



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA E FÍSICO-QUÍMICA
CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL

MARIA RODRIGUES GOMES

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE DISTRIBUIÇÃO EM ALGUNS
MUNICÍPIOS DO ESTADO DO CEARÁ**

FORTALEZA

2019

MARIA RODRIGUES GOMES

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE DISTRIBUIÇÃO EM ALGUNS
MUNICÍPIOS DO ESTADO DO CEARÁ**

Monografia apresentada ao Curso de Química Industrial da Universidade Federal do Ceará (UFC), como requisito parcial exigido para a aprovação na disciplina de Estágio de Estágio Supervisionado e obtenção do Título de Bacharel em Química Industrial.

Orientadora Pedagógica: Profa. Dra. Gisele Simone Lopes.

Orientadora Profissional: Dra. Érika de Almeida Sampaio Braga.

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- G615a Gomes, Maria Rodrigues.
Avaliação da qualidade da água de distribuição em alguns municípios do estado do Ceará / Maria Rodrigues Gomes. – 2019.
52 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Química, Fortaleza, 2019.
Orientação: Profa. Dra. Gisele Simone Lopes.
Coorientação: Profa. Dra. Érika de Almeida Sampaio Braga.
1. Qualidade da Água. 2. Estação de Tratamento de Água. 3. Parâmetros Físico-Químicos. I. Título.
CDD 540
-

MARIA RODRIGUES GOMES

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE DISTRIBUIÇÃO EM ALGUNS
MUNICÍPIOS DO ESTADO DO CEARÁ**

Monografia apresentada ao Curso de Química Industrial da Universidade Federal do Ceará (UFC), como requisito parcial exigido para a aprovação na disciplina de Estágio de Estágio Supervisionado e obtenção do Título de Bacharel em Química Industrial.

Aprovada em: ___/___/____.

BANCA EXAMINADORA

Profª. Dra. Gisele Simone Lopes (Orientadora pedagógica)
Universidade Federal do Ceará – UFC

Dra. Erika de Almeida Sampaio Braga (Orientadora profissional)
Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará – NUTEC

Mcs. Luzia Suerlange Araújo dos Santos Mendes.
Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará – NUTEC

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sua bondade e por ter feito com que eu perseverasse no curso, apesar das adversidades do caminho. Foi uma longa jornada!

Aos meus pais, João Bosco e Maria Marlúcia que, muitas vezes, renunciando aos próprios sonhos, para que os nossos pudessem se tornar realidade dedicaram uma vida de amor e sacrifícios, ensinamentos e incentivos, guiando-nos e ensinando-nos sempre o caminho do bem, do amor e da honestidade.

Aos meus irmãos Rodrigo e Dinaiza, a quem amo incondicionalmente e ao Théo, meu amado cão.

À Profa. Dra. Gisele Simone Lopes, que mesmo em meio a tantas atribuições aceitou prontamente e com docilidade o meu convite.

À Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC), por permitir que alunos da graduação possam realizar estágio em suas dependências, contribuindo, assim, para a formação e a qualificação dos futuros profissionais.

À Dra. Érika de Almeida Sampaio Braga toda minha admiração e respeito, pois desde o primeiro momento me acolheu com humildade, empatia e generosidade. Agradeço cada ensinamento, a confiança creditada em mim, a preciosa ajuda para o desenvolvimento deste trabalho, além da maravilhosa convivência.

Às analistas Christiane Gomes e a Eirilândia Sousa pelos ensinamentos, pela paciência, pelo apoio logístico para a realização deste trabalho, pelos sorrisos afetuosos e pela amizade construída no decorrer deste período. Trabalhar ao lado de vocês foi mais que um privilégio, foi um presente de Deus.

Aos que comigo dividiram esses últimos meses no dia a dia do laboratório: Jaqueline Cruz, Samile Bezerra, Luís Felipe e, de modo especial, Rodrigo Maciel, que esteve comigo desde o primeiro dia e que, usando de grande humildade e desprendimento, me ajudou e me ensinou a dar os primeiros passos no LQA – Laboratório de Química Ambiental e com o qual firmei um vínculo de amizade, dada a admiração, carinho e respeito que tenho pelo mesmo. Agradeço todos os momentos vividos ao lado de vocês, ao mesmo tempo em que desejo prosperidade a todos. Que cada um, à medida de seus esforços, obtenha êxito no que se propuser.

A todos os professores de toda minha caminhada escolar, desde o jardim da infância até o ensino superior. Sou grata por todas as lições, conselhos e incentivos. À Sônia

Assunção, Neide, Nereide, Marildes, Cid, Sandra Menescal, Júlia Falcão, José Roberto e Destéfani, alguns entre tantos professores dos quais tive a honra de ser aluna.

Aos professores do Curso de Química que, com dedicação, trabalham diariamente na formação dos futuros profissionais, de modo especial às professoras Dra. Maria das Graças Gomes, Adriana Nunes Correia, Elisane Longhinotti, ao professor Dr. Francisco Belmino Romero e aos funcionários da UFC que em muito contribuem para a formação dos discentes, em especial à Wangles Pequeno Braga(*in memoriam*), Rafael Rodrigues e Cleiton, secretários e ao Sr. Valdísio Barbosa e a Sra. Alcione, ambos zeladores, pelos momentos de descontração nos intervalos e pelo afeto fortalecido no decorrer dos semestres.

Aos amigos do Curso de Química, que comigo dividiram esses anos. De modo especial à Ana Cláudia Morais e seu esposo João Paulo, Guilhermina Moreira, Joyce Araújo, Marlon Bezerra, Laury Cristiny, Germana Meneses, Mayara Naghly, Katarina Saraiva, Erivelton Meneses, Jamilly Cavalcante, Agda Freitas, Débora Meire, Thaisa Joyce, Gabriel Áquila, Érika Oliveira, Lidiane Bittencourt e Ilka Mynelle. Sou grata pelos muitos momentos em que juntos, apoiamos-nos uns nos outros para que pudéssemos encontrar o conforto e as forças necessárias para superarmos as dificuldades e seguirmos adiante. Que a vida os retribua com a mesma generosidade de vocês para comigo.

Aqueles a quem não poderia deixar de citar, dada a enorme importância em minha vida: Maria Alzenir, Karine Celedônio, Héber Lopes, Renata Parente, Antônio Francisco de Arruda(*in memoriam*), Melanilce Karla, Jany Lane, Cícero Roberto, Rosa Helena, ao meu tio Silvério Filho, a minha prima Marta Gusmão, a Maria Edirles e sua mãe Almerinda Gomes, a Neuza Guerra (*in memoriam*) e a seus filhos Maria Zeneide e Edsoneudson, a Rosanne Raulino, a Najara Frota, a Priscila Figueiredo e a Socorro Mendes e Ana Karen Gomes, minhas inspirações.

A todos, cujos os nomes não foram citados, mas que passaram pelo meu caminho no decorrer destes anos e que, de algum modo, contribuíram para que eu chegasse aonde cheguei e me tornasse a pessoa que sou, cordialmente agradeço.

Como síntese, poderia resumir tudo em um único sentimento: GRATIDÃO!

“Águas escuras dos rios

Que levam a fertilidade ao sertão

Águas que banham aldeias

E matam a sede da população.”

Guilherme Arantes

RESUMO

Partindo do paradigma de que as águas encontradas em seu estado bruto não estão adequadas físico-quimicamente ao consumo humano, tendo que passar pelo processo de desinfecção química, a avaliação da qualidade das águas tratadas em uma estação de tratamento de água (ETA) é de fundamental relevância para toda a sociedade. As características apresentadas por essas águas influenciam a qualidade de vida e, sensivelmente, à saúde da população. As Estações de Tratamento de Água tem por objetivo a transformação da água bruta, a qual é imprópria para o consumo humano, em água potável. Nesse processo, a qualidade da água do manancial fornecedor determina diretamente no tipo de tratamento a ser empregado pela ETA, a fim de que essa, ao final do processo, esteja em conformidade com os padrões de potabilidade necessários ao consumo humano, sob a égide da legislação vigente no Brasil (Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017, do Ministério da Saúde). O presente trabalho teve por finalidade analisar os parâmetros físico-químicos de pH, turbidez e cloro residual de uma ETA, na eficiência da desinfecção, e, com base nos resultados obtidos, estabelecer comparações com os valores máximos permitidos pela legislação brasileira para a potabilidade da água. As análises foram baseadas no Standard Methods for The Examination of Water and Wasterwater (APHA, 2012), e realizadas nas dependências do Laboratório de Química Ambiental da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC) durante o segundo semestre de 2019.

Palavras-chave: Qualidade da água. Estação de Tratamento de Água. Parâmetros Físico-Químicos.

ABSTRACT

Starting from the paradigm that the waters found in its raw state are not physically and chemically suitable for human consumption, having to go through the chemical disinfection process, the quality evaluation of the water treated in a water treatment plant (ETA) is of fundamental relevance for the whole of society. The characteristics presented by these waters influence the quality of life and significantly the health of the population. Water Treatment Stations aim to transform raw water, which is inappropriate for human consumption, into drinking water. In this process, the water quality of the supplier source directly determines the type of treatment to be employed by ETA, so that, at the end of the process, it complies with the potability standards necessary for human consumption, under the aegis of legislation in force in Brazil (Annex XX of Consolidation Ordinance No. 5/2017 of the Ministry of Health). The present work aimed to analyze the physicochemical parameters of pH, turbidity and residual chlorine of a WTP, the disinfection efficiency, and, based on the obtained results, to make comparisons with the maximum values allowed by the Brazilian legislation for the potability of the disinfection. Water. The analyzes were based on the Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater (APHA, 2012), and were performed at the Environmental Chemistry Laboratory of the Ceará Nucleus of Industrial Technology Foundation (NUTECH) during the second half of 2019.

