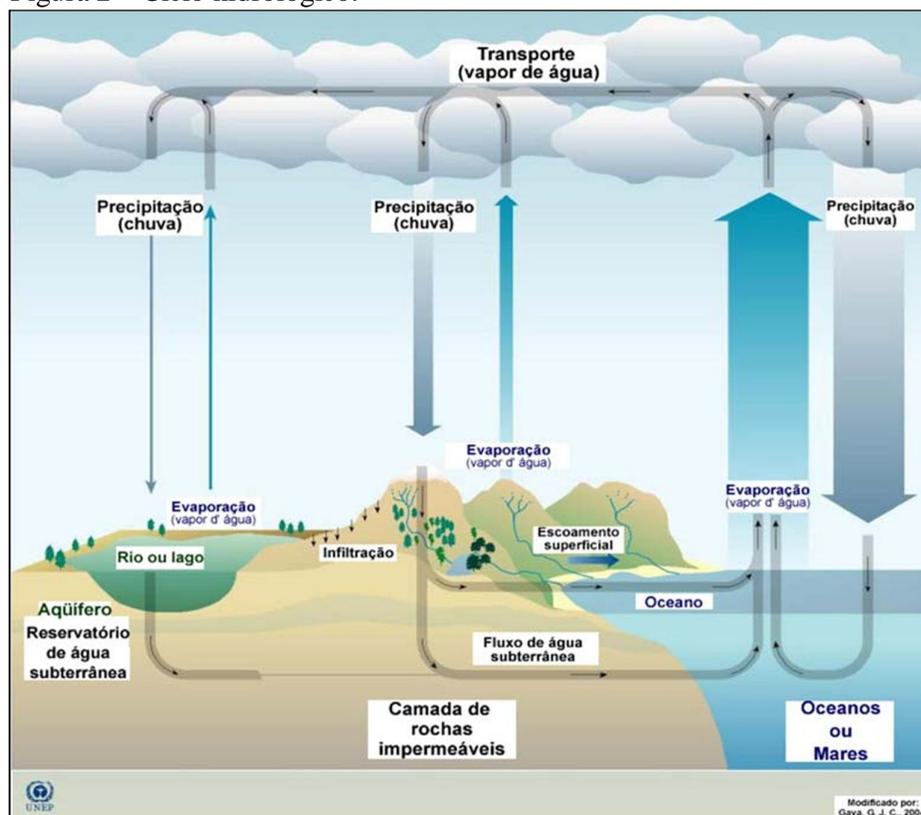
4.1 CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico é constituído pela circulação e movimentação da água na superfície terrestre e na atmosfera por um conjunto de processos físicos. (2) Ou seja, “[...] é constituído pela transferência de água da atmosfera, passagem por várias fases e volta à atmosfera”. (1)

A precipitação, evaporação, transpiração vegetal, interceptação, infiltração, percolação, escoamento superficial e subterrâneo são os principais componentes constituinte do ciclo hidrológico. Esses processos são impulsionados pela natureza através da energia térmica solar, força dos ventos e força da gravidade. (3)

Para formação das nuvens é preciso à evaporação da água dos mares, lagos, rios, pântanos, etc. As nuvens atingindo as regiões com temperaturas frias condensam-se, e posteriormente precipita-se na forma de chuva. (3) A Figura 2 apresenta o ciclo hidrológico.

Figura 2 – Ciclo hidrológico.



Fonte: (11)

A precipitação é o fator que mais coopera para o controle do ciclo hidrológico. Nem toda água precipitada atinge o solo, pois certa quantidade é interceptada por vegetais e superfície acima do solo. (1,3)

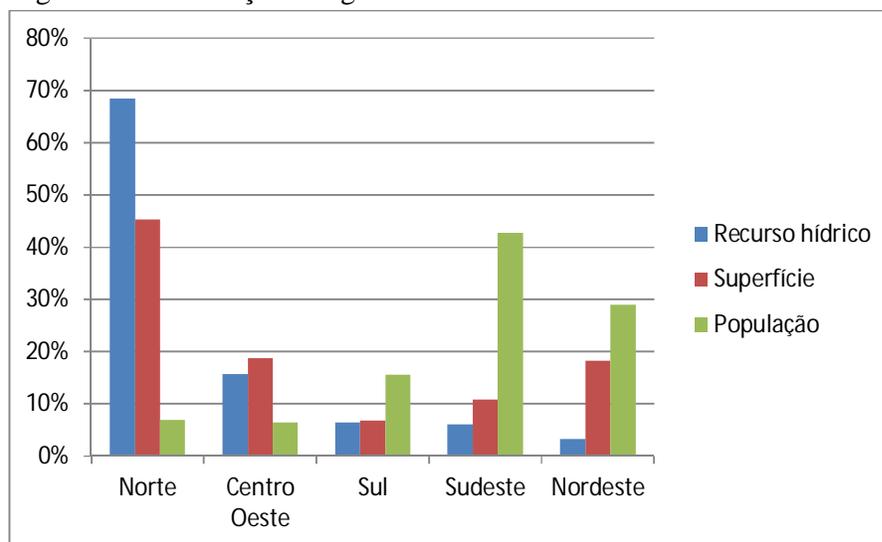
4.2 ÁGUA - DISPONIBILIDADE E IMPORTÂNCIA

A água é utilizada para diversas finalidades sendo indispensável para a manutenção da vida. O homem depende dela para sobreviver. (12) Os principais usos são: abastecimento humano, industrial e agrícola. A recreação, geração de energia elétrica, conservação da flora e fauna, navegação, pesca, harmonia paisagística são as atividades principais do uso não consuntivo da água. (1)

Com o aumento da população, desenvolvimento industrial e diversas atividades humanas, o aumento de consumo da água apresenta crescimento. A distribuição da água geralmente não é proporcional ao desenvolvimento urbano, industrial e agrícola. A distribuição da água no Brasil não é homogênea, pois existem regiões que já estão vivendo

com a escassez de água devido às secas prolongadas ou o consumo que excede a sua disponibilidade na região. Na Região Norte do Brasil concentra-se cerca de 70% de água doce disponível no país sendo que as regiões mais populosas, sul e sudeste, concentram aproximadamente 7% e 6%, respectivamente, conforme ilustrado na Figura 3. (13)

Figura 3 - Distribuição da água no Brasil.



Fonte: (13)

Nota: Adaptado pelo autor.

4.3 POLUIÇÃO HÍDRICA

A introdução de efluentes no corpo d'água pode prejudicar a qualidade das águas superficiais e subterrâneas. (2) A água poluída adquire alterações significativas em suas propriedades físicas, químicas e biológicas podendo ser vedado o uso para diversas finalidades; pode causar diversos prejuízos ao meio ambiente e transmissão de doenças à população. (1,3)

As principais fontes de poluição da água são: esgotos domésticos e industriais; águas pluviais (carreando impurezas da superfície do solo ou contendo esgotos lançados nas galerias de drenagem); resíduos sólidos; agrotóxicos; fertilizantes; detergentes; precipitação de poluentes atmosféricos (sobre o solo ou água); sedimentos oriundos das margens dos cursos ou da bacia hidrográfica, decorrente de processos erosivos, e dejetos de animais, provenientes de criadouros. (3)

4.4 ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

O organismo humano necessita de ingestão de água, se a água ingerida não possuir qualidade adequada poderá ser um importante meio de transmissão de doenças. (1) No mundo, aproximadamente 1 milhão de pessoas não tem acesso à água potável. (2)

I - água para consumo humano: água potável destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal, independente de sua origem;

II – água potável: água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido nesta portaria e que não ofereça risco à saúde. (4)

A qualidade da água é expressa por diversos parâmetros que representam suas características físicas, químicas e microbiológicas estabelecidos pelas seguintes Portarias e/ou Resoluções:

- Portaria n.º - 2.914/2011;
- Resolução CONAMA 357 (2005);
- Resolução SS 65.

A Portaria n.º - 2.914/2011 revoga a Portaria n.º 518/MS, de 25 de março de 2004. Leva em consideração várias leis e dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água destinada ao consumo humano e seu padrão de potabilidade. (4)

A resolução n.º 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), “Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências”. (5)

A Resolução SS 65, de 12 de abril de 2005, “Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano no Estado de São Paulo e dá outras providências”. (14)

Os padrões de potabilidade indicam as concentrações máximas permitidas de determinados parâmetros. Dentro desse aspecto, a água para consumo humano deve atender ao conjunto de valores permitidos para essa finalidade, possuindo parâmetros de qualidade que atende as legislações vigentes, devendo obedecer aos seguintes requisitos, resumidamente apresentados abaixo:

- a) Sensorial: não possuir sabor e odor;
- b) Física: cor e turbidez dentro dos parâmetros presentes em legislações vigentes;
- c) Química: não conter substâncias nocivas acima dos limites estabelecidos por Lei;

d) Biológica: não conter agentes patogênicos.

4.4.1 Parâmetros físicos

Tendo em vista o controle da qualidade das águas destinadas ao consumo humano, a Figura 4 sintetiza suas principais características físicas dando ênfase aos seus respectivos conceitos e origens (natural e antropogênica). (15)

Figura 4 - Características físicas da água

Parâmetro	Conceito	Origem natural	Origem antropogênica
Cor	Responsável pela coloração na água.	Ferro, manganês e matéria orgânica.	Esgotos domésticos e efluentes industriais (ex: tinturaria, tecelagem, etc).
Turbidez	É representada pela presença de matéria em suspensão na água.	Partículas de rochas, argila, substâncias orgânicas finamente divididas, organismos microscópios ou outras partículas.	Introdução de efluentes domésticos e industriais.
Sabor e odor	O sabor é a interação entre o gosto e o odor.	Gases dissolvidos, matéria orgânica em decomposição e microrganismos.	Despejos domésticos e industriais.
Temperatura	Medição da intensidade de calor.	Condução e convecção do calor atmosférico e do solo, transferência de calor pela radiação.	Despejos industriais e águas de torres de resfriamento.

Fonte: (15)

Nota: Adaptado pelo autor.

Água com turbidez elevada apresenta valores elevados de matérias em suspensão como argilas, silte, substâncias orgânicas, organismos microscópicos e outras partículas, e, se forem ingeridas podem afetar a saúde humana. (1,4,5) A remoção dessas impurezas “[...] que confere turbidez às águas é um indicativo do aumento da eficiência na remoção de microorganismos e na eficiência dos processos de desinfecção”. (2) A Figura 5 apresenta o padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção.

Figura 5 - Tabela de padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção.

Tratamento da água	VMP ⁽¹⁾
Desinfecção (para águas subterrâneas)	1,0 uT ⁽²⁾ em 95% das amostras
Filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta)	0,5 ⁽³⁾ uT ⁽²⁾ em 95% das amostras
Filtração lenta	1,0 ⁽³⁾ uT ⁽²⁾ em 95% das amostras

Fonte: (4)

Notas: (1) Valor máximo permitido.

(2) Unidade de Turbidez.

(3) Este valor deve atender ao padrão de turbidez de acordo com o especificado no § 2º do art. 30 da PORTARIA n.º - 2.914 (2011) do MS.

4.4.2 Parâmetros químicos

A alcalinidade, dureza, cloretos, ferro, manganês, nitrogênio, fósforo, fluoretos, oxigênio dissolvido, matéria orgânica, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, componentes inorgânicos, componentes orgânicos e pH, são os principais indicadores da qualidade química da água que em função de suas concentrações no meio líquido podem alterar as características da água. (1)

Dentre os parâmetros químicos estabelecidos na Portaria nº 2.914/2011 do MS, a Figura 6 resume alguns dos parâmetros controlados.

Figura 6 – Principais indicadores de qualidade química da água.

Parâmetro	Conceito	Origem natural	Origem antropogênica
pH	Representa o equilíbrio entre os íons H ⁺ e OH ⁻ . A faixa de pH varia de 0 a 14. Dependendo das concentrações dos íons, a água pode apresentar caráter ácido, alcalino ou neutro.	Dissolução de rochas, adsorção de gases atmosféricos, oxidação da matéria orgânica e fotossíntese.	Introdução de efluentes domésticos e industriais.
Alcalinidade	Mede a capacidade em neutralizar os ácidos. Os principais constituintes são os bicarbonatos, carbonatos e hidroxilas.	Introdução de sais alcalinos principalmente pelas rochas, reação do gás carbônico com a água.	Introdução de esgotos domésticos e efluentes industriais com características alcalinas.
Acidez	Apresenta capacidade em neutralizar substâncias alcalinas.	Decomposição da matéria orgânica, CO ₂ adsorvido da atmosfera e gás sulfídrico.	Introdução de efluentes ácidos no corpo d'água.
Dureza	Presença principalmente de sais alcalinos terrosos (cálcio e magnésio).	Introduzido principalmente pelas rochas.	Introdução de efluente com concentrações elevadas de cálcio, magnésio e metais bivalentes.

Continua

Ferro e manganês	Metais que podem alterar a cor das águas naturais escurecendo-as em função da variação de oxidação desses metais que pode ocorrer no meio líquido.	Podem originar da dissolução de compostos do solo.	Introdução de despejos industriais.
Cloretos	Ânion geralmente presente em sais, por exemplo, cloreto de sódio.	Proveniente geralmente da dissolução dos minerais ou de introdução de água do mar.	Introdução de esgotos domésticos e efluentes industriais e água de irrigação.
Nitrogênio	Pode estar presentes na água de várias formas: molecular, amônia, nitrito e nitrato.	De proteínas, de compostos biológicos e de composição células de microrganismos.	Esgotos domésticos e industriais, excremento de animais e fertilizantes.
Fósforo	São encontrados na água na forma de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico.	Dissolução de compostos do solo, decomposição da matéria orgânica e excrementos de animais.	Esgotos domésticos e industriais, fertilizantes.
Oxigênio dissolvido	Gás oxigênio dissolvido no meio líquido.	Provém do ar, da fotossíntese das algas e vegetais aquáticos.	Aeração artificial e produção por organismos fotossintéticos em corpo d'água com deficiência desse gás.
Matéria Orgânica	Os compostos de proteínas, óleos, gorduras, carboidratos são os principais componentes orgânicos.	Matéria orgânica vegetal e animal, microrganismos.	Esgotos domésticos e industriais.
Micropoluentes inorgânicos	Presença de metais pesados como: arsênio, cádmio, cromo, chumbo, mercúrio, prata, cobre e zinco também cianetos.	Apresenta pouca importância.	Despejos industriais, atividades agrícolas, garimpos e mineração.
Micropoluentes orgânicos	Resistente à degradação biológica.	Vegetação com madeira (tanino, lignina, fenóis, celulose).	Pesticidas, alguns tipos de detergentes, entre outros produtos químicos tóxicos.

Fonte: (15)

Nota: Adaptado pelo autor.

4.4.3 Parâmetros microbiológicos

Os coliformes termotolerantes são bactérias gram-negativas, em forma de bacilos, podem crescer em ambientes contendo agentes tensoativos; em temperatura de 44 a 45 °C fermentam a lactose produzindo ácido, gás e aldeído. Pode estar presente em fezes humanas e

de animais homeotérmicos, em solos, plantas ou em ambientes que não tenha sido contaminado por substâncias fecais. (2,4)

As bactérias *Escherichia coli* (*E. coli*), pertencente do grupo dos coliformes termotolerantes, é encontrada em fezes humanas e de animais, pois o intestino destes é o habitat exclusivo dessas bactérias. Pertence à família das bactérias enterobacteriaceae e é capaz de produzir indol a partir do aminoácido triptofano. Em ensaios bacteriológicos qualitativos sua presença indica contaminação fecal e possivelmente presença de outras bactérias; razão pela qual esta análise qualitativa é comumente usada para verificar a qualidade bacteriológica da água. (2,4) A Figura 7 apresenta o padrão microbiológico da água para consumo humano.