Keywords: Water quality. Water treatment station. Physical and Chemical Parameters

Keywords: Palavra 1. Palavra 2. Palavra 3.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo hidrológico da água	17
Figura 2 – Zonas abaixo da superfície do solo	20
Figura 3 – Etapas de que consistem uma estação de tratamento de água	22
Figura 4 – Doenças relacionadas com a água	36
Figura 5 – Turbidímetro TECNOPON TB-1000	38
Figura 6 – pHmetro DIGIMED DM-22	39
Figura 7 – Preparação da amostra para determinação de cloro residual	40
Figura 8 – Titulação com Na_2S_4	40
Figura 9 – Ponto final da titulação do cloro residual	40
Figura 10 – Capela de Fluxo Laminar do LQA.	41
Figura 11 – Material utilizado na pesquisa de grupos coliformes	42
Figura 12 – Pesquisa de grupos coliformes	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Padrão Microbiológico para consumo humano	33
Tabela 2 – Equipamentos e métodos utilizados para a realização das análises	37
Tabela 3 – Resultados médios obtidos para as amostras coletadas no mês de agosto	44
Tabela 4 – Resultados médios obtidos para as amostras coletadas no mês de setembro	45
Tabela 5 – Resultados médios obtidos para as amostras coletadas no mês de outubro	45
Tabela 6 – Resultados médios obtidos para as amostras coletadas no mês de novembro	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ETA	Estação de Tratamento de Água
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
LQA	Laboratório de Química Ambiental
MUG	4-Metilumbeliferil- β -D-Glucoronídeo
NUTEC	Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONGP	Orto-Nitrofenil- β -D-Galactopiranosídeo
PRC	Portaria de Consolidação
RDA	Rede de Distribuição de Água

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo geral	15
2.2	Objetivos específicos	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	Ciclo hidrológico	16
3.1.1	Mananciais	18
3.1.1.1	<i>Superficiais</i>	19
3.1.1.2	<i>Subterrâneos</i>	19
3.2	Impurezas na água	20
3.3	Abastecimento público de água	21
3.4	Estação de Tratamento de Água (ETA)	21
3.4.1	Etapas do tratamento	22
3.4.1.1	<i>Coagulação</i>	22
3.4.1.2	<i>Floculação</i>	23
3.4.1.3	<i>Decantação</i>	23
3.4.1.4	<i>Filtração</i>	23
3.4.1.5	<i>Desinfecção, correção de pH(quando necessário) e fluoretação</i>	24
3.5	Rede de distribuição de água (RDA)	25
3.6	Parâmetros de controle de qualidade da água	25
3.6.1	Parâmetros físico-químicos	25
3.6.1.1	<i>Turbidez</i>	25
3.6.1.2	<i>Potencial Hidrogeniônico (pH)</i>	27
3.6.1.3	<i>Cloro residual</i>	29
3.6.1.3.1	Princípio da desinfecção com cloro	30
3.6.2	Parâmetro Bacteriológico	34
3.6.2.1	Coliformes	35
3.6.2.1.1	Coliformes totais	35
3.6.2.1.2	Coliformes termotolerantes	35
3.7	Doenças de veiculação hídrica	35
4	MATERIAL E MÉTODOS	37

4.1	Determinação da turbidez(NTU): Método 2130 B. Nephelometric	38
4.2	Determinação do pH à 25°C: Método 4500H⁺ B Electrometric	38
4.3	Determinação do cloro residual livre: Método 4500 – Cl B. Iodometric Method I	39
4.4	Determinação dos coliformes totais e termotolerantes pela técnica de Presença/ Ausência: Method 9223 B – Enzyme substrate	41
4.5	Estudo Estatístico do Resultado	43
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
6	CONCLUSÃO	48
	REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

Entre os diversos recursos que a natureza disponibiliza, a água é o mais essencial à vida do homem e de todas as espécies de plantas e animais que habitam as várias partes do nosso planeta, sendo, também, considerada um importante regulador do clima na Terra.

O abastecimento público de água em termos de quantidade e qualidade é uma preocupação crescente da humanidade, em função da escassez do recurso água e da deterioração da qualidade dos mananciais.

Para caracterizar uma água são determinados diversos parâmetros, que são indicadores da qualidade da água e se constituem não conformes quando alcançam valores superiores aos estabelecidos para determinado uso. Os principais indicadores da qualidade da água são separados sob os aspectos físicos, químicos e biológicos.

A potabilização das águas naturais para fins de abastecimento público tem como principal função adequar a água bruta afluente à estação ao padrão de potabilidade vigente estabelecido pela Portaria de Consolidação PRC nº 05, de 28 de setembro de 2017, do Ministério da Saúde. O tratamento de água consiste basicamente na remoção de partículas suspensas e coloidais, matéria orgânica, micro-organismos e outras substâncias possivelmente deletérias à saúde humana presentes nas águas.

O sistema de abastecimento de água para consumo humano é um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, destinados à produção e à distribuição canalizada de água potável para populações, sob a responsabilidade do poder público, mesmo que administrada em regime de concessão ou permissão, conceito definido na PRC nº 05/11 MS.

A Estação de Tratamento de Água (ETA), geralmente é instalada quando a água bruta utilizada por uma população, especialmente nas grandes cidades, é imprópria para o consumo humano. Sua instalação deve ser localizada mais próxima possível do manancial que, em geral, é um rio, necessitando, muitas vezes, de uma estação elevatória para bombear a água até a entrada da ETA.

Existem no Brasil cerca de 7.500 estações de tratamento de água (ETAs) e aproximadamente 75% destas, utilizam processo denominado convencional para tratamento da água. Este consiste em operações de coagulação, floculação (as quais utilizam sulfato de alumínio e/ou cloreto férrico como floculantes), decantação e filtração para a clarificação da água, seguida de correção de pH, desinfecção e, em alguns casos, de fluoretação.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a qualidade da água da Estação de Tratamento de Água (ETA) e Rede de Distribuição de Água (RDA) usada para o abastecimento público em municípios localizados no Estado do Ceará.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar análises físico-químicos dos parâmetros pH, turbidez e cloro residual livre em amostras de águas coletadas em ETAs e RDAs;
- Comparar os resultados obtidos com os valores estabelecidos pela legislação vigente, a Portaria de Consolidação (PRC) nº 05, de 28 de setembro de 2017, do Ministério da Saúde;
- Verificar quais as amostras de água estão em desacordo com a Legislação, com o objetivo de evitar que a água distribuída cause danos a população.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A oferta de recursos hídricos no Brasil pode ser considerada como 15% da água doce disponível no planeta, porém quase 70% estão na Região Norte, pouco mais de 15% no Centro-Oeste, 12,3% no Sul e Sudeste e a Região Nordeste dispõe apenas de 2,7%.

Na região semi-árida do Nordeste Brasileiro, a escassez e/ou a falta de água potável para consumo humano é um dos principais problemas para a sobrevivência e melhoria da qualidade de vida de suas populações rurais. No meio rural encontram-se, geralmente, homens e animais partilhando a mesma fonte de água, comprometendo não só a qualidade da água para o consumo familiar, mas, principalmente, agravando o problema da escassez, pela competição.

No semi-árido brasileiro, mesmo nos anos considerados normais quanto à distribuição das chuvas no tempo e no espaço, é comum, durante 8 a 10 meses seguidos, a falta de água potável, favorecida pelas altas temperaturas e evaporação.

A questão econômica para a gestão qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos é um dos fatores abordados por especialistas em saúde pública, e, de acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), para cada US\$ 1 investido em saneamento básico são economizados cerca de US\$ 4 em tratamento de saúde.

Em Fortaleza, capital do estado do Ceará, segundo a Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece), empresa fornecedora de água, o tratamento convencional adotado pela empresa, é composto por processos de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção; os quais são processos de purificação, que garantem a qualidade da água para consumo humano de acordo com a Portaria de Consolidação (PRC) nº 05, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX, do Ministério da Saúde.

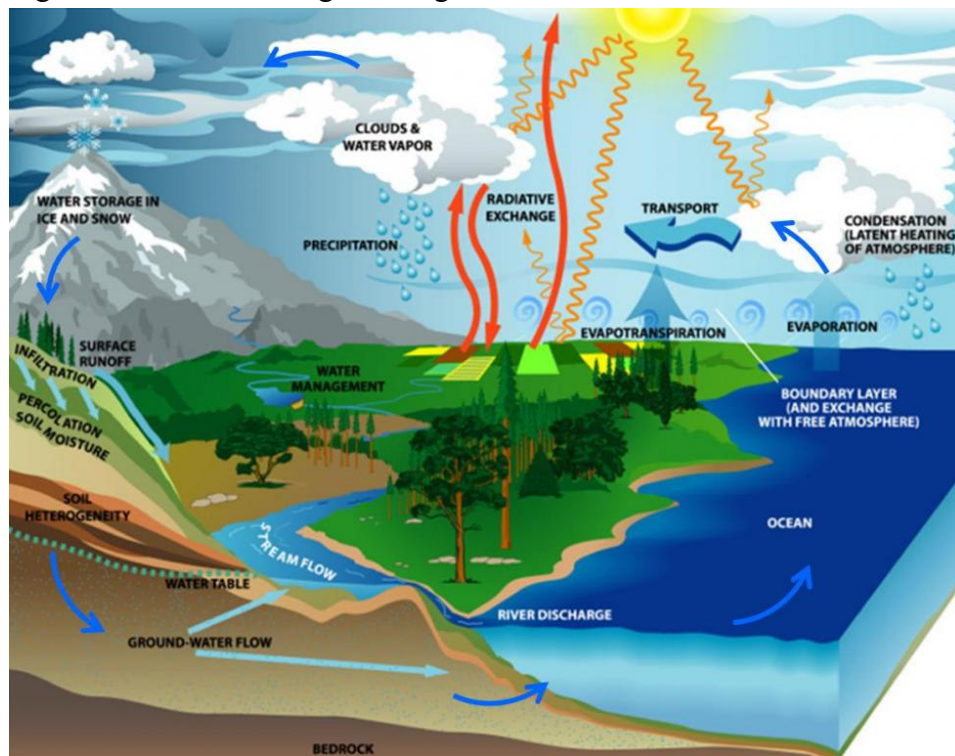
A qualidade da água é avaliada em termos dos parâmetros físico-químicos, químicos e microbiológicos.

3.1 Ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico é o processo de circulação da água através de um mecanismo natural de movimentação entre os diferentes compartimentos da hidrosfera. Trata-se de um ciclo biogeoquímico, pois há um mínimo de intervenção de reações químicas, e a água apenas se move de um lugar para outro ou, simplesmente, muda de forma num ciclo contínuo provocado pela energia do Sol. A grande dinâmica da circulação constitui o principal fator de

renovação das águas da Terra (REBOUÇAS *et al.*, 2006).

Figura 1 – Ciclo hidrológico da água



Fonte: Owens (2006).

Como ilustrado na figura 1, podemos ver os principais mecanismos de transferência do ciclo da água: evaporação, transpiração, precipitação, escoamento artificial e infiltração (SPERLING, 2005).

Esse ciclo descreve o maior movimento de qualquer substância existente na Terra. Como ele não tem início nem fim, por convenção, geralmente é descrito a partir da evaporação resultante da irradiação solar sobre a maior parte da massa da água que está na forma líquida, nos mares e oceanos. Por volta de 84% da água evaporada tem origem do oceano e os 16% restantes vêm dos continentes (MOTA, 1995).

O início do ciclo da água também é reforçado pela transpiração das plantas, onde as plantas retiram a água do solo pelas raízes, que é transferida para as folhas e então evapora. Dependendo da área coberta de vegetação, a evaporação decorrente da transpiração pode ser bastante elevada (SPERLING, 2005).

O vapor d'água decorrente desses dois mecanismos sobe a regiões mais altas da atmosfera, onde em temperaturas mais baixas é resfriado formando as nuvens. Então, sob a ação da gravidade, essa umidade presente nas nuvens condensa e precipita, na forma de chuva, granizo, neve ou orvalho. Essa água que precipita deve seguir pelo menos dois

destinos: a infiltração no solo para formar os reservatórios de águas subterrâneas e o escoamento da água na superfície aos cursos de lagos, rios, e, eventualmente, escoar até atingir o mar.

3.1.1 Mananciais

O manancial é a parte mais importante de um abastecimento de água, pois, o sucesso das demais unidades do sistema, no que se refere tanto à quantidade como à qualidade da água a ser disponibilizada à população, depende da escolha correta do manancial (RECESA, 2007).

A água a ser tratada na estação de tratamento de água (ETA) pode ser tanto de origem superficial (manancial superficial), quanto de origem subterrânea (manancial subterrâneo).

A Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, 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 lançamentos de efluentes.

Enquanto que a Resolução nº 396, de 03 de abril de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas.

Deve-se procurar proteger os mananciais, de forma a evitar que a água seja contaminada. A qualidade ou a quantidade da água do manancial podem variar, dependendo da época do ano (período chuvoso ou de seca). Durante o tratamento da água, o operador deve ficar atento a essas variações, pois essas mudanças podem exigir alterações no tratamento. Um exemplo é a quantidade dos produtos químicos usados no tratamento, que deverá ser modificada.

O manancial desprotegido pode ter a qualidade da água comprometida, de forma tal que seu tratamento começa a ficar muito caro. Quando o local de onde se coleta água para tratar (captação) fica afastado da ETA, deve haver uma forma de os operadores da ETA e da captação comunicarem entre si. Isso porque as alterações da qualidade da água podem ser percebidas com antecedência pelo operador da captação, dando condição ao operador da ETA de ser avisado para fazer as alterações necessárias para o tratamento. O manancial desprotegido tem a qualidade da água comprometida, de forma tal que seu tratamento começa a ficar muito caro.

3.1.1.1 Superficiais

É toda parte de um manancial que escoar na superfície terrestre, compreendendo os córregos, ribeirões, rios, lagos e reservatórios artificiais. As precipitações atmosféricas, logo que atingem o solo, podem se armazenar nas depressões dos terreno, nos lagos e represas ou alimentar cursos d'água de uma bacia hidrográfica, se transformando em escoamento superficial. Outra parcela se infiltra no solo.

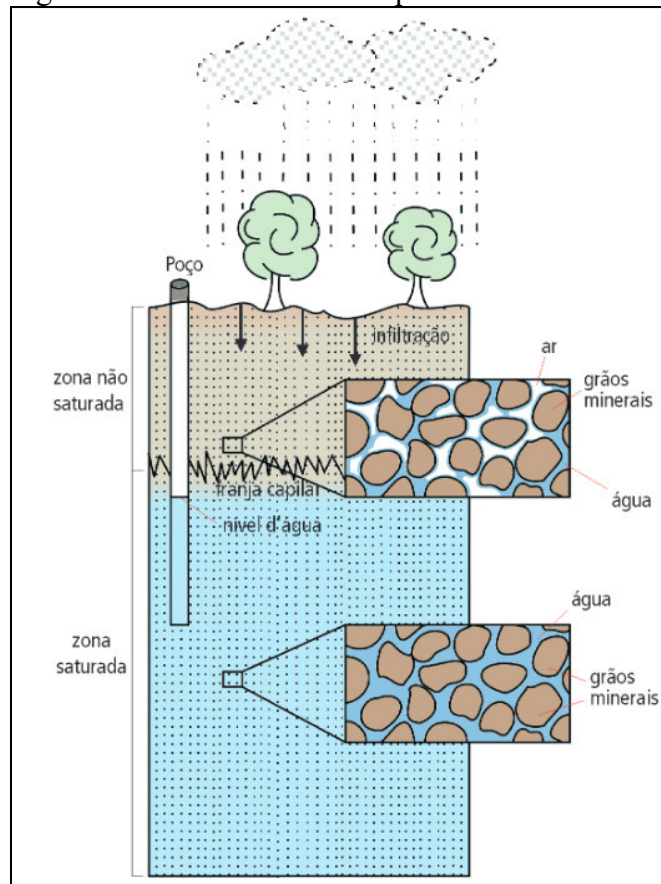
A bacia hidrográfica é uma área da superfície terrestre, drenada por um determinado curso d'água e limitada perifericamente pelo divisor de águas (FUNASA, 2006).

3.1.1.2 Subterrâneos

Segundo Iritani e Ezaki (2009), a água subterrânea é toda água que se encontra sob a superfície da Terra, circulando nos espaços vazios, denominados poros, existentes entre os grãos que formam os solos. Entretanto, do ponto de vista da Hidrogeologia, a denominação água subterrânea é atribuída apenas à água do subsolo que circula na zona saturada (FEITOSA; FILHO, 2000). Se observarmos o processo de infiltração da água no solo obteremos uma compreensão mais clara do que é a água subterrânea.

Como foi visto no ciclo hidrológico, quando a água precipita sobre a terra, na forma de chuva, por exemplo, ela pode acumular e escoar na superfície ou pode se infiltrar na terra. Como se vê na figura 2, ao se infiltrar no solo, a água percorrerá, inicialmente, a região sob a camada inicial de solo úmido onde os poros da terra estão parcialmente preenchidos por gases (principalmente ar e vapor d'água) e por água, essa região é chamada de zona de aeração ou zona não saturada. Uma parcela desse volume de água que se infiltra é captada pelas raízes das plantas e por outros seres vivos ou evapora e volta para a atmosfera, a outra parte, por ação da gravidade, continua em movimento descendente e tende a atingir camadas mais profundas do solo.

Figura 2 – Zonas abaixo da superfície do solo



Fonte: Iritani e Ezaki (2009).

A segunda camada de solo que a água atinge é chamada de zona saturada, pois nessa etapa a água se acumula preenchendo totalmente as fissuras das rochas e interstícios da terra. A água que circula na zona saturada é chamada de água subterrânea. O topo da zona saturada é chamado de franja capilar, onde todos os poros estão preenchidos por água, mas ela está presa aos grãos da rocha pelo efeito da capilaridade.

O limite entre zona saturada e não saturada é comumente conhecido como lençol freático ou nível freático, pois quando perfuramos um poço raso, o nível da água observado representa a profundidade do lençol freático naquele ponto (IRITANI; EZAKI, 2009).

3.2 Impurezas na água

As impurezas presentes na água são constituídas de partículas sólidas, que podem ou não ser percebidas a olho nu. Podem ser divididas por suas características físicas, químicas e biológicas. A identificação da natureza dessas impurezas contidas na água pode ser feita por meio de suas características físicas, químicas e biológicas. Quando a água passa por algum tratamento é para retirar dela essas impurezas e torná-la potável, ou seja, transformar a água

bruta em uma água que possa ser consumida sem causar danos à saúde humano. No espaço abaixo, escreva exemplos de impurezas químicas, físicas e biológicas que podem estar presentes na água.

3.3 Abastecimento público de água

Quando a densidade demográfica em uma comunidade aumenta, a solução mais econômica e definitiva é a implementação de um sistema público de abastecimento de água. Sob o ponto de vista sanitário, a solução coletiva é a mais indicada, por ser mais eficiente no controle dos mananciais e da qualidade da água distribuída a população.

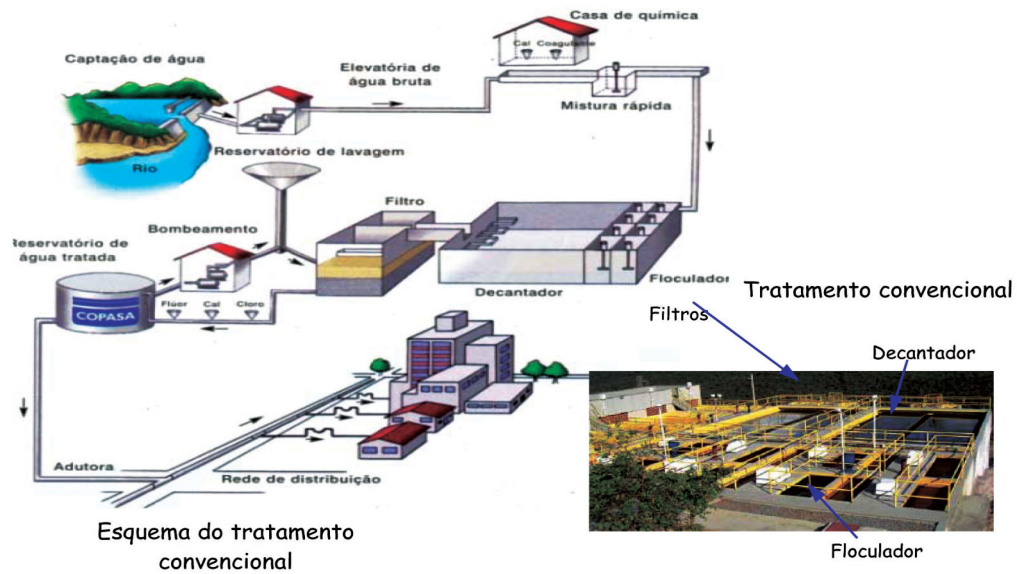
Não obstante, as soluções individuais para as áreas periféricas não devem ser desprezadas, pois serão úteis, salvarão muitas vidas e farão minorar muitos sofrimentos enquanto se aguardam soluções gerais. Estas últimas envolvem grandes gastos e muitas vezes são morosas (FUNASA, 2006).