Figura 7 – Padrão microbiológico da água.

Tipo de água		Parâmetros		VMP(1)
Água para consumo humano		<i>Escherichia coli</i> (2)		Ausência em 100 mL
Água tratada	Na saída do tratamento	Coliformes totais (3)		Ausência em 100 mL
	No sistema de distribuição (reservatórios e rede)	<i>Escherichia coli</i>		Ausência em 100 mL
		Coliformes totais (4)	Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem menos de 20.000 habitantes.	Apenas uma amostra, entre as amostras examinadas no mês, poderá apresentar resultado positivo.
			Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem a partir de 20.000 habitantes.	Ausência em 100 mL em 95% das amostras examinadas no mês.

Fonte: (4)

Notas: Adaptado pelo autor

(1) Valor máximo permitido.

(2) Indicador de contaminação fecal.

(3) Indicador de eficiência de tratamento.

(4) Indicador de integridade do sistema de distribuição (reservatório e rede).

Na água podem ser encontrados gêneros de bactérias e protozoários considerados patogênicos ao ser humano. A Figura 8 apresenta alguns agentes infecciosos encontrados mundialmente em água. (7)

Figura 8 - Principais agentes infecciosos encontrados mundialmente em água.

Bactérias	Vírus	Protozoários	Helmito
<i>Campylobacter jejuni</i>	<i>Adenovirus</i> (31 tipos)	<i>Balantidium coli</i>	<i>Ancylostoma duodenale</i>
<i>Escherichia coli</i>	<i>Enterovirus</i> (71 tipos)	<i>Entamoeba histolytica</i>	<i>Ascaris lumbricoides</i>
<i>Salmonella</i>	<i>Hepatite A</i>	<i>Giardia lamblia</i>	<i>Echinococcus granulosus</i>
<i>Shigella</i>	<i>Norwalk</i>	<i>Cryptosporidium</i>	<i>Necator americanus</i>
<i>Vibrio cholerae</i>	<i>Reovirus</i>		<i>Fasciolopsis buski</i>
<i>Yersina enterocolitica</i>	<i>Coxsackie</i>		<i>Strongyloides stercoralis</i>
	<i>Ratavirus</i>		<i>Taenia solium</i>

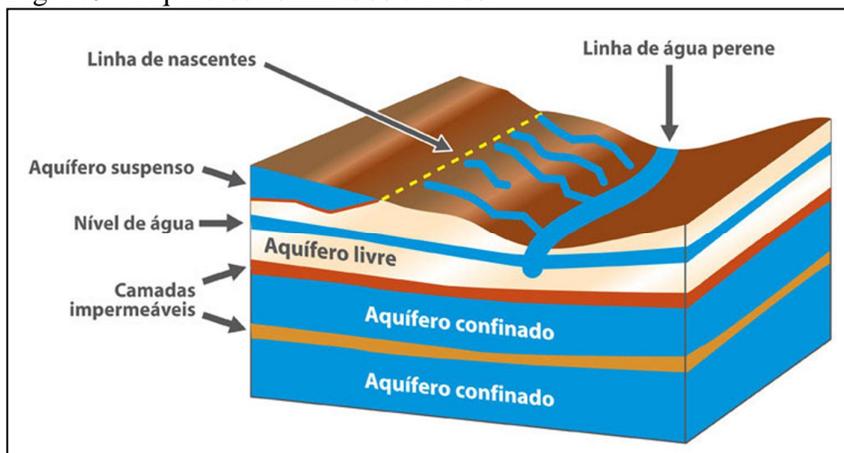
Fonte: (7)

4.5 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Água subterrânea é toda água que se encontra abaixo da superfície da Terra e que, penetrando no solo poroso, preenche os vazios intergranulares das rochas sedimentares, as fraturas, fendas e falhas das rochas compactas até atingir a camada impermeável de rochas ou argilas formando assim os aquíferos. (2)

O aquífero é uma formação geológica do subsolo capaz de armazenar e transmitir água, é formado por rochas permeáveis que armazenam água em seus poros ou fraturas, conforme é ilustrado na Figura 9. (3)

Figura 9 - Aquíferos confinados e livres.



Fonte: (16)

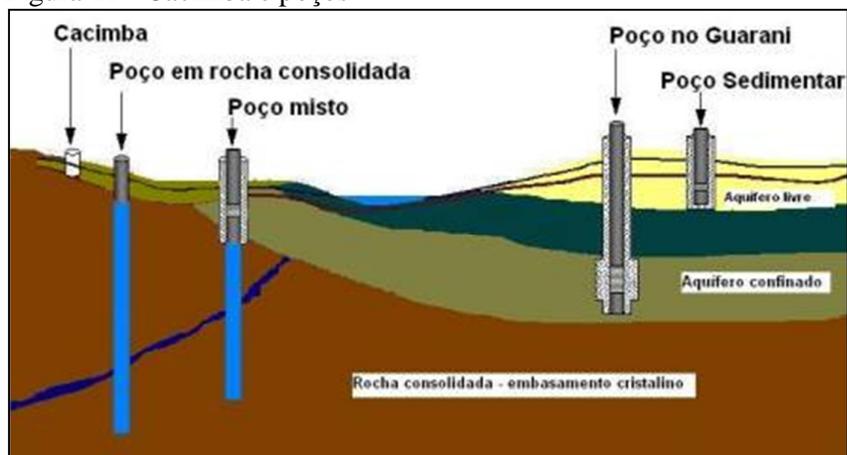
possui produtividade média; abastece várias cidades como São José do Rio Preto, Votuporanga, Araçatuba, Fernandópolis, entre outras. (18)

4.6 POÇOS

O poço é a obra de engenharia geológica com finalidade de extrair águas subterrâneas através de perfuração vertical utilizando perfuratrizes, apresenta diâmetro inferior a 1 metro e profundidade superior a 30 metros, geralmente revestido com tubos de PVC ou aço. Os poços escavados geralmente apresentam diâmetro superior a 1 metro e profundidade inferior a 30 metros, perfurados com ou sem auxílio de perfuratriz, revestidos com tijolos, pedra ou concreto. (1,3,19)

Pela energia da compressão entre as rochas dos aquíferos a água pode sofrer elevação, esse fenômeno recebe o nome de artesiano. Os poços artesianos jorrantes são aqueles que a água jorra até a sua superfície sem auxílio de bombas, já os poços artesianos necessitam de sistemas de bombeamento para a retirada da água. Águas dos poços rasos (geralmente poços escavados) estão sujeitos a contaminações devido às sujeiras presentes na superfície do solo e por infiltração dos efluentes de fossas. (1) A Figura 11 apresenta a captação de água nos aquíferos através dos poços.

Figura 11 - Cacimba e poços



Fonte: (20)

Em poços rasos a extração pode ser realizada manualmente, porém, em poços profundos normalmente são utilizados bombas do tipo vertical ou bombas palito. (2)

4.7 ÁGUAS SUPERFICIAIS

Pelo afloramento das águas subterrâneas e pela precipitação atmosférica são formadas as águas superficiais que podem se organizar em fluxos permanentes ou intermitentes, ou seja, rios perenes ou intermitentes. Águas de chuva podem transportar cargas poluentes para os rios, essa carga é chamada de carga difusa e suas características dependem dos ambientes próximos aos rios. (2)

A delimitação de áreas protegidas denominadas como Áreas de Proteção Permanente (APP), localizadas nas margens de rios e locais de desenvolvimento da mata ciliar, representam o cuidado com mangues, brejos e estuários, áreas que, além da riqueza de espécies, possuem grande vulnerabilidade ambiental. Essa delimitação também evidencia as necessidades mínimas estabelecidas na preservação de recursos hídricos. (2)

5 TECNOLOGIAS NO TRATAMENTO DE ÁGUA

Teoricamente seja qual for a qualidade da água, do ponto de vista tecnológico, pode-se transformá-la em água potável. Quando a água apresentar elevado nível de contaminação, conseqüentemente aumenta os custos e a confiabilidade de operação no tratamento. As estações de tratamento de água (ETAs), geralmente não são projetadas para a remoção de substâncias ou elementos tóxicos. É interessante o uso de indicadores biológicos na água bruta (água sem tratamento) no início do processo; onde pequena quantidade da água pode ser desviada de forma contínua para um recipiente contendo os indicadores biológicos. Como já mencionado, o manancial pode ser contaminado por substâncias ou elementos tóxicos decorrente do uso de agrotóxicos na agricultura, tipo de solo da bacia hidrográfica e excreção de subprodutos pelas algas e outros organismos do meio aquático. (7)

5.1 COAGULANTES

Resumem-se em dois grupos as tecnologias de tratamento de água: sem coagulação química e com coagulação química, conforme a Figura 12. A aplicação ou não do pré-tratamento depende da qualidade da água bruta, após a coagulação química a água pode ser submetida a vários caminhos conforme a necessidade. (7)

Para a coagulação existe uma variedade de coagulantes químicos, como: cloreto férrico, sulfato férrico, hidroxicloreto de alumínio, sulfato de alumínio, entre outros. (7) “O

sulfato de alumínio é um produto bastante utilizado na coagulação, sendo, também, usados: cloreto férrico, sulfato ferroso, sulfato férrico, polímeros sintéticos”. (1) As equações a seguir apresentam reações de hidrólise de alguns coagulantes. (7)

Cloreto férrico:



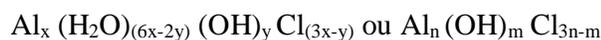
Sulfato férrico:



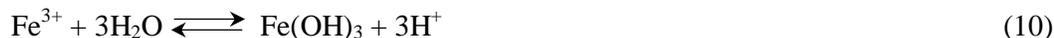
O hidróxido de ferro também sofre reação de hidrólise.



O hidroxocloreto de alumínio apresenta fórmula química geral:



Para água isenta de impurezas, 25 °C, o íon ferro apresenta as seguintes reações de hidrólise. (7)



Para água isenta de impurezas, 25 °C, o íon Alumínio apresenta as seguintes reações de hidrólise. (7)

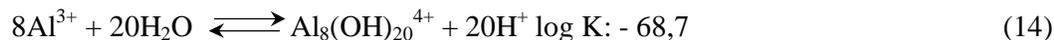
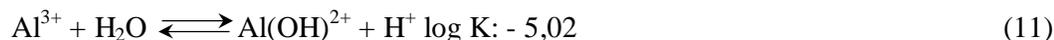
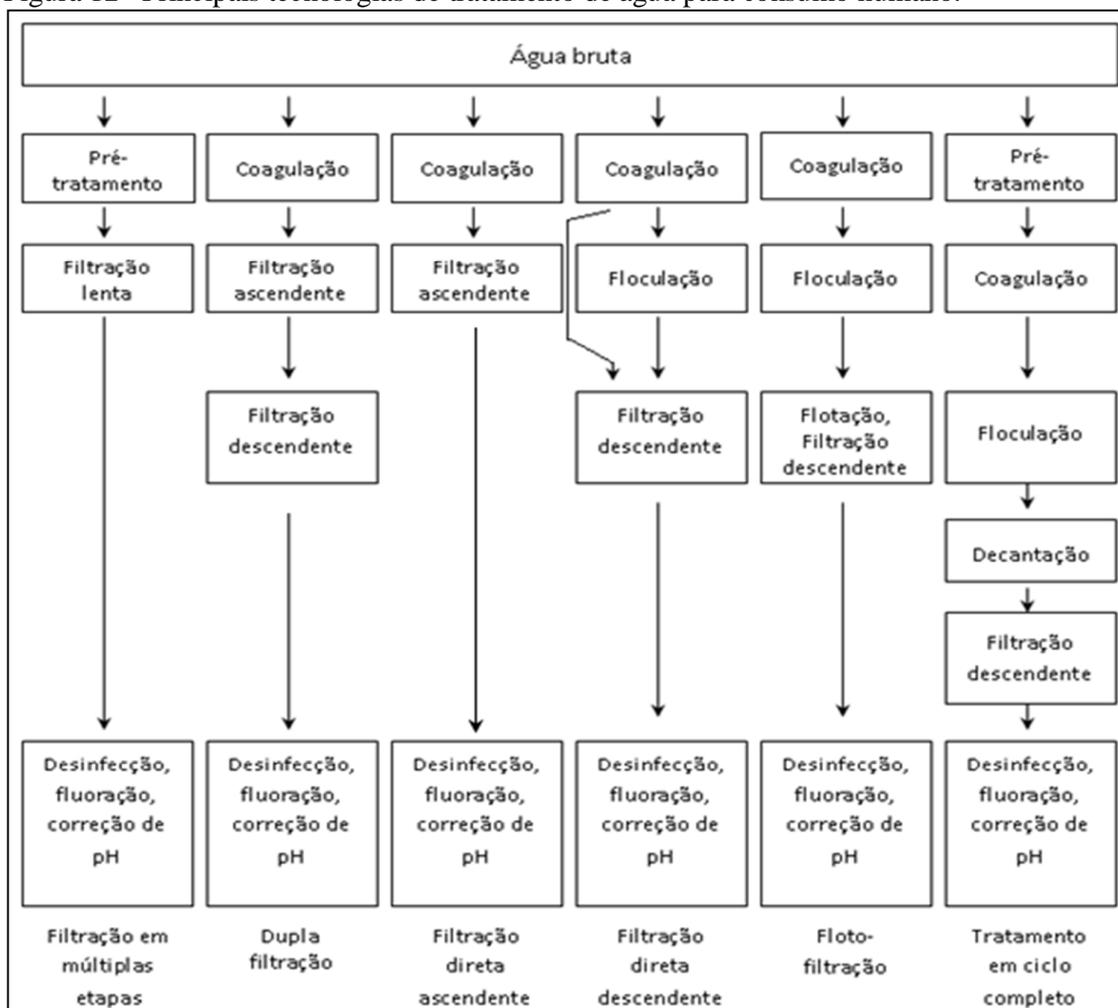




Figura 12– Principais tecnologias de tratamento de água para consumo humano.



Fonte: (7)

Nota: Adaptado pelo autor.