3.4 Estação de tratamento de água (ETA)

Constitui-se no conjunto de obras, instalações e serviços, destinados a produzir e distribuir água a uma comunidade, em quantidade e qualidade compatíveis com as necessidades da população, para fins de consumo doméstico, serviços públicos, consumo industrial e outros usos (BRASIL, 2006).

Um sistema de abastecimento de água é composto das etapas mostradas na figura 3.

Figura 3 – Etapas que constituem uma estação de tratamento de água



Fonte: Recesa, 2007

3.4.1 Etapas do tratamento

O sistema convencional trata água com teores de impurezas elevados. Durante o tratamento, a água passa pelas seguintes etapas: coagulação, floculação, decantação e filtração, desinfecção, fluoretação, que são etapas comuns a todas as tipologias e correção de pH (RECESA, 2007).

3.4.1.1 Coagulação

É a mistura de produtos químicos (coagulante) na água a ser tratada, de forma que as impurezas (partículas) e alguns contaminantes dissolvidos são “desestabilizados” para começar a formar partículas maiores. Esta mistura pode ser realizada em um misturador hidráulico ou mecanizado. Como exemplo de misturadores hidráulicos, tem-se o medidor Parshall. Já no misturar mecânico, utiliza-se equipamentos para se fazer a mistura. Esses equipamentos podem ser turbinas, hélices e outros. Existem vários tipos de coagulante para tratar a água, o mais utilizado é o sulfato de alumínio.

3.4.1.2 Floculação

Após a coagulação, a água é conduzida para floculadores, local onde os flocos serão formados. Os floculadores são divididos em várias câmaras, dentro das quais a intensidade de agitação da água vai diminuindo gradativamente, de forma a não se quebrar os flocos que estão sendo formados. Semelhante aos misturadores, os floculadores também pode ser mecanizados ou hidráulicos.

3.4.1.3 Decantação

Após a formação dos flocos, a água é conduzida para os decantadores. A decantação é um processo em que se promove a sedimentação dos flocos formados, retirando, assim, parte das impurezas contidas na água.

3.4.1.4 Filtração

Os filtros rápidos constituem a última barreira para tentar reter as partículas que não foram retiradas no decantador. O filtro é um tanque com uma laje de fundo falsa. Abaixo dessa laje, existem tubulações para recolher a água filtrada. Já em cima da laje há uma camada suporte, composta de pedregulhos. Por cima da camada suporte, fica o leito (ou meio) filtrante, que é onde as impurezas ficarão retidas durante a filtração.

O meio filtrante pode ser composto de uma camada de areia ou por duas camadas, uma de areia e a outra de antracito. A areia utilizada como meio filtrante possui características especiais e granulometria definida. Não é qualquer areia que pode ser utilizada nos filtros.

No tratamento convencional, o sentido de escoamento da água nos filtros é de cima para baixo e as impurezas vão ficando retidas ao longo do leito filtrante.

O sistema de tratamento por filtração direta é recomendado para tratar água com menos impurezas. A água a ser tratada passa pelas seguintes etapas: coagulação, filtração e desinfecção, fluoretação e correção de pH, quando necessário. A filtração pode ser ascendente ou descendente.

No sistema de tratamento, por filtração lenta, a água bruta chega à ETA e vai diretamente para o filtro lento. Após a filtração da água, faz-se a desinfecção, a correção de pH, quando necessário, e a fluoretação.

O filtro lento é constituído por um tanque de concreto, no qual há uma camada de pedregulho e uma camada de areia. Abaixo da camada de pedregulho, semelhante à filtração rápida, há tubos para coletar a água filtrada. A taxa de filtração no filtro lento é baixa. Um valor usual é da ordem de $4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$. Isto equivale a filtrar 4.000 litros de água em um metro quadrado de área por dia.

3.4.1.5 Desinfecção, correção de pH (quando necessário) e fluoretação

Para todas as tipologias de tratamento, é necessário fazer a desinfecção e a fluoretação da água. A correção de pH deve ser realizada sempre que necessário, para evitar que a água seja corrosiva ou incrustante, de forma a não ocasionar mal à saúde.

A desinfecção tem o objetivo de eliminar os organismos patogênicos que por ventura não tenham sido retirados durante o tratamento de água. Existem diversos meios e produtos para se fazer a desinfecção, podendo-se citar: o uso do cloro, hipoclorito de cálcio, hipoclorito de sódio, dióxido de cloro, ozônio e radiação ultravioleta.

O cloro e seus compostos são os desinfetantes mais utilizados no Brasil. Devido principalmente ao seu poder de desinfecção e ao fato de seu custo ser relativamente acessível.

Fatores, como o tempo de contato, a mistura do produto com a água e o pH, influenciam na eficiência da desinfecção.

A fluoretação tem como objetivo proteger os dentes contra cárie. Os compostos de flúor mais utilizados para o tratamento são: o fluorsilicato de sódio e o ácido fluorsilício. O uso do flúor na água é exigido pelo Ministério da Saúde.

Sempre que necessário, deve-se fazer a correção do pH na água antes de distribuí-la. O pH elevado pode provocar incrustação na tubulação. Já o pH baixo pode provocar corrosão da tubulação. A cal virgem ou hidratada são os produtos mais comuns para elevar o pH. Para abaixar o pH, pode-se usar ácido ou CO_2 , prática não muito utilizada.

Algumas ETAs utilizam o carvão ativado durante o tratamento da água. O carvão ativado é muito utilizado para adsorver os compostos orgânicos da água. Esses compostos podem ser pesticidas, substâncias húmicas (que provocam cor na água), etc. O carvão ativado pode ser em pó ou granular.

A pré-oxidação também é utilizada em algumas ETAs. O processo de oxidação química consiste em aplicar um oxidante à água com o objetivo de oxidar compostos orgânicos e não orgânicos, tirar sabor e odor da água e melhorar o desempenho de alguns

coagulantes durante o tratamento. A pré-oxidação deve ser usada com cautela, pois alguns oxidantes podem implicar riscos à saúde humana.

3.5 Rede de Distribuição de Água (RDA)

A rede de distribuição de água representa a fase final de um sistema de abastecimento de água, na qual se refere ao fornecimento de água potável a população. A distribuição é efetivada por intermédio de dutos da rede pública, que devem ser dimensionados (caudal, pressão e diâmetro) de modo a possibilitar o fornecimento de água às instalações das edificações (prédios, residências, escolas, hospitais, centros comerciais, etc) em quantidade suficiente, sob pressão adequada e qualidade desejável. Na concepção e exploração da rede de distribuição deve-se aplicar critérios de decisão e medidas preventivas, de modo a preservar a qualidade da água e suas características de potabilidade conferidas durante a fase de “Tratamento”.

Em uma rede de distribuição de água é possível distinguir dois tipos de dutos: os dutos principais (instalados, preferencialmente, próximos a edifícios com maiores exigências em termos de consumo, nomeados de acordo com a necessidade de proteção contra incêndios) e os dutos secundários (ramificações). Os dois principais tipos de redes são: redes ramificadas e as redes emalhadadas.

3.6 Parâmetros de controle da qualidade da água

Existem vários parâmetros de qualidade de água, porém os selecionados para esse estudo foram os parâmetros físico-químicos turbidez, pH e cloro residual. O parâmetro bacteriológico foi o das bactérias do grupo Coliformes (totais e termotolerantes), já que são os mais utilizados para controle da qualidade da água na estação de tratamento de água, para a avaliação da eficiência da desinfecção, de acordo com a PRC nº05/2017 do Ministério da Saúde.

3.6.1 Parâmetros físico-químicos

3.6.1.1 Turbidez

A turbidez ou turvação de uma água é causada por diversos materiais em suspensão, de tamanho e natureza variados, tais como, lamas, areias, matéria orgânica e

inorgânica finamente dividida, compostos corados solúveis, plâncton e outros organismos microscópicos.

A presença destes materiais em suspensão numa amostra de água causa a dispersão e a absorção da luz que atravessa a amostra, em lugar da sua transmissão em linha reta. A turbidez é a expressão desta propriedade óptica e é indicada em termos de unidades de turbidez (NTU –Nephelometric Turbidity Unit).

Existem vários métodos de determinação da turbidez:

a) Visuais: comparação direta da amostra com soluções-padrão de diferente turbidez previamente preparadas.

b) Instrumentais: método nefelométrico: utilização de um dispositivo óptico (turbidímetro) que mede a razão entre as intensidades de luz dispersa numa determinada direção (normalmente perpendicular à incidência), e de luz transmitida.

c) Método espectrofotométrico: medição da razão entre as intensidades de luz transmitida e de luz emitida, através de um espectrofotómetro.

Do ponto de vista sanitário, a importância da turbidez deve-se fundamentalmente a razões:

a) Estéticas: é comum considerar-se uma água turva como poluída.

b) De filtrabilidade: em tratamento de águas, a filtração torna-se mais difícil, ou mesmo mais onerosa, com o aumento da turbidez.

c) De desinfecção: a desinfecção dum água é tanto mais difícil quanto maior é a sua turvação, uma vez que esta diminui o contato do desinfetante com os microrganismos. Uma água com turbidez (turva ou opaca) pode abrigar organismos que causam doenças ao homem (MIEB, 2007/8).