5.2 TRATAMENTO SIMPLIFICADO

As operações unitárias que constituem geralmente o tratamento simplificado é a filtração, desinfecção, fluoretação e quando necessário a correção de pH. Águas que recebem estes procedimentos em geral são águas subterrâneas que na extração tenha ocorrido arraste de partículas suspensas na água, sendo que apenas com filtração a qualidade da água atende ao padrão de potabilidade exigido por lei não acarretando risco à saúde pública. (7)

5.3 TRATAMENTOS EM CICLO COMPLETO

No tratamento de ciclo completo para a coagulação da água bruta geralmente é utilizado um sal de alumínio ou de ferro, ocorre formação de precipitados do metal do coagulante, este precipitado aprisiona as impurezas. A mistura rápida favorece a coagulação, sendo que essa mistura pode ser mecânica ou hidráulica. Na etapa seguinte, a água coagulada é submetida à agitação lenta por um período de tempo até que os flocos alcancem tamanhos e massa específica suficiente para que ocorra a decantação nos decantadores ou flotação nos flotadores. Na sequência do processo a água clarificada é então filtrada. Os filtros descendentes geralmente são compostos por areia ou antracito e areia (camada dupla). A lavagem dos filtros é realizada com água ou ar e água, geralmente a cada vinte e quatro horas, por retrolavagem. A água utilizada na lavagem é recuperada, retornando aos flocluladores. (3,7)

6 ETAPAS DO TRATAMENTO DE ÁGUA – CICLO COMPLETO

As etapas que consiste o tratamento em ciclo completo geralmente são: pré-tratamento, coagulação, floclulação, decantação, filtração descendente, desinfecção, flouoração e se necessário, correção de pH. (3)

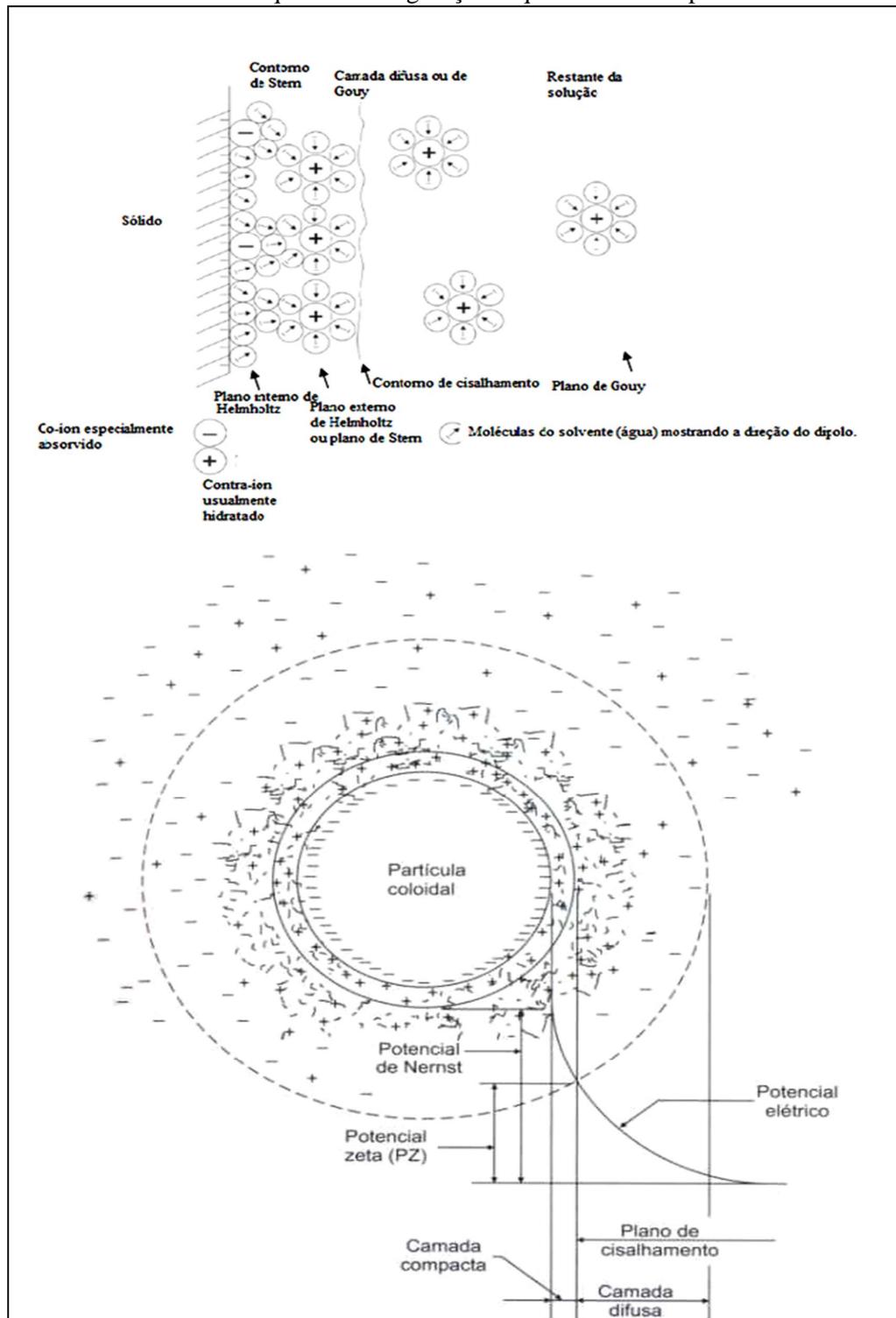
6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS – IMPUREZAS NA ÁGUA

As impurezas que podem conter na água são partículas coloidais, substâncias húmicas, organismos em geral, etc. Estas impurezas geralmente apresentam cargas negativas e repelem-se uma das outras quando em suspensão na água. Os coloides, com características semelhantes ao se aproximarem as camadas difusas se interagem ocorrendo a repulsão devido à força eletrostática entre eles. Para serem removidas do meio líquido é necessário alteração nas características da água e conseqüentemente nas características das impurezas através da coagulação, floclulação, sedimentação e filtração. (7)

concentração de íons positivos próximos à superfície do coloide onde forma a camada difusa, com concentração menor de íons. O coloide na água cria o potencial elétrico que diminui com a distância a partir da sua superfície. Entre a superfície do coloide e os íons de carga contrária existe uma distância mínima e o potencial elétrico decresce linearmente. O potencial elétrico passa pela fronteira das camadas compacta e difusa, “[...] região em que o potencial elétrico é chamado de potencial Zeta (PZ)”.

Quando a partícula é forçada a se mover no meio líquido, algumas cargas que equilibram o sistema acompanham o coloide e outras não. O invólucro líquido que se movimenta junto com o coloide é definido por uma superfície de cisalhamento, a qual apresenta potencial elétrico diferente daquele presente na superfície da partícula. Esse potencial é chamado de potencial Zeta, e apresenta grande importância para o processo de coagulação. (3)

Figura 14 - Representação esquemática da dupla camada elétrica nas vizinhanças de uma interface sólido-líquido e configuração esquemática da dupla camada elétrica.



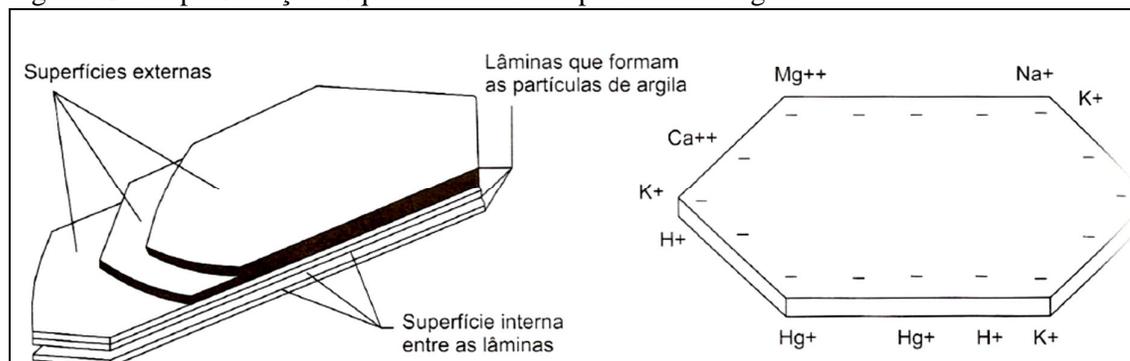
Fonte: (7)

Nota: Adaptado pelo autor.

6.1.2 Argila

É comum a presença de argilas nas águas superficiais. Estas impurezas são coloides hidrofóbicos, ou seja, tem pouca afinidade com a água; em torno de sua superfície não encontra filme líquido e concentrações elevadas apresentam interferência no processo de tratamento da água. Na argila podem-se encontrar minerais, matéria orgânica, quartzo, mica, pirita e calcita. A Figura 15 ilustra a representação esquemática de uma partícula de argila. (7)

Figura 15 - Representação esquemática de uma partícula de argila.



Fonte: (7)

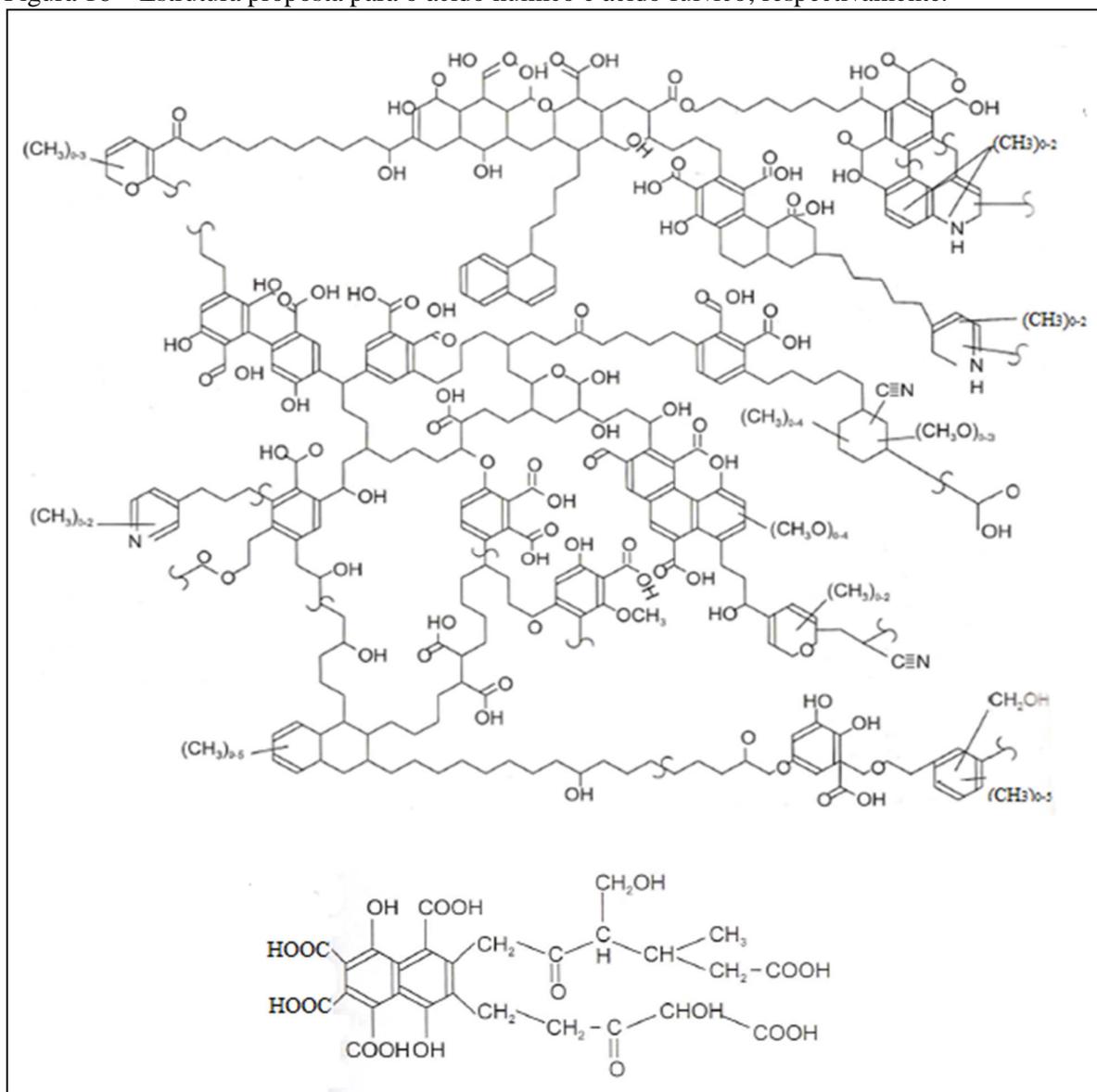
6.1.3 Substâncias húmicas

As substâncias húmicas reagem com metais pesados formando complexos estáveis, tem afinidade em complexar principalmente cátions bivalentes. Complexa os metais pesados do solo e das águas naturais sendo considerado fator de contaminação, pois aumenta seu tempo de resistência, porém por outro lado diminui a concentração de metais livres no solo reduzindo a toxicidade dos mesmos. (7)

As substâncias húmicas são constituídas de uma mistura heterogênea de compostos, cada fração (ácido húmico, ácido fúlvico e humina) possuindo uma série de moléculas de tamanhos diferentes e a maioria delas não tendo a mesma configuração estrutural ou grupos reativos na mesma posição. O ácido húmico é a fração das substâncias húmicas solúvel em meio alcalino, que precipita pela acidificação. O ácido fúlvico permanece em solução quando o meio é acidificado e a humina é a fração insolúvel tanto em álcali quanto em ácido. (7)

A Figura 16 apresenta a estrutura proposta para o ácido húmico e fúlvico, respectivamente.

Figura 16 – Estrutura proposta para o ácido húmico e ácido fúlvico, respectivamente.



Fonte: (7)

6.2 MISTURA RÁPIDA E COAGULAÇÃO

Como já foi citado, na água podem ser encontradas várias impurezas como, partículas coloidais, substâncias húmicas e organismos em geral e ocorrem interações entre estas partículas.

[...] a interação entre as partículas decorre da ação de três mecanismos distintos: interação *pericinéctica* – em decorrência da energia térmica (movimento Browniano), as moléculas de água causam movimento errático das partículas, favorecendo encontros entre as mesmas; interação *ortocinéctica* – tanto no escoamento laminar como no turbulento, os gradientes de velocidade são responsáveis pelos encontros das partículas; *sedimentação* – partículas com diferentes velocidades de sedimentação podem se encontrar. (7)

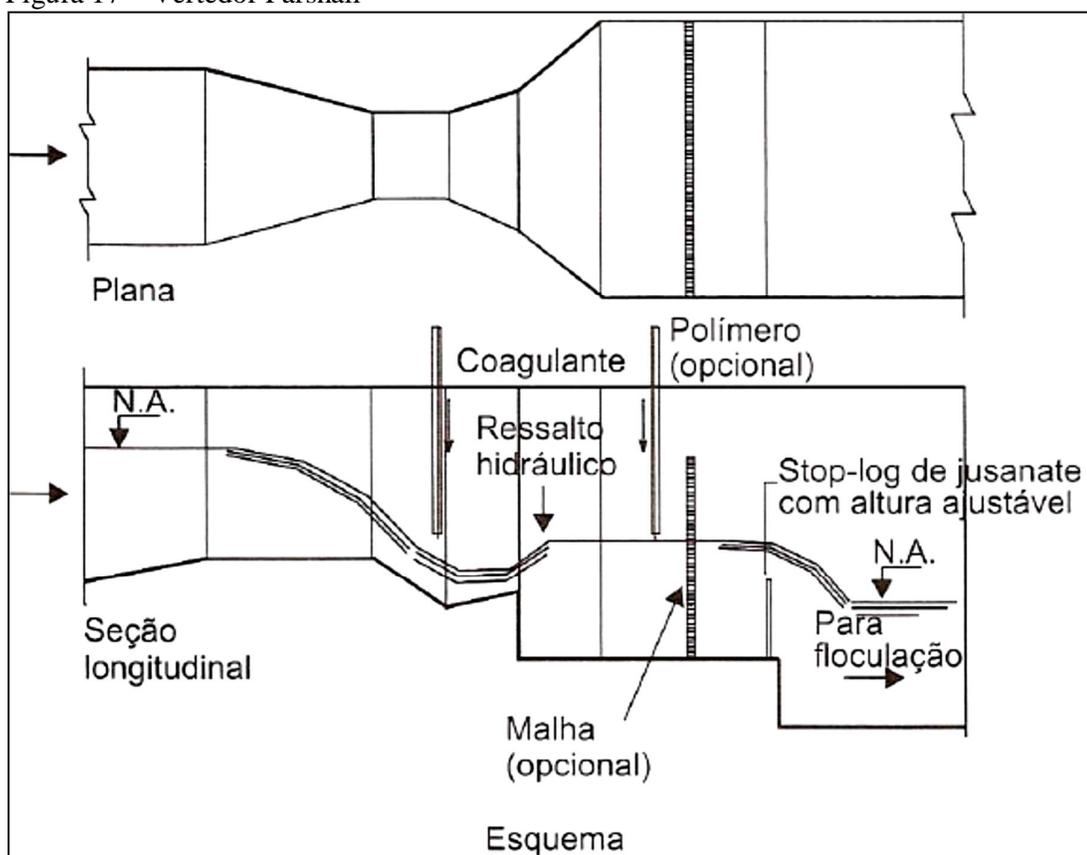
Na unidade de mistura rápida é aplicada a solução do coagulante. Com a utilização de sais de alumínio ou de ferro como coagulante, dois fenômenos importantes ocorrem na coagulação; fenômeno físico e fenômeno químico. O coagulante reage com a água e forma espécies hidrolisadas com cargas positivas (conforme equações apresentadas anteriormente). Esse fenômeno químico depende do pH final da mistura e concentração do metal do coagulante. O transporte das espécies hidrolisadas com finalidade de promover contato entre as impurezas presentes na água é denominado fenômeno físico. É rápido o processo na unidade de mistura rápida, podendo variar desde fração de segundo a segundos; tendo necessidade de posterior agitação lenta onde ocorre a formação de flocos. O pH, temperatura, condutividade elétrica, concentração de impurezas, entre outros fatores, podem influenciar no processo de tratamento da água. (7)

A mistura rápida proporciona a mistura dos produtos químicos na água cooperando à interação entre o coagulante e a água, onde são formadas espécies hidrolisadas que interagem com as impurezas existentes no meio líquido. “Para que se processe uma boa coagulação, necessita-se de uma mistura intensa, conseguida através de uma agitação adequada que tem a função de produzir turbulência, caracterizada pelos gradientes de velocidade por ela criados”. (26) Esta mistura intensa é responsável pela distribuição uniforme dos produtos químicos utilizado no início do processo de tratamento da água, proporcionando o contato destes produtos químicos com as impurezas existentes em suspensão no meio líquido. (26)

6.3 VERTEDOR PARSHALL

Unidade de mistura rápida tipo calha Parshall é muito utilizado em várias estações de tratamento de água. A geometria do vertedor Parshall é projetada para proporcionar à água agitação intensa favorecendo a mistura rápida logo após a adição dos produtos químicos utilizado para coagulação da água. Apresenta vantagens pela facilidade de construção, aquisição, custos baixo, facilidade na medição de vazão e pouca perda de carga. Instalação de comporta tipo vertedor indicado na Figura 17 evita que a mistura da água seja prejudicada quando é reduzida a vazão de entrada de água bruta na ETA. (7)

Figura 17 – Vertedor Parshall



Fonte: (7)

Nota: N.A.: nível da água.