Em termos de tratamento e abastecimento público de água, numa água com turbidez igual a 10 NTU, ligeira nebulosidade pode ser notada e com turbidez igual a 500 NTU, a água é praticamente opaca,

Valores de turbidez da água bruta inferiores a cerca de 20 NTU podem ser dirigidas diretamente para a filtração lenta, dispensando a coagulação química e valores superiores a 50 NTU requerem uma etapa antes da filtração, que pode ser a coagulação química ou um pré-filtro grosseiro (VON SPERLING, 2005).

A PRC nº 05/17 do MS estabelece valores de $\leq 0,5$ para (Filtração rápida - tratamento completo ou filtração direta) e $\leq 1,0$ para (Filtração lenta).

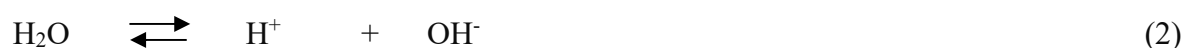
3.6.1.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O conceito de potencial hidrogeniônico (pH), tem sua origem no fenômeno de autoprotólise da água pura. Para definir pH, qualitativamente e matematicamente, deve-se avaliar o equilíbrio de dissociação da água.

Kohlraush e Heidweiler (1894), após cuidadosas experiências, concluíram que, a mais pura das águas apresenta uma pequena, porém, bem definida condutância. A água é, portanto, fracamente ionizada de acordo com o equilíbrio de dissociação (equação 1):



O fenômeno acima é usualmente mais representado de maneira simplificada (equação 2):



Aplicando a essa dissociação a Lei da Ação das Massas, podemos expressar a constante de equilíbrio (equação 3):

$$K = \frac{[\text{H}^+][\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]} \quad (3)$$

Dos resultados experimentais obtidos na determinação da condutância da água, foi possível estabelecer o valor de K, como sendo $1,82 \times 10^{-16}$ a 25°C . Este baixo valor indica que o grau de dissociação é insignificante; a água, portanto pode ser considerada praticamente como não dissociada. Assim, a concentração da água (massa molecular relativa 18) é constante e pode ser expressa como (equação 4):

$$[\text{H}_2\text{O}] = 1000/18 = 55,6 \text{ mol/L} \quad (4)$$

Pode-se, portanto, reunir as constantes em um dos lados da equação e escrever (equação 5):

$$K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1,82 \times 10^{-16} \times 55,6 = 1,01 \times 10^{-14} \quad (5)$$

A nova constante da água K_w é denominada *produto iônico da água*. Seu valor depende da temperatura. Para temperatura ambiente (25°C) o valor é $K_w = 1,01 \times 10^{-14}$, sendo geralmente aceito e usado (VOGEL, 1979)

A importância do produto iônico da água reside no fato de que seu valor é constante, não só na água pura, como também em soluções aquosas diluídas, como por exemplo, as águas naturais. Isso significa que se um ácido for dissolvido em água (o qual, em sua dissociação produz íons hidrogênio H^+), a concentração dos íons hidrogênio pode aumentar às expensas, unicamente, da concentração dos íons hidroxila OH^- . Se, por outro lado, uma base for dissolvida, a concentração dos íons hidroxila aumentará e a concentração dos íons hidrogênio diminuirá. Pode-se definir mais precisamente o conceito de solução neutra, segundo esses critérios, como veremos a seguir. Uma solução é neutra, se contiver a mesma concentração de íons hidrogênio e íons hidroxila (equação 7), isto é, se:

$$[H^+] = [OH^-] \quad (7)$$

Portanto, numa solução neutra, teremos (equação 8):

$$[H^+] = [OH^-] = \sqrt{K_w} = 10^{-7} \text{ mol/L} \quad (8)$$

Numa solução ácida, a concentração de íons hidrogênio excede esse valor, enquanto numa solução alcalina acontece o inverso. Assim (equações 9 e 10):

$$[H^+] > [OH^-] \quad \text{solução ácida} \quad (9)$$

$$[H^+] < [OH^-] \quad \text{solução alcalina} \quad (10)$$

Em todos os casos, a acidez ou alcalinidade de uma solução pode ser expressa quantitativamente em termos da magnitude da concentração hidrogeniônica (ou concentração de íons hidroxila). É suficiente o uso apenas de uma dessas concentrações para qualquer solução, pois se conhecendo uma delas sempre é possível calcular a outra pela equação 11:

$$[H^+] = \frac{10^{-14}}{[OH^-]} \quad (11)$$

Na análise química experimental lidamos frequentemente com baixas concentrações hidrogeniônicas. Para evitar incômodo de escrever números com fatores de potências negativas de 10, Sørensen (1909), introduziu o uso do expoente hidrogeniônico ou pH, definido pela relação (equação 12):

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] \quad \text{ou} \quad [\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} \quad (12)$$

Assim, o pH é o logaritmo da concentração hidrogeniônica ou logaritmo do inverso da concentração hidrogeniônica. Das considerações acima, conclui-se que, na maioria dos casos, o pH das soluções aquosas permanece entre os valores de 0 a 14 (VOGEL, 1979).

Da definição de pH, segue-se:

- a) Para uma solução ácida $\text{pH} < 7,00$;
- b) Para uma solução alcalina $\text{pH} > 7,00$.

O pH representa a concentração de íons hidrogênio, H^+ , dando uma indicação das condições de acidez, neutralidade e basicidade da água. Trata-se de um parâmetro de caráter operacional importante e deve ser acompanhado para otimizar os processos de tratamento (BAIRD, 2004).

Nas estações de tratamento de águas, são várias as unidades (coagulação, floculação, desinfecção, etc.) cujo controle envolve as determinações de pH. A própria distribuição da água final é afetada pelo pH. Sabe-se que as águas ácidas são corrosivas, ao passo que as alcalinas são incrustantes. O pH representa a concentração de íons hidrogênio, H^+ , dando uma indicação das condições de acidez, neutralidade e basicidade da água. Trata-se de um parâmetro de caráter operacional importante e deve ser acompanhado para otimizar os processos de tratamento (BAIRD, 2004).

Segundo a ANA (2015), o pH das águas subterrâneas varia geralmente entre 5,5 e 8,5. A PRC nº 05/15 do Ministério da Saúde, legislação vigente da qualidade da água para consumo humano estabelece limites de pH de 6,00 a 9,50 (ANEXO XX).

3.6.1.3 *Cloro residual*

A cloração de água de abastecimento e águas poluídas serve primeiramente, para destruir ou desativar microrganismos patogênicos; um segundo benefício advindo ao uso do cloro, é a melhora de características físicas, químicas e organolépticas da água, devido a reação do cloro com amônia, ferro, manganês, sulfeto, e outras substâncias orgânicas presentes. O cloro livre reage com amônia e certos compostos nitrogenados formando o

chamado cloro combinado, constituído por monocloroaminas, dicloroaminas e tricloreto de nitrogênio; a presença e a concentração dessas espécies é função direta da condição de temperatura, pH do meio e da relação inicial de cloronitrogênio.

A cloração pode produzir efeitos indesejáveis, como o aparecimento de subprodutos na forma de THM (trihalometanos) – com alto potencial carcinogênico, ou a liberação de gosto e odor, sobretudo, quando da presença de compostos fenólicos, devido a formação do cloro-fenol (cheiro de peixe podre).

O cloro aplicado, quer na sua forma elementar, quer na forma de hipoclorito (OCl^-) reage com água sofrendo hidrólise com produção de cloro livre (Cl_2), ácido hipocloroso (HOCl) e íon hipoclorito (OCl^-); a produção dessas diversas formas de cloro depende exclusivamente do pH.

Os métodos para determinação de cloro residual podem ser titulométricos (iodométrico), colorimétricos usando (N-N-dietil-p-fenilenodiamina (DPD) e kits de campo, o qual contém os reagentes preparados e disco ou bloco de comparação permitindo que a cor revelada na amostra possa ser comparada visualmente obtendo assim a concentração de cloro no local da coleta (POLLING, 2009).

No método iodométrico, o cloro pode reduzir a Iodo (I_2) livre o iodeto de potássio (KI) em um pH em torno de 8,0 ou menor. O I_2 livre é titulado contra uma solução padrão de tiosulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) usando amido como indicador do ponto final da reação.

Realiza-se a titulação em um pH entre 3,0 e 4,0 porque a reação não é estequiométrica numa faixa de pH neutro, no que diz respeito a oxidação do tiosulfato a sulfato.

A PRC nº 05/17 do MS estabelece a faixa de 0,2 a 5,0 ($\text{mgCl}_2\cdot\text{L}^{-1}$) para a concentração de cloro residual.

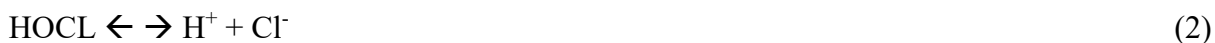
3.6.3.1.1 Princípio da desinfecção com cloro

Quando o cloro é adicionado a uma água quimicamente pura ocorre a seguinte reação (reação 1) (Degrémont, 1979):



Na temperatura ambiente, o tempo de reação é de décimos de segundo (VAN BREMEM, 1984). Em solução diluída e pH acima de 4, o equilíbrio da reação é deslocado para a direita, ficando pouco Cl_2 em solução. Em valores de pH mais baixos, a reação

predominante é no sentido de formação do cloro. O ácido hipocloroso (HOCl), formado pela adição de cloro à água, se dissocia rapidamente (reação 2) (Degrémont, 1979):



A ação desinfetante e oxidante do cloro é controlada pelo ácido hipocloroso, um ácido fraco. Em solução aquosa e valores de pH inferiores a 6, a dissociação do ácido hipocloroso é fraca, sendo predominante a forma não dissociada (HOCl).

Em soluções de pH menor que 2, a forma predominante é o Cl₂; para valores de pH próximo a 5, a predominância é do HOCl, tendo o Cl₂ desaparecido. A forma ClO predomina em pH 10 (BAZZOLI, 1993; DEGRÉMONT, 1979).

As águas de abastecimento, em geral, apresentam valores de pH entre 5,0 e 10,0 quando as formas presentes são o ácido hipocloroso (HOCl) e o íon hipoclorito (OCl⁻). O cloro existente na água sob as formas de ácido hipocloroso e de íon hipoclorito é definido como cloro residual livre (OPAS, 1987; ROSSIN, 1987).

O cloro também pode ser aplicado sob as formas de hipoclorito de cálcio e hipoclorito de sódio, os quais, em contato com a água, se ionizam conforme as reações 3 e 4:



O íon hipoclorito também estabelece um equilíbrio com os íons de hidrogênio, dependendo do pH, ou seja, da concentração de íons de hidrogênio na água. Uma parte do cloro disponível reage com água para formar ácido hipocloroso.

Íons hipoclorito e ácido clorídrico. O ácido clorídrico formado combina-se com a alcalinidade natural da água ou com a alcalinidade introduzida para fins de tratamento, reduzindo- as e alterando, desta forma, o pH, o qual, por sua vez, influi no grau de dissociação do ácido hipocloroso.

Quando existem, na água, amônia e compostos amoniacaís, com a adição de cloro são formados compostos clorados ativos, denominados cloraminas.

O cloro presente sob a forma de cloraminas é denominado cloro residual combinado (OPAS, 1987; ROSSIN, 1987). O cloro sob a forma de ácido hipocloroso combina-se com a amônia presente na água, formando monocloramina (NH₂Cl), dicloramina (NHCl₂) e tricloramina ou tricloreto de nitrogênio (NCl₃) (reações 5, 6 e 7).



A adição de cloro em águas que contenham nitrogênio amoniacal poderá produzir uma série de reações, que dependerão da relação entre o cloro dosado e o nitrogênio amoniacal presente, do pH, da temperatura e do tempo de reação (ROSSIN, 1987; VAN BREMEM, 1984).

O cloro residual (cloro residual combinado) inicialmente aumenta com o aumento do cloro aplicado, passando por um máximo, e, em seguida, diminui até um mínimo; a partir deste mínimo, o cloro residual, agora sob a forma de cloro residual livre, aumenta proporcionalmente com a quantidade de cloro aplicada.

O ponto de inflexão encontrado é chamado de breakpoint (cloração ao breakpoint). Com o início da cloração, o nitrogênio amoniacal consome o cloro na formação de cloraminas. O ponto máximo é atingido quando toda a amônia disponível se combinou com o cloro para a formação de cloraminas.

Como são compostos quimicamente instáveis, quando a curva atinge o máximo, com a continuação da adição de cloro à água as cloraminas são oxidadas e destruídas, formando produtos inertes, como N_2 e HCl .

O ponto mínimo de inflexão é atingido depois da destruição das cloraminas. A continuação da adição de cloro significará um aumento do cloro residual livre, já que toda a demanda de cloro pela água foi satisfeita (OPAS, 1987).

A cloração ao breakpoint pode ser aproveitada de forma a garantir um teor de cloro residual num sistema de distribuição de água (Bazzoli, 1993). A água clorada sofre adição de compostos de amônia, formando as cloraminas. Durante a distribuição da água tratada, as cloraminas funcionarão como uma fonte de cloro frente a qualquer substância oxidável que surgir na rede (recontaminação). O pH da solução influencia as quantidades relativas das cloraminas presentes.

As dicloraminas têm maior efeito bactericida do que as monocloraminas. As tricloraminas não apresentam efeito desinfetante. Essas reações podem ocorrer simultaneamente, e o aumento de acidez e da relação cloro/nitrogênio favorece a formação dos derivados mais clorados. As reações são mais rápidas em valores de pH mais baixos, onde é elevada a concentração de ácido hipocloroso não-dissociado (Van Bremem, 1984).

A presença de ferro e manganês na água também afeta a cloração. Caso o pH seja elevado o bastante para que haja a formação de hidróxidos e a quantidade de cloro presente seja suficiente, as formas reduzidas desses metais serão oxidadas às suas formas de hidróxidos insolúveis.

Os nitritos também podem estar presentes na água, sendo rapidamente oxidados pelo cloro. Uma grande quantidade de compostos orgânicos presentes na água pode exercer influência no consumo de cloro, dependendo da quantidade de cloro disponível e do tempo de reação.

O mecanismo de desinfecção com o uso de cloro não é ainda completamente conhecido. A comprovação experimental de que pequenas concentrações de ácido hipocloroso destroem bactérias levou Green & Stumpf (apud Laubusch, 1971) à formulação da hipótese de que a morte da célula bacteriana era resultado da reação química do ácido hipocloroso com uma enzima, triosefosfato dihidrogenase, essencial na oxidação da glicose e, portanto, na atividade do metabolismo celular (funções respiratórias).

Essas interações também ocorrem com outras enzimas. Entretanto, esta enzima, quando isolada, era oxidada por outros agentes que não o cloro, o que não ocorria com a enzima de células intatas.

Esta observação indicou que a facilidade de penetração do desinfetante na célula é um fator importante. Em relação aos esporos, provavelmente sua inativação ocorre por métodos distintos daqueles das células vegetativas, conforme observações de que a sua sobrevivência não é dependente da capacidade do cloro de oxidar a glicose.

A sobrevivência dos esporos é determinada por sua capacidade de formar células vegetativas e, mesmo após o contato com o cloro, é possível que os esporos continuem capazes de produzir a enzima, o que não acontece com as formas vegetativas, que perdem esta capacidade de regenerar a enzima.

A superioridade da eficiência de desinfecção do ácido hipocloroso em relação a outras formas de cloro é atualmente creditada não somente à sua forte capacidade de oxidação, mas também ao pequeno tamanho de sua molécula e sua neutralidade elétrica, que permitem uma rápida penetração nas células. A reduzida ação bactericida dos íons hipoclorito é relacionada à sua carga negativa, que provavelmente impede sua penetração na célula (FAIR *et al.* apud LAUBUSCH, 1971).

3.6.2 Parâmetro bacteriológico

O controle bacteriológico é fundamental para a saúde pública, uma vez que a água é o principal veículo de transporte de microrganismos patogênicos, como os pertencentes ao grupo dos coliformes, em especial a espécie *Escherichia coli*.

A PRC nº 05/2017 regulamenta os parâmetros microbiológicos determinando o padrão de potabilidade da água para o consumo humano, tais padrões estão dispostos na tabela 1, que mostra o disposto no anexo I do anexo XX da PRC 05/2017.

Tabela 1 – Padrão microbiológico para consumo humano

Tipo de Água		Parâmetro		VPM(1)
Água para consumo humano		Escherichia coli (2)		Ausência em 100mL
Água Tratada	Na saída do tratamento	Escherichia coli (3)		Ausência em 100mL
	No sistema de Distribuição (reservatórios e rede)	Escherichia coli (3)		Ausência em 100mL
		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

Notas: (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)

Fonte: Resolução PRC 05/2017 – ANVISA

3.6.2.1 Coliformes

O grupo coliformes é dividido em coliformes totais e coliformes termotolerantes (MACEDO,2001). São o grupo de bactérias de origem fecal, comumente encontradas no trato gastrointestinal de animais de sangue quente (aves e mamíferos). O principal representante do grupo coliformes é a *Escherichia coli*.

Entretanto as bactérias do grupo coliformes são formadas por bactérias que incluem os gêneros *Klebsiella*, *Escherichia*, *Enterobacter* e *Citrobacter*(BETTEGA et al., 2006). Essas bactérias quando presentes em alimentos ou na água podem ser bastante prejudiciais à saúde.

Os coliformes totais e termotolerantes são os indicadores de contaminação mais usados para monitorar a qualidade sanitária da água para consumo humano. A presença de

bactérias do grupo coliforme em água potável tem sido vista como um indicador de contaminação fecal relacionado ao tratamento inadequado ou inabilidade de manter o desinfetante residual na água distribuída (LECHAVALLIER, WELCH, SMITH, 1996)

3.6.2.1.1 Coliformes totais

Define-se os coliformes totais como sendo bastonetes Gram-negativos que não formam esporos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, capazes de fermentar a lactose com liberação de gás, em 24 a 48 horas à temperatura de $35^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. O grupo inclui cerca de 20 espécies, dentre as quais encontram-se tanto bactérias originárias do trato gastrointestinal de humanos e outros animais homeotérmicos, como também diversos gêneros e espécies de bactérias não entéricas (SILVA et al., 2005)

3.6.2.1.2 Coliformes termotolerantes

Os coliformes termotolerantes ou fecais, cujo o principal representante é a *Escherichia coli*, são bactérias capazes de fermentar, em 24 horas, a lactose à $44 - 45^{\circ}\text{C} (\pm 0,2^{\circ}\text{C})$ e produzir indol a partir do triptofano, oxidase negativa, não hidrolisa a uréia e apresenta atividade das enzimas β -galactosidase e β -glucuronidase) (GUERRA et al., 2006).

A *Escherichia coli* é um forte indicador de contaminação de águas naturais ou tratadas, visto que sua origem fecal é inquestionável, sugerindo também uma eventual presença de organismos patogênicos (BRASIL, 2013). Assim como os coliformes totais, os termotolerantes também devem estar ausentes para que a água esteja de acordo com o padrão de potabilidade.

3.7 Doenças de veiculação hídrica

A água constitui elemento essencial à vida vegetal e animal. O homem necessita de água de qualidade adequada e em quantidade suficiente para atender suas necessidades, para proteção de sua saúde e para propiciar o desenvolvimento econômico.

De várias maneiras a água pode afetar a saúde do homem: pela ingestão direta, na preparação de alimentos, na higiene pessoal, na agricultura, na higiene do ambiente, nos processos industriais ou nas atividades de lazer.