6.4 MECANISMOS DE COAGULAÇÃO

A coagulação é a “Aplicação de substâncias coagulantes à água, as quais tem a característica de fazer com as minúsculas partículas presentes na mesma se aglutinem, formando flocos, os quais serão, posteriormente, sedimentados ou filtrados”. (1) Também entende-se por coagulação “[...] o processo de reação química do coagulante na água e seus efeitos”. (26)

As impurezas presentes nas águas superficiais tais como partículas coloidais, substâncias húmicas e micro-organismos geralmente apresentam-se com cargas negativas. Os coloides hidrofílicos, geralmente orgânicos, por exemplo, proteínas, apresentam afinidade em reagir com a água, pois na sua superfície contem grupos solúveis em água, sendo eles: grupo amino, carboxil, sulfônico e hidroxila. Estes grupos cooperam à hidratação dos coloides formando um filme em torno de sua estrutura, conhecido como água de hidratação. (3)

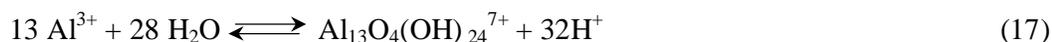
A ionização dos grupos presente na superfície dos coloides, adsorção de íons da solução ao seu redor, déficit iônico no interior da estrutura do metal, por exemplo, argila, ionização do grupo amino e carboxil da superfície, micro-organismos e proteínas, cooperam para com que os coloides adquiram cargas superficiais. Geralmente tanto os coloides hidrofílicos (proteínas e microrganismo) quanto os coloides hidrofóbicos (argila) possuem cargas superficiais negativas quando presentes em águas naturais. Devido às cargas iguais ocorre a repulsão entre si, sendo esta a razão de permanecerem em suspensão. (3)

Para desestabilizar um colóide é necessário adição de íons de carga opostas à das partículas coloidais. Interações entre os coloides presentes na água e produtos da hidrólise do coagulante desestabilizam as partículas coloidais. As interações coagulante-coloide, coagulante-solvente e coloide-solvente, desestabiliza a dispersão coloidal, ocorrendo então, adsorção e neutralização de carga. Conforme visto anteriormente, sais de ferro ou alumínio geralmente são utilizados no processo de tratamento de água; apresentam características de hidrólise e adsorção. Quanto maior a carga positiva do íon do coagulante, menor quantidade será necessária para a coagulação. A quantidade de eletrólito para a coagulação praticamente não é proporcional à quantidade de colóide presentes na água. (3,7)

[...] não há dosagem ótima de coagulante e tão pouco pH ótimo de coagulação, termos geralmente usados na prática. Na verdade, há um par de valores “dosagem de coagulante x pH de coagulação” considerado apropriado, que é selecionado levando-se em conta alguns aspectos, tais como a não necessidade do uso de alcalinizante ou de acidificante, a turbidez remanescente, os custos com produtos químicos, etc. (7)

Porém são observadas alterações significativas no mecanismo de coagulação ao se aplicar variação de pH, mantendo constante a dosagem do coagulante e vice versa. (7)

A Figura 18 apresenta o mecanismo de coagulação por adsorção e neutralização de carga e o mecanismo de varredura com utilização de sulfato de alumínio, $Al_2(SO_4)_3$, como coagulante. Ao adicionar o sulfato de alumínio na água, ocorrem reações de hidrólise antes de formar o precipitado amorfo. A formação de precipitado, $Al(OH)_3$, ou $Fe(OH)_3$, ocorre em função da quantidade usada de coagulante, pH da mistura e concentrações de alguns tipos de íons presentes na água. Os prótons liberados (H^+) consomem substâncias com características alcalinas presentes na água, caso exista. Dosagem superiores a 30 ppm de $Al_2(SO_4)_3$ e pH entre 6 e 8 há formação elevada do $Al(OH)_3$; todavia, quando pH inferior a 5,7 pode haver formação de espécie polimérica conforme equação 17. (7)



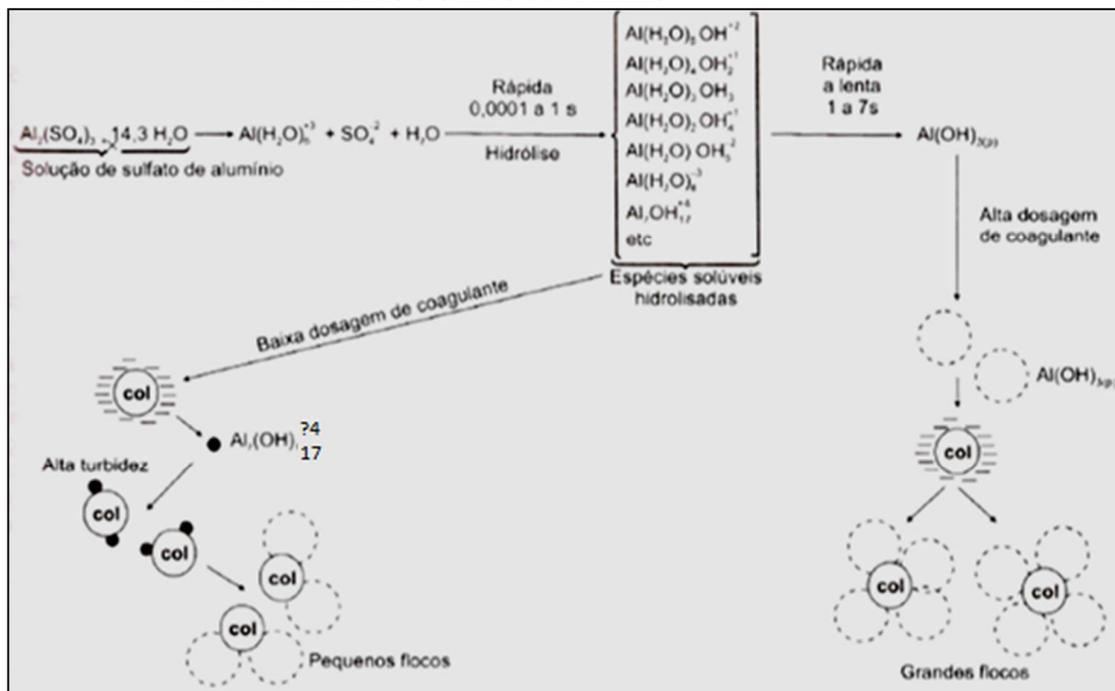
Os dois principais mecanismos de coagulação quando são utilizados sais de ferro ou alumínio são a coagulação por adsorção e neutralização de cargas e a coagulação por varredura. No primeiro, toma-se partido da adsorção das espécies hidrolisadas solúveis com carga positiva na superfície dos coloides (com cargas negativas), que causa diminuição do potencial Zeta destes e conseqüentemente redução ou eliminação da barreira de energia, resultando na agregação das partículas. (3)

A ocorrência do mecanismo de adsorção e neutralização de carga geralmente requer pequenas dosagens do coagulante, todavia pode ocorrer risco de reestabilização dos coloides se o mesmo for aplicado em excesso. “[...] os coloides se reestabilizam após adquirirem carga superficial positiva devido à adsorção de excesso de cargas positivas geradas pelo coagulante”. (3) As estações de tratamento de água com filtração direta em que o mecanismo de adsorção e neutralização de carga proporciona água afluyente aos filtros com baixa concentração de sólidos em suspensão geralmente adere este mecanismo. (3)

O mecanismo de coagulação pela varredura apresenta-se mais eficiente que o mecanismo de coagulação por neutralização de cargas quando aplicado no tratamento de água para clarificação da mesma pela decantação pelo fato de proporcionar grandes flocos. (7)

O mecanismo de coagulação por varredura, por sua vez, caracteriza-se pela adição de dosagens significativamente maiores de coagulante, o qual, desde que haja disponibilidade de alcalinidade, valores de pH adequados e concentração de certos íons na água, hidrolisa e reage com a alcalinidade da água formando grande concentração de precipitado (gelatinoso) de hidróxido de ferro ou alumínio. Dessa forma, promove-se a captura das partículas pelos precipitados volumosos de hidróxido metálico. (3)

Figura 18 - Caminhos para a coagulação por adsorção e neutralização de carga e por varredura utilizando o sulfato de alumínio.



Fonte: (7)

6.5 CONTROLES DO PROCESSO DE COAGULAÇÃO

Alguns métodos de controle do processo de coagulação podem ser adotados, por exemplo, dosagem de “coagulante x pH de coagulação” (determinado em testes em jarros), medição de potencial Zeta de forma contínua, pH de coagulação, entre outros procedimentos. (7)

A Tabela 1 apresenta alguns dados de amostras de diferentes mananciais onde é possível observar que algumas águas coaguladas apresentam potencial Zeta positivos e outros negativos com mesma dosagem de coagulante nas amostras, todavia “[...] é difícil afirmar que a coagulação necessariamente precisa ser efetuada com potencial Zeta próximo do zero”. (7) Como já citado anteriormente, o pH, condutividade elétrica, temperatura, entre outras características da água bruta, são fatores que podem afetar a coagulação. (7)

Tabela 1- Dados de amostras de diferentes mananciais submetidas à coagulação.

Amostra	Água bruta				Água coagulada			Água filtrada	
	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)	Turbidez (uT)	ME (μm cm/s V)	PZ (mV)	ME (μm cm/s V)	PZ (mV)	pH	Turbidez (uT)
1	7,9	71,4	10	-1,55	-18,9	+1,09	+14,0	6,9	0,5
2	7,8	92,6	10	-1,47	-19,1	+1,14	+14,8	6,7	0,8
3	7,7	78,7	12	-1,32	-17,2	+1,03	+13,4	6,6	0,5
4	7,7	83,3	10	-1,04	-13,5	+1,16	+14,1	6,5	0,5
5	8,2	250,0	20	-1,32	-17,2	-0,37	-4,8	7,1	0,5
6	8,5	357,1	10	-1,41	-18,3	-0,47	-6,1	7,2	0,1
7	8,0	156,2	8	-1,36	-17,7	-0,29	-3,8	7,1	0,5
8	7,6	285,7	8	-1,43	-18,6	-1,14	-4,8	7,1	1,5
9	7,4	294,1	12	-1,57	-20,4	-1,53	-19,9	7,1	2,5
10	7,5	94,3	10	-1,70	-22,1	+0,85	+11,0	6,6	0,5
11	7,9	133,3	6	-2,09	-27,2	+0,68	+8,8	6,7	0,5
12	8,6	357,1	8	-1,53	-18,9	-0,80	-10,4	7,3	0,1

Fonte: (7)

Notas: CE: condutividade elétrica; ME: mobilidade eletroforética; PZ: potencial zeta.

6.6 FLOCULAÇÃO

Interações ocorrem entre as impurezas desestabilizadas, precipitado do metal do coagulante, espécies hidrolisadas positivas e partículas para formação de aglomerados nos floculadores formando flocos com auxílio da agitação lenta. (26)

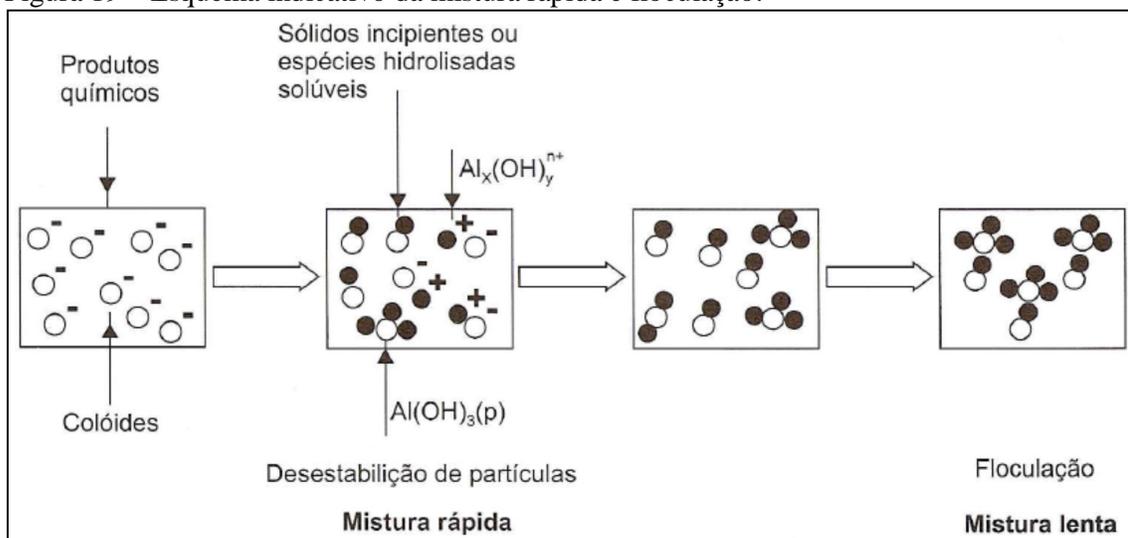
O tempo que a água coagulada deve percorrer até os floculadores não deve superar três minutos; sendo aconselhado que esse percurso seja inferior a um minuto. As estações antigas geralmente possuem canaletas onde percorre a água coagulada. Muitas vezes nesse percurso há a formação de flocos, que ao entrarem nos floculadores pode ocorrer desagregação dos mesmos. (7)

6.7 AGREGAÇÃO E RUPTURA

A ocorrência da formação de flocos é devido o encontro entre as partículas. Esse encontro entre elas proporcionam a agregação e floculação. Para aumentar a taxa de encontro é necessário o aumento da gradiente de velocidade e tempo de floculação, todavia, agitação

intensa pode causar a ruptura dos flocos. A mistura lenta favorece a agregação das partículas desestabilizadas formando os flocos conforme a Figura 19. (7,26)

Figura 19 – Esquema indicativo da mistura rápida e floculação.



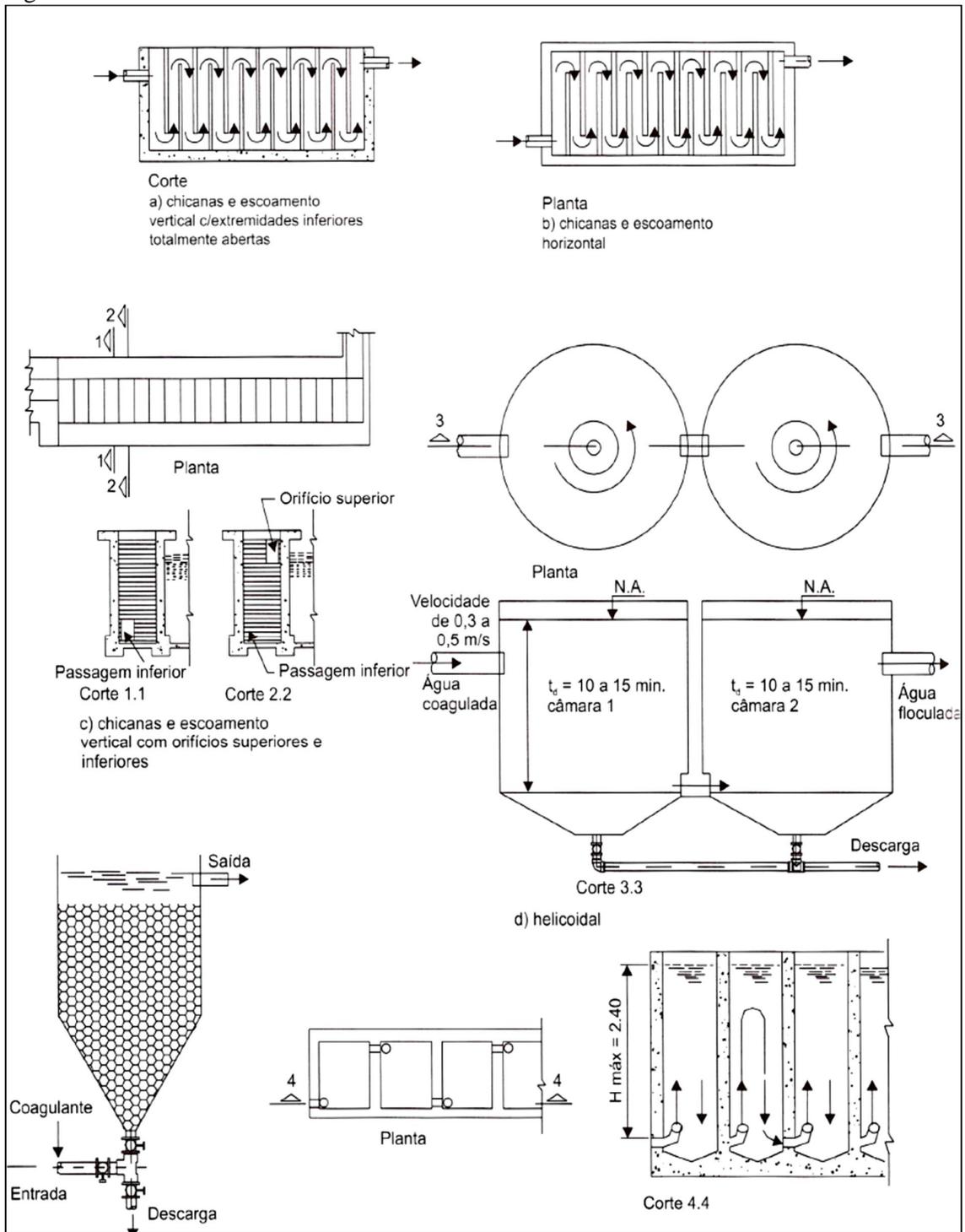
Fonte: (7)

6.8 FLOCULADORES

Existem sistemas de floculação hidráulicos e mecânico. O sistema hidráulico apresenta vantagens, devido, menores custos de implantação, operação e manutenção, porém, desvantagens por apresentar perda de cargas relativamente altas e inflexibilidade à variação de vazão, comumente nas estações de tratamento de água. (7) A Figura 20 apresenta alguns tipos de floculadores hidráulicos; a Figura 21 e 22 apresenta alguns sistemas de floculadores mecanizados e a Figura 23 ilustra o esquema de floculadores em planta e corte longitudinal, respectivamente. (7)

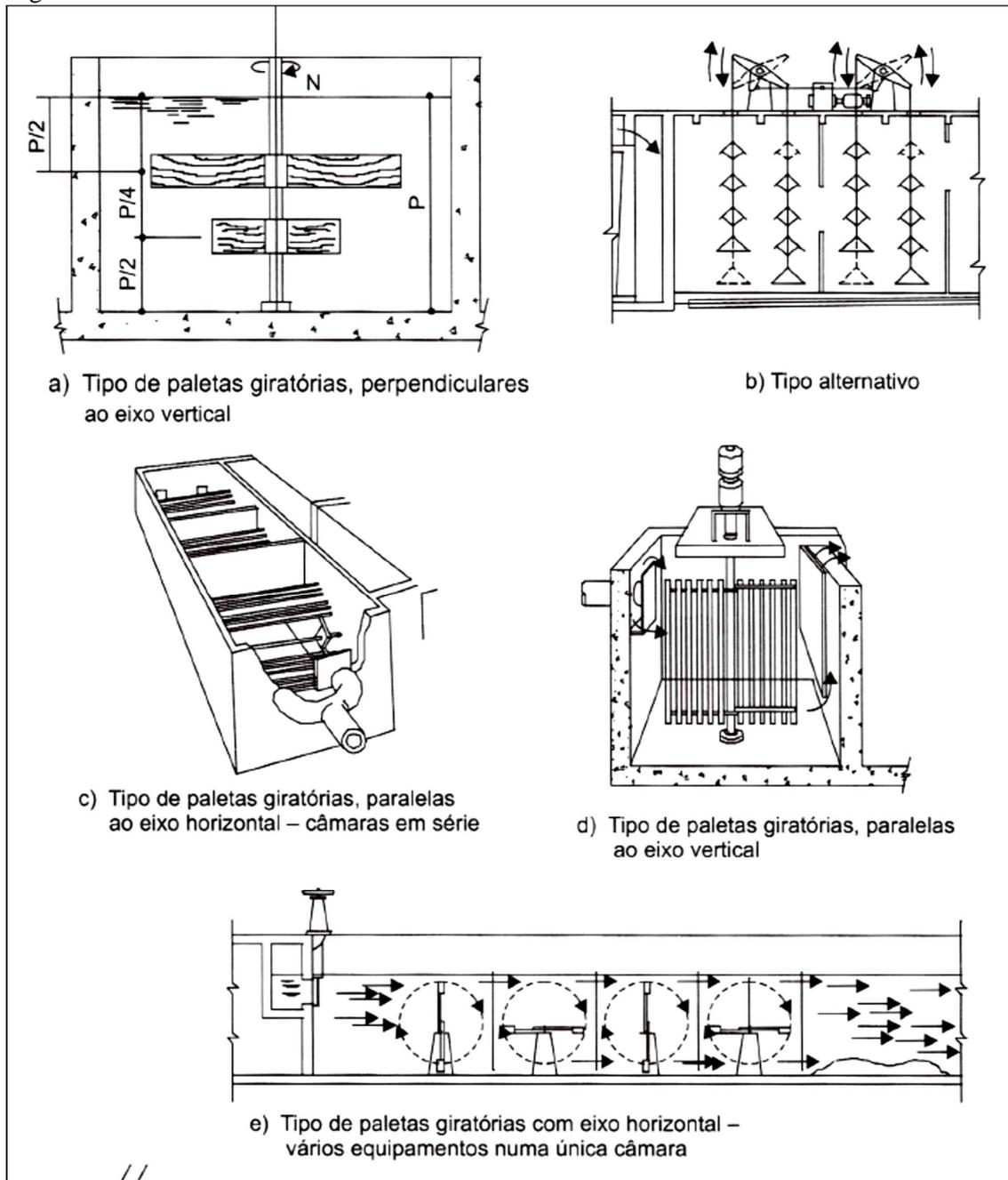
A escolha do tipo de sistema de floculação está condicionada a diversos fatores, como: qualidade da água bruta, mecanismo de coagulação, tamanho das unidades, existência de pessoal qualificado para operação e manutenção, regime de funcionamento (vazão constante ou variável, contínuo ou intermitente), etc.(7)

Figura 20 - Floculadores hidráulicos.



Fonte: (7)

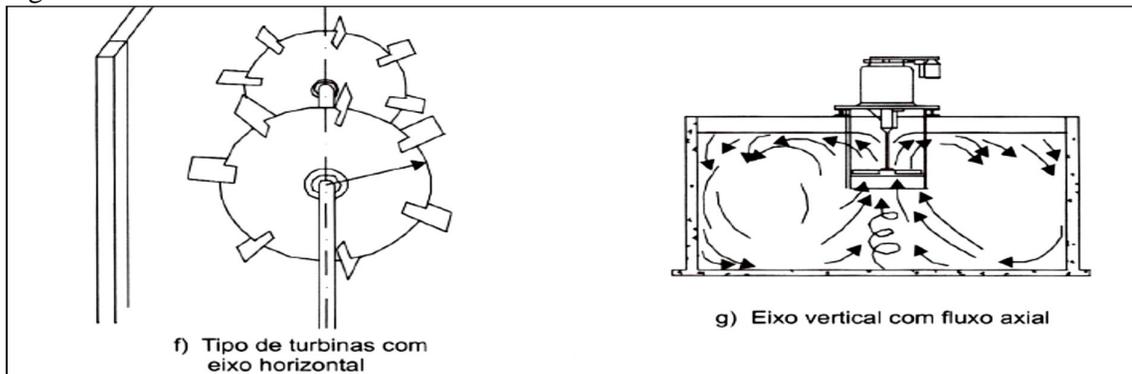
Figura 21 - Floculadores mecanizados.



Fonte: (7)

Nota: Adaptado pelo autor.

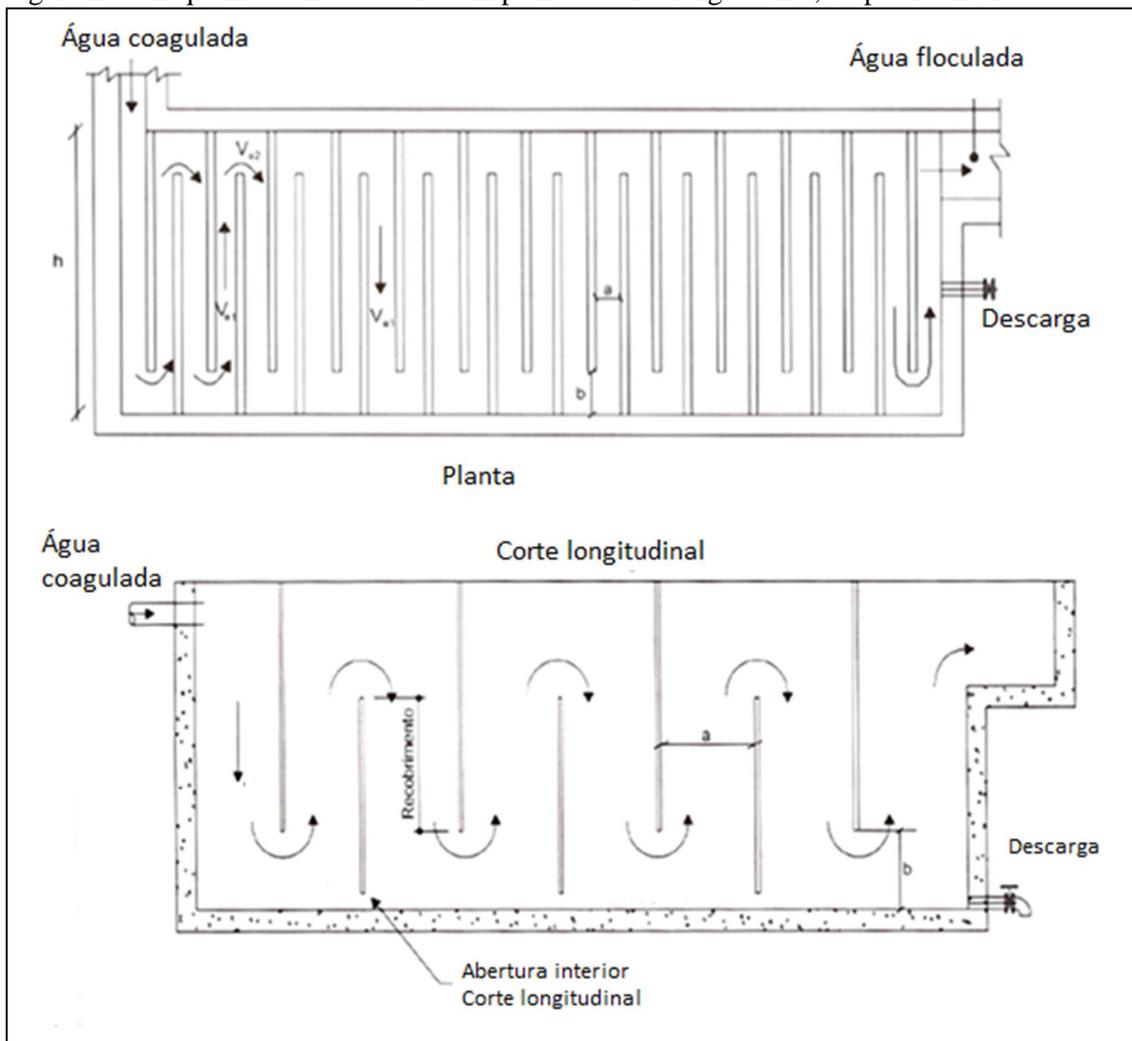
Figura 22 - Floculadores mecanizados.



Fonte: (7)

Nota: Adaptado pelo autor.

Figura 23 – Esquema de floculadores em planta e corte longitudinal, respectivamente.