Os riscos para a saúde relacionados com a água podem ser distribuídos em duas categorias:

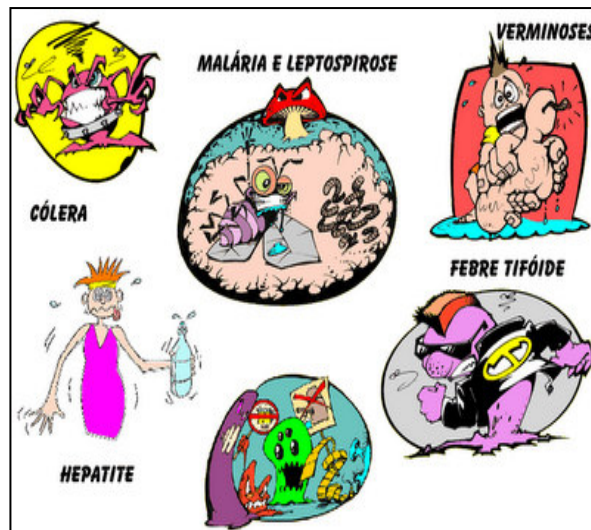
a) riscos relacionados com a ingestão de água contaminada por agentes biológicos (bactérias, vírus e parasitas) pelo contato direto, ou por meio de insetos vetores, que necessitam da água em seu ciclo biológico;

b) riscos derivados de poluentes químicos e radioativos, geralmente efluentes de esgotos industriais, ou causados por acidentes ambientais.

Os principais agentes biológicos encontrados nas águas contaminadas são as bactérias patogênicas, os vírus e os parasitas. As bactérias patogênicas encontradas na água e/ou alimentos constituem uma das principais fontes de morbidade e mortalidade em nosso meio, são responsáveis por numerosos casos de enterites, diarreias infantis e doenças endêmicas/epidêmicas, como a cólera e a febre tifoide, (figura 4), que podem resultar em casos letais (BRASIL, 2006).

A incidência dessas doenças, principalmente em crianças, reflete as precárias condições de saneamento básico e higiene a que estão expostas, podendo agravar e muito o estado nutricional (ANTUNES, CASTRO E GUARDA, 2004)

Figura 4 – doenças relacionadas com a água



Fonte: meio ambiente técnico

4 MATERIAL E MÉTODOS

As amostras foram coletadas em quatro estações de tratamento de água (ETA) e redes de distribuição (RDA), localizadas em diferentes municípios do estado do Ceará, durante os meses de agosto a novembro de 2019.

Para a coletas das amostras foram seguidos os procedimentos descritos no Guia Nacional de Coletas e Preservação de Amostras da Agência Nacional de Águas (ANA, 2011).




Para a realização dos parâmetros analisados foram seguidos os procedimentos descritos no Standard Methods for the Examinations of Water and Wastewater (APHA, 2012).

Os parâmetros selecionados para a avaliação da eficiência de desinfecção foram turbidez (NTU), pH à 25°C, cloro residual e o grupo Coliformes.

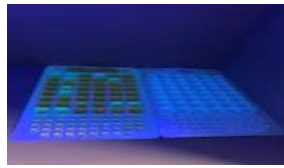
As análises físico-químicas e microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Química Ambiental (LQA) da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC).

A tabela 1 mostra os equipamentos, métodos e reagentes que foram utilizados para a realização das análises dos parâmetros.

Tabela 2 – Equipamentos e métodos utilizados para a realização das análises.

PARÂMETROS	EQUIPAMENTOS	MÉTODOS	REAGENTES
Turbidez (NTU)		2130 B. Nephelometric (APHA,2012)	Soluções padrões de concentrações 0,1; 0,8; 8,0; 80,0 e 100
Cloro residual (mgCl ₂ .L ⁻¹)		4500-Cl B. Iodometric I (APHA, 2012)	Solução de tiosulfato de sódio, Ácido acético glacial, iodeto de potássio e amido
pH à 25°C		4500 H ⁺ B. Eletrometric, (APHA, 2012)	Soluções tampões pH 4,0 e 7,0
Coliformes totais		9223 B – Enzyme substrate (APHA, 2012)	Colilert [®] – Cromogênico ONGP

Escherichia Coli



9223 B –
Enzyme substrate
(APHA, 2012)

Colilert® – Fluorogênico
MUG

Fonte: elaborada pelo autor.

4.1 Determinação da turbidez (NTU): Método 2130 B. Nephelometric

Calibrou-se o turbidímetro seguindo-se as instruções do manual do aparelho, inserindo-se os padrões 0,1; 0,8; 8,0; 80 e 1000 NTU. Antes da leitura das amostras, verificou-se a calibração, utilizando-se um padrão para confirmação da leitura.

Para a leitura da turbidez das amostras com turbidez, uma quantidade da amostra foi agitada na cubeta e após a agitação a cubeta foi inserida no tubo do turbidímetro e leu-se a turbidez diretamente da escala do aparelho. Para esta análise foi utilizado um turbidímetro da marca TECNOPON, modelo TB-1000. Conforme ilustra a figura 5.

Figura 5 – Turbidímetro TECNOPON TB-1000



Fonte: <https://www.shoppingdolaboratorio.com.br> /acesso em 20 de setembro de 2019

4.2 Determinação do pH à 25°C: Método 4500 H⁺ B. Electrometric

Foi medido através do método eletrométrico, com o emprego de eletrodo seletivo para a atividade hidrogeniônica. Para esta análise foi utilizado um pHmetro da marca DIGIMED, modelo DM 22 (Figura 6).

Figura 6 – pHmetro DIGIMED DM-22



Fonte: a autora

Calibrou-se o pHmetro imergindo o eletrodo em um becker contendo as soluções pH 4,0 e 7,0, seguindo-se as instruções do manual do equipamento.

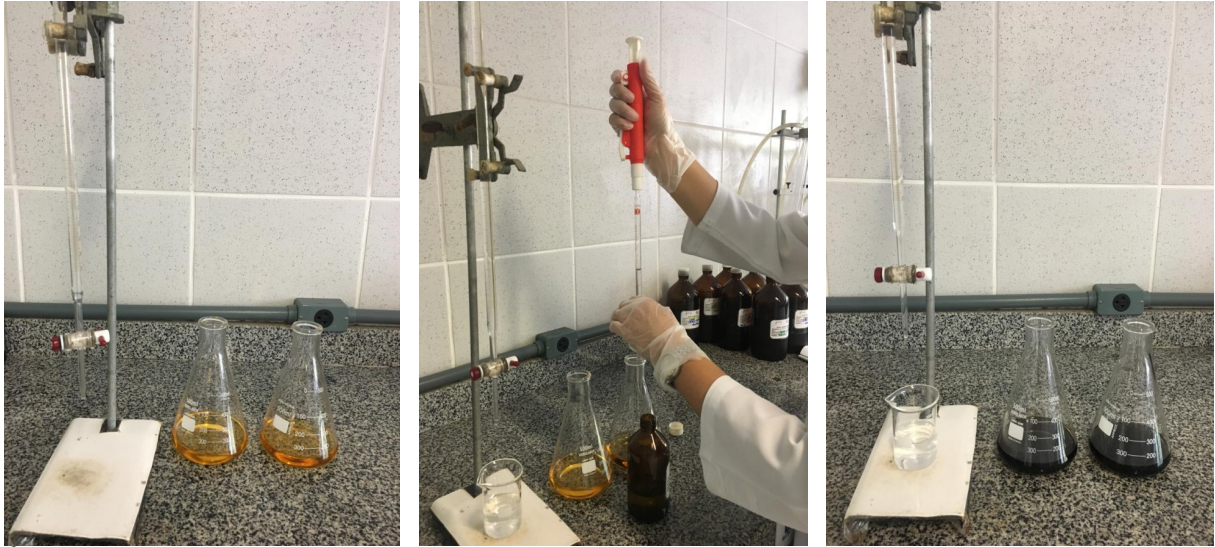
Lavou-se e secou-se o eletrodo e as leituras foram realizadas pela imersão do eletrodo em beckeres contendo as amostras.

A leitura das amostras era mostrada no display do pHmetro.

4.3 Determinação do cloro residual livre: Método 4500-Cl B. Iodometric Method I

Determinou-se o teor de cloro residual através do método iodométrico, adicionando-se iodeto de potássio (KI) a uma amostra de água clorada e acidificada com ácido acético para pH 3-4, O iodo elementar é liberado e, em seguida, titulado com solução padrão de tiosulfato de sódio usando amido como indicador. Com iodo, o indicador reage, formando uma cor azul (Figura 7). A titulação com o tiosulfato de sódio (Figura 8). Faz com que a coloração azul desapareça (Figura 9).

Figura 7 – Preparação da amostra para determinação de cloro residual



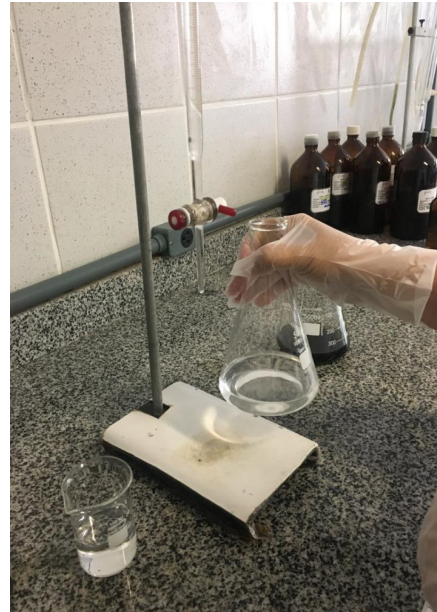
fonte: a autora

Figura 8 – Titulação com $\text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$

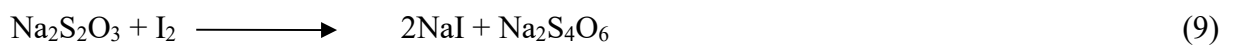


Fonte: a autora

Figura 9 – Ponto final da titulação



Fonte: a autora



Para o cálculo da concentração do cloro residual foi usada a equação 13:

$$C \text{ (mgCl}_2\text{.L}^{-1}\text{)} = N \cdot V(\text{ml}) \cdot \text{Eq-g} \cdot 1000/V_{\text{amostra}} \quad (13)$$

Onde:

N = concentração da solução de tiosulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$).

V = volume gasto de $\text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$ na titulação.

4.4 Determinação dos Coliformes totais e termotolerantes pela técnica de Presença/Ausência: Método 9223 B – Enzyme substrate

A determinação de coliformes totais e Termotolerantes (*Escherichia coli*) foram realizadas utilizando metodologia do substrato cromogênico.