Fonte: (7)

Nota: Adaptado pelo autor

6.9 SEDIMENTAÇÃO

Sendo os flocos de massa específica mais elevada que a massa específica do meio líquido, tende a se depositarem no fundo do tanque. A separação da fase sólida da líquida propicia a clarificação do meio líquido. (3,7)

Basicamente, a teoria da sedimentação se resume no efeito da gravidade sobre partículas suspensas num líquido de densidade inferior. Sob a influência da gravidade, qualquer partícula que tiver uma densidade maior que a da água, irá sedimentar-se com uma velocidade crescente até o momento em que a resistência do líquido se igualar ao peso efetivo da partícula. Neste momento, a velocidade da sedimentação se torna constante e passa a depender unicamente do tamanho, da forma, do peso específico da partícula como, também, do peso específico e viscosidade da água. (26)

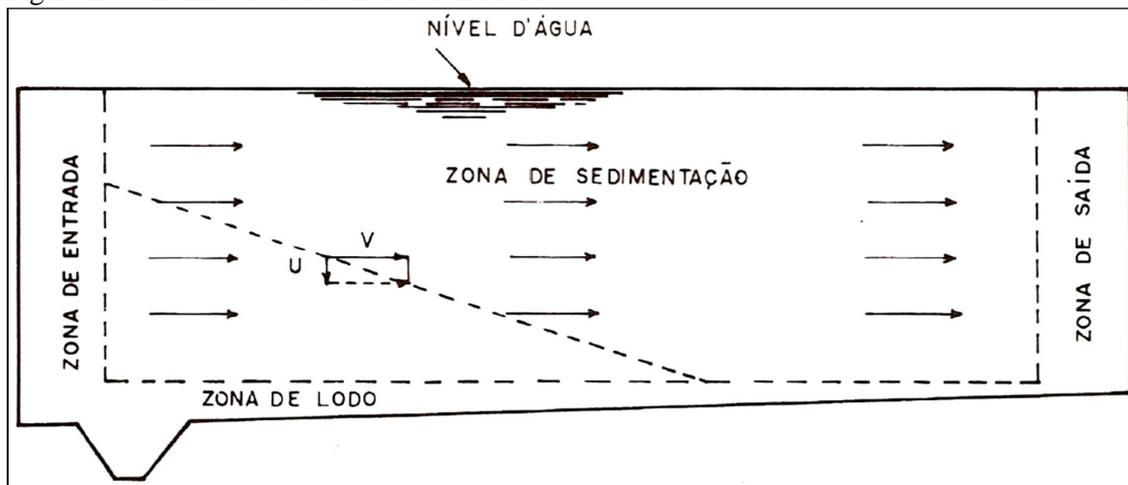
Alguns fatores podem influenciar a sedimentação, tais como: qualidade da água bruta, características químicas da coagulação, parâmetros físicos da floculação, entre outros. Uso de sais de alumínio ou ferro dão as partículas peso de massa específica na faixa de 1.005 a 1.030 kg/m^3 , porém com uso de polímero auxiliando a floculação, dão peso às mesmas de 1.050 kg/m^3 ou até com massa específica mais elevada favorecendo ainda mais a sedimentação. (7)

6.10 DECANTADORES

Existem vários projetos para construção de decantadores. Tais projetos devem considerar estudos realizados em laboratórios e observações de ordem práticas a atender as necessidades de cada estação de tratamento de água. Os decantadores apresentam, para estudo, quatro zonas distintas com funções específicas conforme a Figura 24. (7,26)

- “zona de entrada”, destinada a fornecer uma transição calma do escoamento afluente para o escoamento que é desejado para a zona de sedimentação;
- “zona de saída”, destinada a fornecer uma transição moderada do escoamento da zona de sedimentação para o escoamento efluente;
- “zona de lodo”, destinada a receber o material sedimentado e impedir a sua interferência com a sedimentação;
- “zona de sedimentação”, que fornece o volume do tanque necessário para sedimentação, livre da interferência das outras três. (26)

Figura 24 – Zonas de estudo nos decantadores.



Fonte: (26)

6.11 FILTRAÇÃO

Na etapa de decantação algumas partículas permanecem em suspensão percorrendo até a saída da água decantada se direcionando aos filtros que tem o objetivo de retê-las através do meio poroso. Geralmente nas estações de tratamento de água é utilizado sistema de filtração através dos filtros rápidos ou dos filtros lentos; sendo o primeiro pela ação de profundidade e o outro por ação superficial. (7)

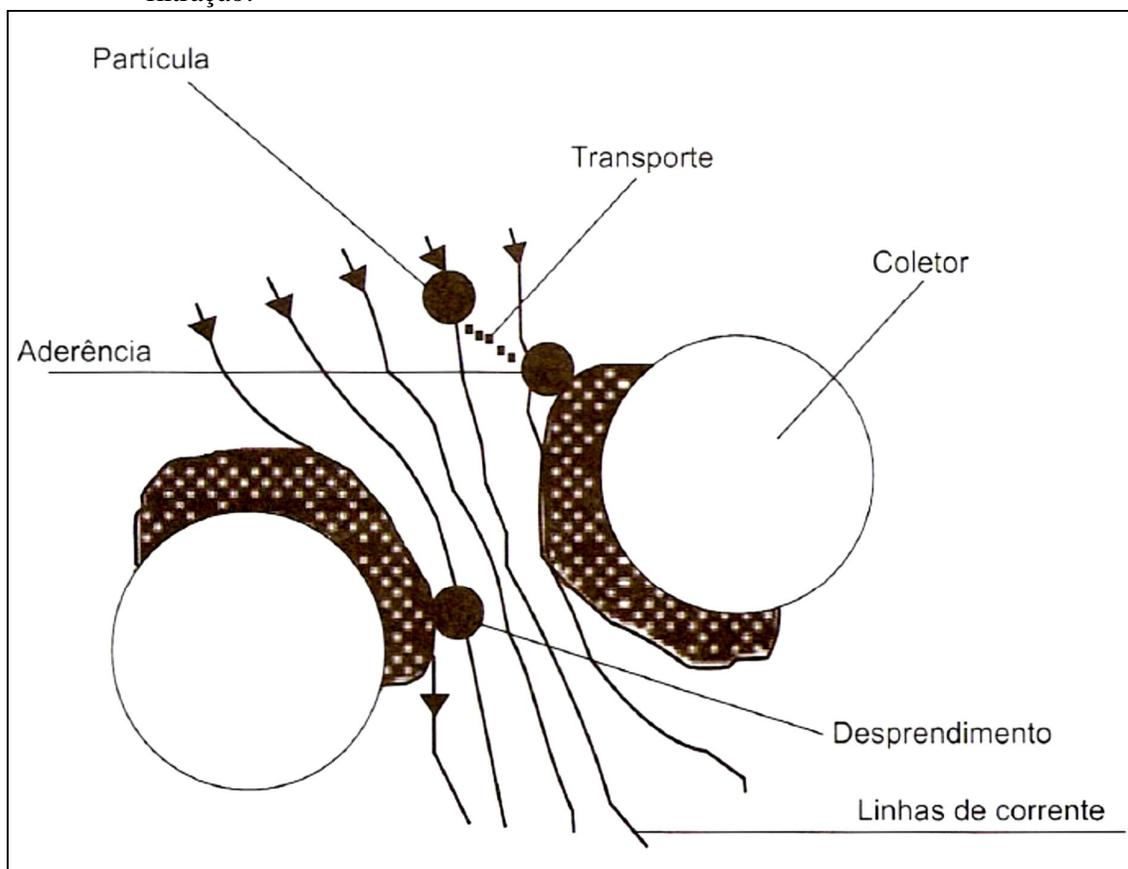
Nos filtros rápidos as impurezas (partículas suspensas, coloidais e microrganismos) são retidas ao longo do meio filtrante. Após certo período de funcionamento, pode ocorrer posterior saturação desse meio filtrante, e se exceder o limite máximo de saturação ocorre então o fenômeno de transpasse (efluente gerado com características idênticas ao afluente). (3) “Quando há o transpasse, significa que foi ultrapassada a capacidade do meio filtrante em reter impurezas, ocasionando, também, aumento do número de organismos no efluente”. (7) Isso afeta a eficiência na desinfecção da água filtrada e conseqüentemente a qualidade da água final. (3)

A filtração por ação superficial predomina a ação de retenção de partículas no topo do meio filtrante. Os filtros funcionam em função da taxa de filtragem, carga hidráulica disponível e perda de carga total em qualquer instante da filtração. (3)

Para remoção das partículas é necessário transportá-las da linha de corrente até aproximá-las dos coletores onde se acumularam em diversidades de configurações geométricas. Ao ficarem aderidas aos coletores, comportam-se como coletores adicionais

favorecendo a retenção de outras partículas no decorrer da filtração. Este transporte é em decorrência dos seguintes mecanismos: impacto inercial, interceptação, sedimentação, difusão e ação hidrodinâmica. A Figura 25 apresenta a ilustração do mecanismo de transporte, aderência e desprendimento de partículas durante a filtração. (7)

Figura 25 - Mecanismo de transporte, aderência e desprendimento de partículas durante a filtração.



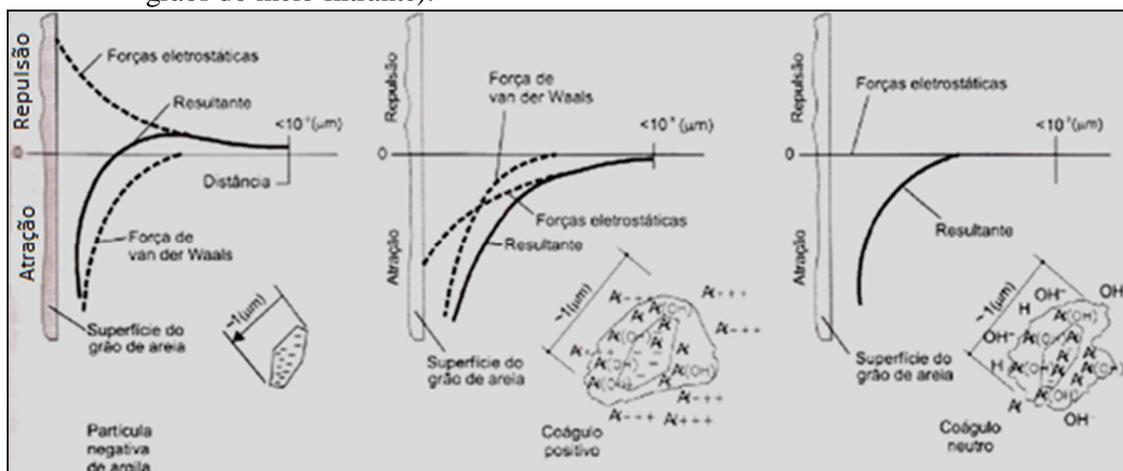
Fonte: (7)

6.12 MECANISMOS DE ADERÊNCIA

As partículas ao se aproximarem dos coletores (grãos) são capturadas e aderidas pelo mecanismo de aderência. Partículas neutralizadas após coagulação e floculação apresentam-se melhor aderência ao meio filtrante se comparadas com partículas de meio líquido sem utilização de coagulante, são geralmente estáveis, como suspensão de argila em meio filtrante. A aderência está relacionada a dois fenômenos: interação entre as forças eletrostáticas e as forças de van de Waals e interação superficial de origem química. (7)

Os grãos do meio filtrante submerso na água possuem carga superficial negativa. Na Figura 26 são apresentadas três situações relacionadas à partícula de argila. A partícula (a) apresenta barreira de energia entre os grãos do meio filtrante e a partícula impedindo a aderência. A partícula (b) apresenta excesso de carga positiva, diminuindo a aderência pela ocorrência do aumento de carga positiva na superfície dos grãos. A partícula (c) está neutralizada onde principalmente na filtração direta apresenta condições ideais à filtração. Algumas interações químicas podem ocorrer entre as partículas e a superfície dos grãos do meio filtrante em termos de ligações químicas, por exemplo, ligações de hidrogênio, troca iônica e adsorção mútua. (7)

Figura 26 – Interações entre as forças eletrostáticas e as de van de Waals (partícula de argila e grãos do meio filtrante).



Fonte: (7)

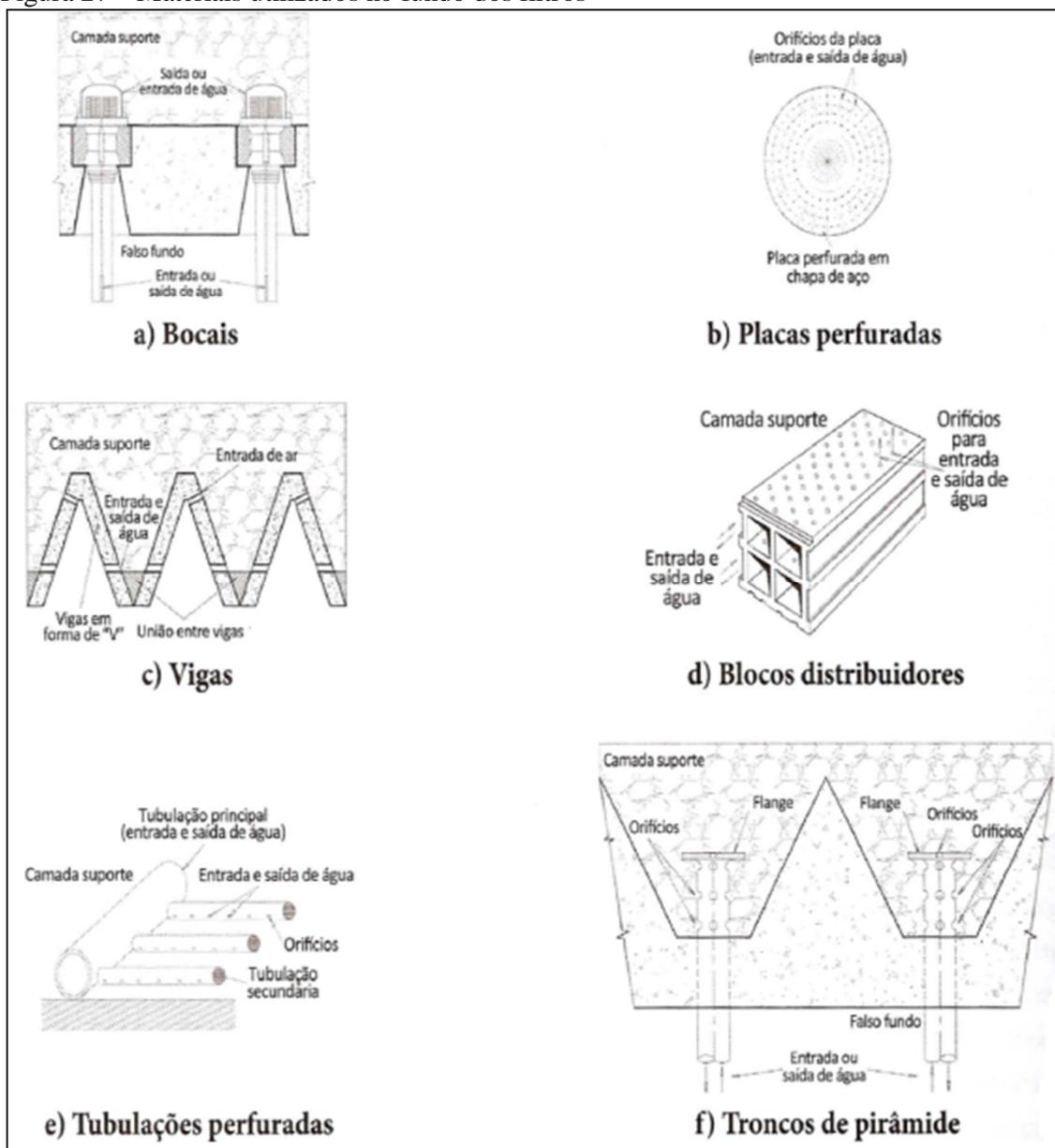
Nota: Adaptado pelo autor

O meio filtrante precisa apresentar algumas características importantes, como: tamanho e distribuição dos grãos, forma e geometria dos grãos, porosidade, massa específica do material (areia, antracito e granada), dureza dos grãos, solubilidade em ácido clorídrico (determina as impurezas e materiais solúveis em ácido presente no material do meio filtrante), solubilidade em hidróxido de sódio (verifica porcentagem de material solúvel nessa solução). (7)

Até a década de 1960, a composição do meio filtrante era apenas de areias, todavia, pesquisadores obtiveram resultados positivos em pesquisas realizadas utilizando na composição do meio filtrante antracito e areia. Essa dupla camada apresentou taxa de filtragem eficiente, aproximadamente $300 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{dia}$, sendo que os filtros de areia apresentavam cerca de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{dia}$. (7)

O fundo dos filtros é composto por sistema de fundo falso e material apropriado. A Figura 27 apresenta exemplo de material utilizado no fundo dos filtros.

Figura 27 – Materiais utilizados no fundo dos filtros



Fonte: (3)

7 DESINFECÇÃO

A desinfecção consiste em adição de substâncias desinfetantes à água com a finalidade de eliminar micro-organismos patogênicos. Para água de boa qualidade como as de poços profundos a desinfecção tem a finalidade de prevenir a água de possível contaminação na reservação e distribuição. Essas substâncias desinfetantes geralmente em sua composição contem cloro como agente desinfetante. As substâncias que apresentam larga escala de utilização é o cloro gás e hipoclorito de sódio, todavia, depende da qualidade da água bruta e porte da estação de tratamento de água. (1) “A desinfecção química utiliza, principalmente, cloro gasoso, hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio, dióxido de cloro, ozônio e iodo. Os processos físicos de desinfecção utilizam o calor e a luz solar e a radiação ultravioleta”. (3)

7.1 FATORES QUE PODEM INFLUENCIAR A DESINFECÇÃO DA ÁGUA TRATADA

Alguns fatores podem interferir na desinfecção da água, como: tempo de contato do desinfetante com a água, concentração do desinfetante químico, intensidade e natureza do desinfetante físico, temperatura e concentrações de microrganismos. (3)

7.1.1 Tempo de contato do desinfetante com a água

Na água tratada, usando a mesma dosagem de desinfetante, quanto maior o tempo de contato maior é a eficiência na desinfecção e conseqüentemente menor será a concentração de organismos patogênicos nessa água. (3)

7.1.2 Concentração do desinfetante químico

Usando como exemplo a desinfecção química pela cloração; a desinfecção eficiente está relacionada com a dosagem dessa substância e tempo de contato determinado conforme cálculos experimentais na água tratada utilizando a equação 18. (3)

$$Ct = k \quad (18)$$

C: concentração de desinfetante (mg/L); t: tempo de contato (min), k: constante (mg/.min/L).

(3)

7.1.3 Desinfetante físico

Desinfecção através de desinfetante físico apresenta relação com sua intensidade e natureza conforme a equação 19 (3)

$$\frac{dN}{dt} = - KIN \quad (19)$$

Onde: K: constante; I: intensidade do agente físico; N: concentração de microrganismos no efluente (UFC/100 mL). As unidades K e I dependem do agente de desinfecção. (3)

7.1.4 Temperatura

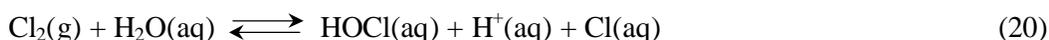
Elevação da temperatura aumenta a velocidade de inativação dos organismos, pois a mesma interfere na velocidade de inativação dos mesmos. (3)

7.1.5 Concentração de micro-organismos

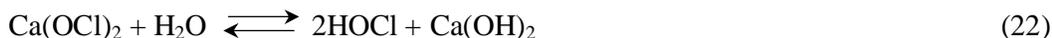
A água tratada para consumo humano pode apresentar pequenas quantidade de microrganismos em termos de concentração, os quais apresentam interferências desprezíveis na ação do desinfetante. Porém, normalmente os *esporos*, *cistos* e *oocistos* apresentam resistência aos agentes desinfetantes, principalmente em concentrações elevadas. (3)

8 DESINFECÇÃO COM CLORO

O uso do ácido hipocloroso, HClO; como desinfetante de água para consumo humano é muito utilizado em vários países. É um composto neutro, covalente, instável na forma concentrada não podendo ser armazenado, portanto é gerado a partir da dissolução do cloro molecular gasoso, Cl₂, em água conforme a reação (equação 20) e sua ação sobre os microrganismos são eficientes matando-os, pois atravessa com facilidade suas membranas celulares oxidando as moléculas vitais. (8,10)



O hipoclorito de sódio e de cálcio, em contato com a água também reage formando ácido hipocloroso conforme as reações, respectivamente. (8,10)

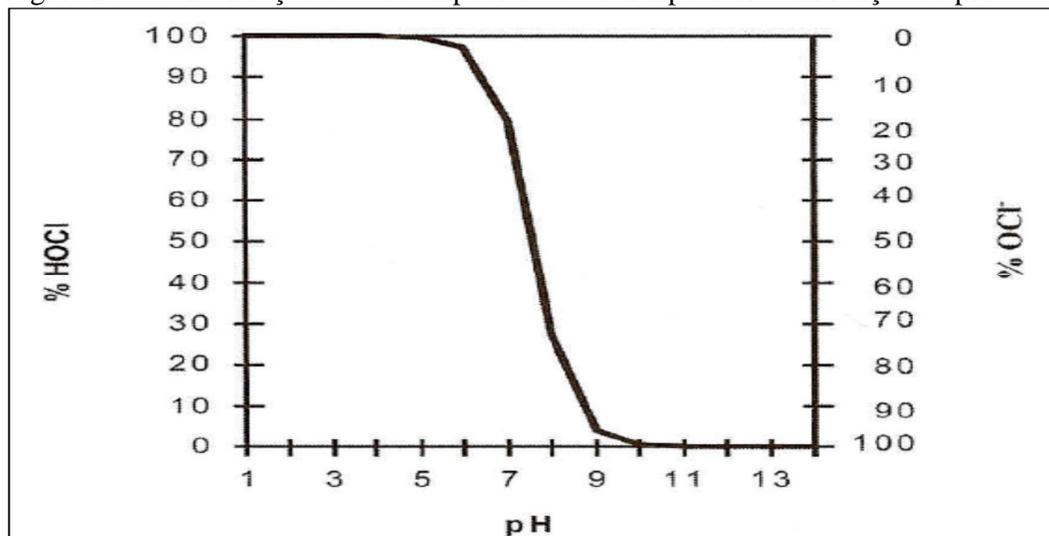


O ácido hipocloroso sofre dissociação segundo a reação:



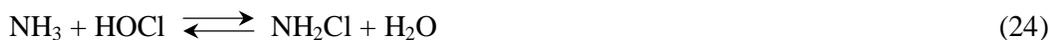
O pH influencia na quantidade de HOCl e OCl⁻ em equilíbrio; sendo a razão pela qual é aconselhável a desinfecção da água com pH não superior a 7,0. Essa quantidade em equilíbrio é chamada de cloro residual livre. A Figura 28 ilustra a distribuição de HOCl e OCl⁻ em água em função do pH a 25 °C. (3) “No caso em que se permita que o pH da água de reação torne-se demasiadamente alto, o resultado será a ionização do ácido fraco HOCl formando íon hipoclorito, OCl⁻, que é menos capaz de penetrar as bactérias em virtude de sua carga elétrica”. (10)

Figura 28 – Concentração de ácido hipocloroso e íon hipoclorito em função do pH.



Fonte: (3)

Conforme já foi citado, o ácido hipocloroso apresenta maior eficiência de desinfecção se comparado ao íon hipoclorito. A formação de cloro residual combinado se dá pela reação do cloro com a matéria orgânica ou inorgânica presentes na água formando os compostos chamados organoclorados, e, cloraminas, se reagir com nitrogênio conforme ilustra as equações a seguir. (3)



8.1 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DE CLORO GASOSO

Se a estação de tratamento de água apresentar estrutura adequada e mão de obra qualificada, o uso desse material apresenta vantagens, principalmente em estação de tratamento de água de grande porte. Apresenta vantagens por ocupar menor espaço de armazenamento, maior precisão na dosagem e poucas perdas do princípio ativo. (2)

Ao considerarmos a segurança do ambiente e do operador especificamente, o gás cloro apresenta, como inconveniente, alta reatividade e toxicidade, gerando severos danos à saúde humana, e ao meio em caso de vazamento.

Ele é um gás mais pesado que o ar, tendendo a permanecer no ambiente onde ocorrem os vazamentos e escoando preferencialmente para lugares mais baixos enquanto se dispersa na atmosfera. Durante esse processo, em casos de vazamento

expressivos, o gás reage severamente com os elementos que encontra, oxidando-os.
(2)

O cloro gás (Cl_2) é fornecido em cilindros na forma de gás comprimido (gás e líquido) conforme ilustra a Figura 29 (27)

Figura 29 – Cilindros de cloro gasoso.



Fonte: (27)

Uso de cloro para a desinfecção nas águas de abastecimento pode ocorrer a formação de trihalometanos (THMs), com fórmula geral CHX_3 , onde o “X” pode ser cloro, bromo ou combinação de ambos. Essas substâncias se excederem as concentrações estabelecidas pelas legislações vigentes, é considerada tóxica à saúde humana, pois apresentam ação cancerígena. (3,10) “A adição de cloro em águas contendo ácidos húmicos e fúlvicos, produtos produzidos a partir da decomposição natural de matéria orgânica, mesmo em ambientes protegidos, promove a geração de trihalometanos (THMs)”. (2) “Outros produtos da cloração, potencialmente prejudiciais à saúde humana, são, por exemplo, as haloacetoneitrilas, haloacetonas, ácidos haloacéticos, clorofenóis, entre outros”. (3) As haloacetoneitrilas podem desenvolver tumores. (3,10)

Com relação à formação do clorofórmio, este é um composto de grande preocupação por ser suspeito de ser cancerígeno para o fígado humano e pode causar efeitos nocivos à reprodução e desenvolvimento. (10) “Os ácidos húmicos, com os quais o HOCl reage para formar clorofórmio, são solúveis em água, e não são componentes biodegradáveis da matéria da decomposição vegetal”. (10)

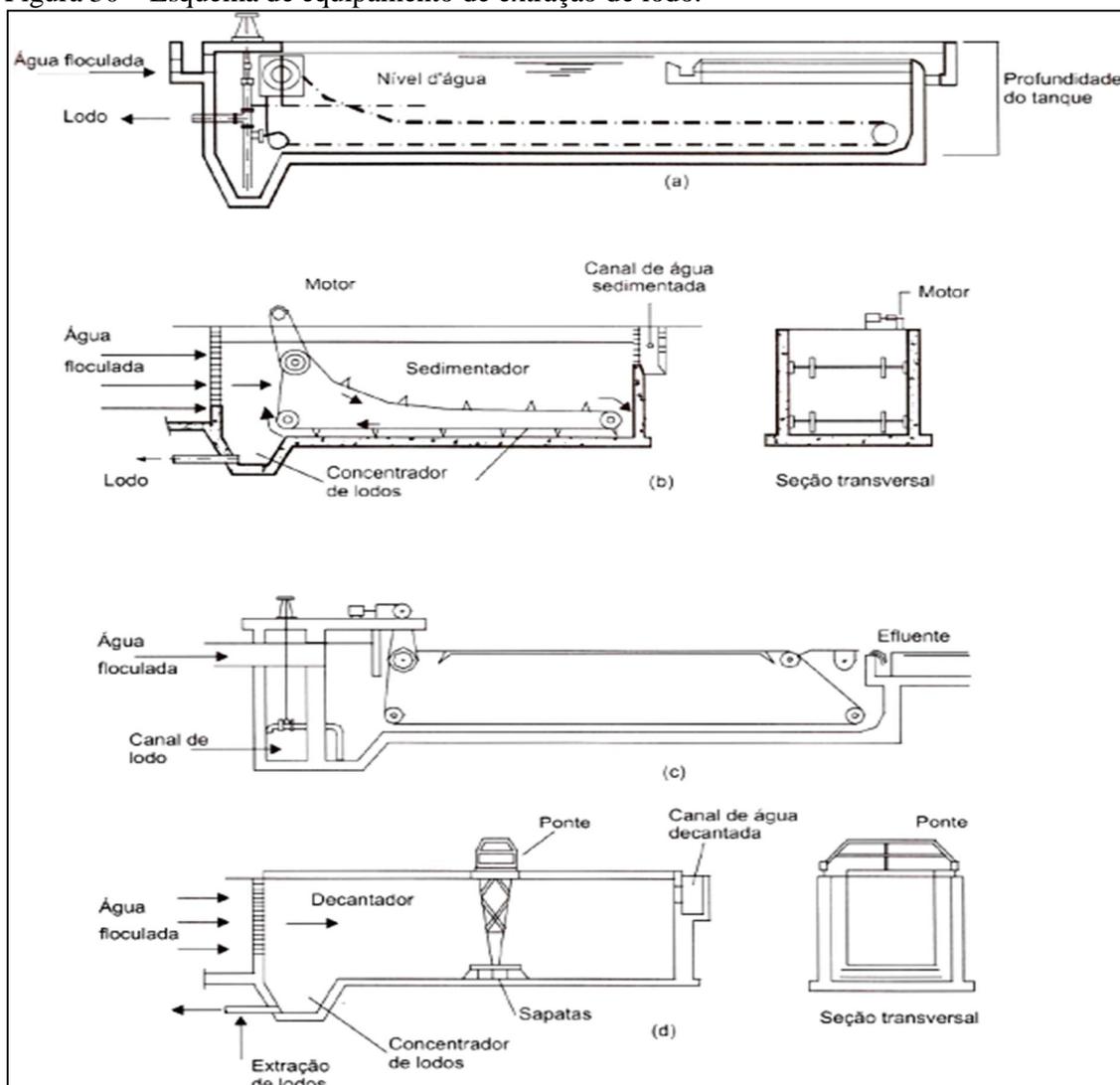
9 FLUORAÇÃO

Água para consumo humano geralmente é fluorada. O flúor previne a carie em crianças e é aplicado na água geralmente através de ácido fluossilícico (H_2SiF_6), não sendo permitido concentrações superiores a 1,5 ppm. No Estado de São Paulo é recomendado que a água para consumo humano apresente concentrações de flúor de 0,6 a 0,8 ppm. (10,14)

10 LODO

No processo de floculação e decantação há formação de lodo que é constituído de matéria orgânica e inorgânica. Neste lodo contem concentrações elevadas dos metais que compõe o coagulante utilizado, geralmente ferro ou alumínio. Este lodo pode ser removido de forma contínua, semicontínua ou periódica. Deve ser tratado. Sendo assim, é importante o uso de extratores de lodo ou descargas diárias. É elevada a quantidade de lodo nos decantadores quando se utiliza a descarga periódica, dificultando o posterior tratamento em razão da quantidade acumulada. (3,7) A Figura 30 ilustra o esquema de equipamento de extração de lodo com deslocamento longitudinal em decantadores convencionais.

Figura 30 – Esquema de equipamento de extração de lodo.



Fonte: (7)

11 MUNICÍPIO DE BAURU

Bauru é uma cidade localizada a 345 km da capital com área de 673,49 km² e população 359.429 habitantes. (21) A Figura 31 apresenta alguns dados geográficos do município de Bauru.

Figura 31 - Dados geográficos da cidade de Bauru

Unidade Federativa	São Paulo
Municípios limítrofes	Arealva, Reginópolis, Piratininga, Agudos, Pederneiras e Avaí.
Densidade	533,68 hab./km ²
Altitude	526m
Clima	Tropical
Solo	Afloramento Pré-cambriano; Arenito Bauru ("Terra Branca").
Vegetação	Cerrado e Mata Atlântica
Hidrografia	Rio Batalha Rio Bauru ("das flores").
Temperatura	Máxima: de 32,2°C. em janeiro a 24,9° em julho Mínima: de 20,5°C. em janeiro a 12,9° em julho Média: de 26,3°C. em janeiro a 19,0° em julho
Precipitação	Máxima: janeiro 286 mm Mínima: julho 33 mm
Rodovias	SP-225 - Rod. João Ribeiro de Barros e Rod. Eng. João Batista Cabral Renno SP-294 - Rod. João Ribeiro de Barros SP-300 - Rod. Marechal Rondon SP-321 - Rod. Cesário José de Castilho

Fonte: (21)

Nota: Adaptado pelo autor.

11.1 ABASTECIMENTOS DE ÁGUA NO MUNICÍPIO DE BAURU

O sistema de abastecimento de água no município de Bauru é de responsabilidade do Departamento de Águas e Esgotos - DAE. O DAE possui atualmente 34 poços, sendo responsáveis pelo abastecimento de água a aproximadamente 60% da população da cidade. Os outros 40% da população é abastecida com águas superficiais. Estas águas superficiais são retiradas do rio Batalha. Esse rio nasce na região da cidade de Agudos na Serra da Jacutinga, e percorre 167 quilômetros até sua foz, no rio Tietê. Sua água é da classe II, conforme já citado, a água doce classe II pode ser destinada ao consumo humano após tratamento convencional.

(2,5,22,23) A Tabela 2 relaciona os 34 poços do DAE e suas principais características. Todas as águas dos poços recebem tratamento de desinfecção e fluoreação. (24)

Tabela 2 – Poços em Bauru

Poços	Ano de perfuração	Profundidade (metros)	Vazão Inicial (m ³ /h)
Consolação	1978	172	58
Padilha	1979	216	87
Beija Flor	1981	340	189
Vânia Maria	1982	199	30,19
Jardim América	1982	141	91
Gasparini	1985	393	244
Bíblia	1986	204	123
Cruzeiro do Sul II	1986	298	154
Mary Dota	1990	470	331
Geisel II	1994	301	155
Parque Real II	1995	176	52
Bauru XXV	1995	291	102
Distrito III	1996	400	203
Samambaia II	1997	280	159
Lotes Urbanizados	1999	520	312
Tibiriçá III	2000	101,5	30
Nova Esperança II	2004	245,2	53
Bauru XVI II	1994	277	77
Vargem Limpa	2004	415	244
Primavera II	2005	320	240
Villaggio	2006	230	58
Chácaras Bauruenses	2008	-	-
Cruzeiro do Sul	1999	248	60
Cardia	2010	360	180
Marabá	2011	350	180
Octávio Rasi II	2012	450	225
Bauru XXI III	2012	320	200
Nações Unidas II	2013	320	200
Manchester	2013	420	200
Roosevelt III	2013	320	200
Zona Norte	2014	-	-
Val de Palmas	2014	-	-

Fonte: (24)

Nota: Adaptado pelo autor.

11.2 CAPTAÇÕES DE ÁGUAS SUPERFICIAIS EM BAURU

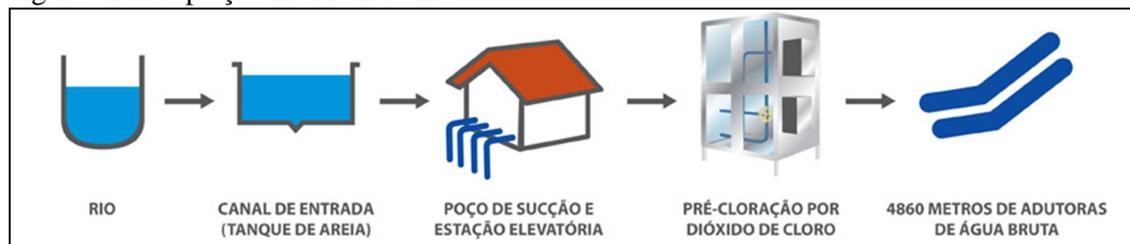
Para que uma água superficial seja utilizada para abastecimento humano ela deve ser submetida a uma série de tratamentos físico-químicos que tem a finalidade de melhorar a qualidade dessa água tornando-a própria para o consumo humano. (3)

A retirada da água (captação) dos mananciais superficiais pode ser por tomada direta, por gravidade ou por sistema de bombeamento e são transportadas através de tubulações (adutoras) até a seção de tratamento de água. Na estação de tratamento de água é aplicado o

conjunto de operações unitárias adequado para efetuar o tratamento da mesma que logo após o processo de tratamento é enviada para os reservatórios e conseqüentemente distribuída à população. (1)

Como já citado, aproximadamente 40% da população bauruense é abastecida com água do Rio Batalha. Neste Rio o DAE capta a água de uma lagoa construída a alguns quilômetros da estação de tratamento de água conforme a Figura 32. (25)

Figura 32 – Captação no Rio Batalha



Fonte: (25)

Na lagoa a água entra por uma caixa de areia conforme a figura 33, que auxilia na remoção de parte de material sólido presente no meio líquido seguindo para o poço de sucção conforme a Figura 34. (25)

Figura 33 – Caixa de areia



Fonte: (25)

Figura 34 – Poço de sucção.



Fonte: (25)

É então captada com auxílio de bombas conforme a indicado na Figura 35; recebe uma pré-cloração com dióxido de cloro para oxidação de alguns metais (principalmente ferro e manganês) e matéria orgânica, segue em direção a ETA através de duas adutoras de vinte e quatro polegadas cada, sendo uma de aço inox e a outra de ferro fundido conforme Figura 36. (25)

Figura 35 - Sistema de bombeamento



Fonte: (25)

Figura 36 - Adutoras



Fonte: (25)

12 TRATAMENTO DE ÁGUA SUPERFICIAL EM BAURU

A Figura 37 apresenta a foto aérea da estação de tratamento de água na cidade de Bauru.

Figura 37 - Estação de tratamento de água de Bauru



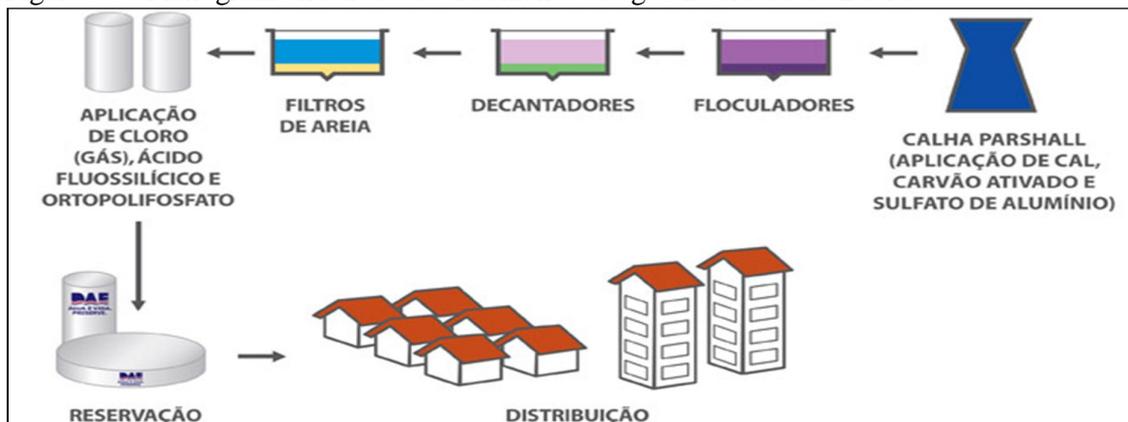
Fonte: (28)

Nota: Adaptado pelo autor.

A água do rio batalha ao entrar na estação de tratamento de água recebe o tratamento em ciclo completo conforme a Figura 38, e é tratada com a utilização de produtos químicos.

(28)

Figura 38 - Fluxograma ilustrado do tratamento de água na cidade de Bauru.



Fonte: (28)

A água entra na ETA por um canal onde próximo a calha Parshall é aplicado o coagulante, cal e carvão. É submetida à agitação intensa através da calha Parshall conforme a Figura 39 segue para uma canaleta que possui aproximadamente quinze metros de comprimento. (28) A Figura 40 ilustra a canaleta da ETA de Bauru.

Figura 39 – Calha Parshall.



Fonte: (28)

Figura 40 – Canaleta da ETA de Bauru.



Fonte: (28)

O carvão é utilizado quando a água apresenta possível sabor e odor desagradável, com a finalidade de elimina-los. A ocorrência de sabor e odor na água pode ser devido à proliferação de algas na lagoa de captação. A cal é utilizado para correção de pH da água bruta, quando necessário. (28)

Após a floculação, a água e os flocos seguem em direção aos decantadores, conforme Figura 41 onde ocorre a sedimentação. Após a clarificação através da sedimentação, a água sai por cima nas canaletas dos decantadores em direção aos filtros onde é filtrada através de filtros descendentes. O meio filtrante da ETA é formado por diversas camadas de areia e pedras com várias gramaturas. (28) A Figura 42 apresenta a canaleta de saída de água dos decantadores próximo aos filtros.

Figura 41 - Decantadores da ETA de Bauru



Fonte: (28)

Figura 42 – Canaletas de saída de água decantada na ETA de Bauru.



Fonte: (28)

O desinfetante utilizado para desinfecção da água final da ETA é o cloro gasoso e é fluorada com ácido fluossilícico. (28)

12.1 CONTROLE DE QUALIDADE

A água distribuída pelo DAE tanto dos poços quanto da ETA passa por um sistema de controle de qualidade realizado pelos técnicos no laboratório localizado na ETA. Para a qualidade da água o DAE segue as normas da Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde e da resolução CONAMA 357/2005. (28)

O tempo aproximado de entrada da água bruta até sair tratada na ETA é de duas horas. A cada determinado período de tempo os operadores coletam amostras de água, sendo elas: água bruta, decantada, filtrada e água final, para controle operacional verificando pH, cor, turbidez e cloro residual livre. Amostra da água final também é coletada pelos operadores a cada determinado período e é enviada para o laboratório para análise de concentração de flúor e verificação de pH, etc. Os técnicos do laboratório coletam amostras de água final de saída da ETA para análise bacteriológica. Também é coletado água em vários pontos da rede de distribuição, reservação e cavaletes na cidade de Bauru para o controle de qualidade. (28)

13 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao analisar informações obtidas por meio de revisões bibliográficas em conjunto com estudos realizados em sites de domínio público houve a possibilidade de demonstrar a importância da água para a manutenção da vida, suas principais propriedades físico-químicas, sua disponibilidade principalmente no Brasil, os fatores que podem causar a poluição do meio líquido e parâmetros qualitativos da água para consumo humano. Também através dos estudos realizados foram apresentados de forma sucinta assuntos relacionados às águas subterrâneas e superficiais, aquíferos (Guarani e Bauru), poços, tratamento simplificado, tratamento em ciclo completo e tratamento de água em Bauru.

Com relação ao tratamento de águas superficiais, foram demonstrados de forma resumida o sistema de tratamento simplificado, todavia, com relação ao tratamento em ciclo completo foram demonstrados as principais etapas deste processo dando ênfase a desinfecção da água tratada pelo método de cloração com utilização de cloro gasoso.

Águas apropriadas ao consumo humano são às que receberam o tratamento adequado tornando-as portáteis com características que obedeçam as legislações vigentes.

REFERÊNCIAS

- 1 MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. Rio de Janeiro: ABES, 2010. 388 p.
- 2 BITTENCOURT, C.; PAULA, M. A. S. de. **Tratamento de água e efluentes: fundamentos de saneamento ambiental e gestão de recursos hídricos**. São Paulo: Érica, 2014. 184 p.
- 3 CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. G. F. **Engenharia ambiental: conceito, tecnologia e gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. 789 p.
- 4 BRASIL. Presidência da República. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.1914 de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 04 jan. de 2012. Seção 1, p. 43. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 4 fev 2015.
- 5 BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. CONAMA. Resolução n.º - 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e da outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Seção 1, p. 58. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 2 fev 2015.
- 6 MACIEL et al., Vigilância e controle de qualidade da água para consumo humano. **Saúde.gov**, c2006. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf>. Acesso em 2 fev. 2015.
- 7 DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. São Carlos: Rima, 2005. 792 p.
- 8 SPIRO, T. G.; STIGLIANI, W. M. **Química ambiental**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009. 334 p.
- 9 SOUZA, J. L. M de. Propriedades físicas da água. **Moretti.agrarias.ufpr**, [c2001?] Disponível em: <http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/raspa/U_I02_propriedades_da_agua.pdf>. Acesso em: 1 abr. 2015.
- 10 BAIRD, C.; CANN, M. **Química ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2002. 844 p.
- 11 SILVA, L. O. S.; CAETANO, L. C. Ciclo hidrológico. **Serviço Geológico do Brasil**, c2014. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1376&sid=129>>. Acesso em: 2 maio 2015.
- 12 SUGGUIO, K. **Água**. Ribeirão Preto: Holos, 2006. 242 p.

13 MACHADO, P. J. O.; TORRES, F. T. P. **Introdução à hidrogeografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012. 177 p.

14 SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Estado da Saúde. Resolução SS 65, de 12 de abril de 2005. **Diário Oficial do Estado**, São Paulo, 13 abril de 2005, seção 1, p. 18.

15 SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=1pxhLVxVFHoC&oi=fnd&pg=PA1&dq=polui%C3%A7%C3%A3o+h%C3%AAdrica&ots=ChArF60F_1&sig=-#v=onepage&q=polui%C3%A7%C3%A3o%20h%C3%ADdrica&f=false>. Acesso em 2 maio 2015.

16 OS AQUÍFEROS e os poços. **Departamento de Água e Esgoto**, c2014. Disponível em: <<http://www.daebauru.com.br/2014/ambiente/ambiente.php?secao=hidrico&pagina=3>>. Acesso em: 8 maio 2015.

17 AQUÍFERO Guarani. **Departamento de Água e Esgoto**, c2014. Disponível em: <<http://www.daebauru.com.br/2014/ambiente/ambiente.php?secao=hidrico&pagina=4>>. Acesso em: 08 maio 2015.

18 INSTITUTO GEOLÓGICO. **Aquífero Bauru**. São Paulo, SP, 2013. 1 folheto.

19 BAURU. Câmara Municipal. Lei nº 4.553, de 8 de junho de 2000. Dispõe sobre perfuração de poços para captação de águas subterrâneas no município de Bauru e dá outras providências. **Diário Oficial do Município**, Bauru, SP, 8 jun. 2000. Disponível em: <<http://www.daebauru.com.br/2014/agua/agua.php?secao=poco&pagina=17>>. Acesso em 8 maio 2015.

20 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. **abas.org**, [c2015?] Poços para captação de água. Disponível em: <http://www.abas.org/educacao_pocos.php>. Acesso em: 8 maio 2015>.

21 DADOS Geográficos. **Bauru.sp.gov**, c2010-2015. Disponível em: <http://www.bauru.sp.gov.br/cidade/dados_geograficos.aspx>. Acesso em: 7 maio 2015.

22 RIO Batalha e a lagoa. **Departamento de Água e Esgoto**, c2014. Disponível em: <<http://www.daebauru.com.br/2014/empresa/empresa.php?secao=fazemos&pagina=9>>. Acesso em: 8 maio 2015.

23 NAVARRO, T. Reunião de prefeitos discutirá Batalha. **Jornal da Cidade**, Bauru, 6 maio 2015. Disponível em: <<http://www.jcdigital.com.br/flip/Edicoes/16459%3D06-05-2015/003.PDF>>. Acesso em: 8 maio 2015.

24 POÇOS . **Departamento de Água e Esgoto**, c2014. Disponível em: <<http://www.daebauru.com.br/2014/agua/agua.php?secao=abastecimento&pagina=8>>. Acesso em: 8 maio 2015.

25 PROCESSO de captação de água superficial. **Departamento de Água e Esgoto**, c2014. Disponível em:
<<http://www.daebauru.com.br/2014/empresa/empresa.php?secao=fazemos&pagina=10>>.
Acesso em: 8 maio 2015.

26 LEME, F. P. **Teoria e técnica de tratamento de água**. São Paulo: CETESB, 1979. 424 p.

27 CILINDROS. **General chemical**, c2007-2013. Disponível em:
< http://www.generalchemical.com.br/cilindros_cloro_gas.asp>. Acesso em: 2 maio 2015.

28 TRATAMENTO de água. **Departamento de Água e Esgoto**, c2014. Disponível em:
<<http://www.daebauru.com.br/2014/empresa/empresa.php?secao=fazemos&pagina=16>>.
Acesso em: 8 maio 2015.