Coletou-se uma amostra (100mL) de água em um frasco estéril. Em uma capela de fluxo laminar (Figura10). Foi adicionado, no próprio frasco, o conteúdo de 1 (um) flaconete contendo o substrato cromogênico – orto-nitrofenil- β -D-galactopiranosídeo (ONGP). Fechou-se o frasco e agitou-se levemente, não havendo necessidade de completa dissolução, haja vista, que essa dissolução ocorre de forma natural. Em seguida, o conteúdo do frasco foi transferido para uma cartela com poços isolados (Figura 11) para avaliação do crescimento após um período de incubação de 24h à temperatura de $37,0 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,5^\circ\text{C}$, em estufa bacteriológica (Figura 12).

Figura 10 – Capela de fluxo laminar do LQA



Fonte: a autora

Figura 11 – Material utilizado na pesquisa de grupos coliformes.



Fonte: a autor

Figura 12 – Pesquisa de grupos coliformes



Fonte: a autora

Como resultado entende-se que, se os poços permanecerem incolor, indicam a ausência de bactérias do grupo coliforme e *Escherichia coli* na amostra. Se os poços apresentarem sua cor alterada para o amarelo e não apresentar fluorescência azul sob luz UV – 365nm, indica presença de bactérias do grupo coliforme e ausência de *Escherichia coli* na amostra. Se a cor dos poços ficar alterada para amarela e apresentar fluorescência sob luz UV, é indicativo da presença de bactérias do grupo coliforme e *Escherichia coli* estão presentes na amostra analisada (MARQUEZI, 2010).

Além de detectar os mesmos organismos, os métodos rápidos estimam rapidamente a qualidade bacteriológica da água, com os resultados reais e possuem sensibilidade igual aos métodos convencionais (MARQUEZI, 2010)

4.5 Estudo estatístico dos resultados

Para uma maior confiabilidade dos resultados, as análises foram realizadas em duplicatas e, os valores das titulações realizadas e das leituras dos equipamentos utilizados, foram calculados através da média.

Também foi calculado o desvio padrão para verificar a dispersão dos valores, pois quanto mais próximo de zero for o desvio padrão maior a homogeneidade dos valores. O maior valor do desvio foi de 0,3,

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As tabelas 3, 4, 5 e 6 mostram os resultados médios obtidos para os parâmetros analisados nas amostras de água coletadas em estações de tratamento de água (ETA) e redes de distribuição (RDA), no período de agosto a novembro de 2019, em quatro municípios do estado do Ceará.

Tabela 3 – Resultados médios obtidos para as amostras coletadas no mês de agosto

Parâmetros	Município 1					RDC nº 05/2017 MS
	RDA 1	RDA 2	RDA 3	RDA 4	ETA 1	
Turbidez (NTU)	0,1±0,06	4,2±0,06	4,6±0,10	4,4±0,10	0,1±0,06	≤ 5,0
Cloro residual (mg·Cl ₂ ·L ⁻¹)	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	1,5±0,06	0,2-5,0
pH a 25°C	7,45±0,06	7,63±0,00	7,99±0,06	7,67±0,06	8,18±0,00	6,0 a 9,5
Coliformes totais	presença	presença	presença	presença	ausência	ausência em 100mL
Escherichia coli	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência em 100mL

Fonte: elaborada pelo autor.

Limite de quantificação do método: LQ = 0,02

Com base nos resultados da tabela 3, somente a amostra de água da ETA apresentou a ausência de Coliformes totais. A presença de Coliformes totais nas amostras de água da rede de distribuição, pode ser justificada pela ausência de cloro, que é o agente responsável pela desinfecção. A presença de bactérias pode favorecer o aparecimento de doenças de veiculação hídrica na população.

A Portaria de Consolidação nº 05/17 do Ministério da Saúde estabelece que a concentração do cloro residual na saída da ETA até a rede de distribuição esteja na faixa de 0,2 a 5,0 mgCl₂·L⁻¹. Portanto as águas da RDA estão em não conformidade com a legislação e não podem ser consumidas.

Tabela 4 – Resultados médios obtidos para as amostras coletadas no mês de setembro

Parâmetros	Município 2					RDC nº 05/2017 MS
	RDA 1	RDA 2	RDA 3	RDA 4	ETA 2	
Turbidez (NTU)	4,2±0,10	2,4±0,06	4,4±0,10	4,9±0,00	5,0±0,06	≤ 5,0
Cloro residual (mg·Cl ₂ ·L ⁻¹)	3,0±0,00	3,0±0,10	3,0±0,06	2,0±0,12	1,5±0,06	0,2-5,0
pH a 25°C	7,69±0,10	7,72±0,00	7,66±0,00	7,50±0,06	7,36±0,06	6,0 a 9,5
Coliformes totais	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência em 100mL
Escherichia coli	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência em 100mL

Fonte: elaborada pelo autor.

Limite de quantificação do método: LQ = 0,02

Com base nos resultados da tabela 4, as amostras de água da ETA e das RDA apresentaram ausência de bactérias do grupo Coliformes totais e termotolerantes.

Os parâmetros turbidez, cloro residual e pH, também apresentaram concentrações de acordo com os valores estabelecidos pela PRC nº 05/17 MS, estando adequadas para o consumo humano.

Tabela 5 – Resultados médios obtidos para as amostras coletadas no mês de outubro

Parâmetros	Município 3					RDC nº 05/2017 MS
	RDA 1	RDA 2	RDA 3	RDA 4	ETA 3	
Turbidez (NTU)	20,5±0,10	18,2±0,10	12,5±0,06	11,9±0,06	9,0±0,10	≤ 5,0
Cloro residual (mg·Cl ₂ ·L ⁻¹)	2,0±0,12	2,0±0,12	2,0±0,00	0,5±0,00	2,0±0,12	0,2-5,0
pH a 25°C	8,44±0,00	8,62±0,00	8,62±0,06	8,43±0,06	8,27±0,10	6,0 a 9,5
Coliformes totais	ausência	ausência	ausência	presença	ausência	ausência em 100mL
Escherichia coli	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência em 100mL

Fonte: elaborada pelo autor.

Limite de quantificação do método: LQ = 0,02

Com base nos resultados da tabela 5, somente a amostra de água da RDA 4, apresentou a presença de Coliformes totais, sendo essa a amostra com menor concentração de cloro residual.

Tanto as amostras de água das RDA como da ETA estão com a concentração do parâmetro turbidez em desacordo com o valor estabelecido pela RDC nº 05/17 MS, tornando-as inadequadas para o consumo humano.

A turbidez além de causar aparência desagradável, os sólidos em suspensão podem causar agravos à saúde servindo de abrigo para os microrganismos se protegerem dos produtos usados na desinfecção da água, como, por exemplo, o vírus da hepatite A.

Apesar das concentrações elevadas de turbidez influenciar na eficiência da desinfecção, as amostras de água das RDA 1, 2 e 3 apresentaram ausência de bactérias do grupo Coliformes. Isso pode ser justificado devido a existência de outros tipos de microrganismos, como por exemplo, as bactérias ferruginosas, que favorecem o aparecimento de ferro, contribuindo para elevação da turbidez. O ferro na presença de cloro é oxidado para hidróxido de ferro férrico que é insolúvel na água e precipita.

Tabela 6 – Resultados médios obtidos para as amostras coletadas no mês de novembro

Parâmetros	Município 4					RDC nº 05/2017 MS
	RDA 1	RDA 2	RDA 3	RDA 4	ETA 4	
Turbidez (NTU)	1,1±0,06	1,1±0,10	1,3±0,06	6,0±0,10	1,9±0,06	≤ 5,0
Cloro residual (mg·Cl ₂ ·L ⁻¹)	2,5±0,00	2,0±0,00	2,0±0,10	2,0±0,10	3,0±0,06	0,2-5,0
pH a 25°C	7,07±0,10	7,13±0,06	7,10±0,06	7,07±0,00	6,85±0,00	6,0 a 9,5
Coliformes totais	ausência	ausência	presença	presença	ausência	ausência em 100mL
Escherichia coli	ausência	ausência	presença	ausência	ausência	ausência em 100mL

Fonte: elaborada pelo autor.

Limite de quantificação do método: LQ = 0,02

Com base nos resultados da tabela 6, as amostras de água das RDA 1 e 2 e da ETA apresentaram ausência de bactérias do grupo Coliformes e estão em conformidade com a RDC nº 05/17 MS, enquanto as amostras das RDA 3 e 4 apresentaram a presença, estando em desacordo com a legislação citada e não podendo ser consumidas pela população.

Analisando os resultados de cloro residual, podemos observar que, apesar das concentrações de cloro residual para algumas amostras de água encontraram-se com o valor dentro da faixa estabelecida pela legislação, ocorreu a presença de Coliformes totais.

Sabe-se que, o cloro e os compostos clorados são fortemente oxidantes e, quando aplicados na água, podem reagir com uma variedade de compostos orgânicos e inorgânicos, formando outros compostos. Sendo assim, dependendo da característica química da água, a presença de certas impurezas consome parte do cloro adicionado,

O pH altera a forma de apresentação do cloro e as cargas elétricas dos microrganismos e, dependendo do tipo dos microrganismos, alguns são mais resistentes à ação do cloro.

A contaminação da água por bactérias do grupo dos coliformes totais e termotolerantes é fator preocupante, uma vez que estas assumem importância na possibilidade da existência de micro-organismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, tais como cólera e disenteria (VIANA , SOUZA, CARVALHO & CARVALHO (2018).

A presença de coliformes totais na água não significa, necessariamente, contaminação fecal, mas é considerado um importante indicador de falhas no processo de manipulação e de condições higiênico-sanitárias insatisfatórias, necessitando de cuidados com o armazenamento da água no estabelecimento (VIANA , SOUZA, CARVALHO & CARVALHO (2018).

Faz-se necessário salientar que tais resultados possam vir a conter falhas, tais como, tempo de análise superior a 24h, ou seja, fora da faixa determinada, má acondicionamento da amostra em análise, falta de atenção do operador quanto a leitura e registro da correta informação, fatos que levam a um falso positivo.

Uma destas interferências, está no fato de que Enterobacteriaceae, incluindo bactérias dos gêneros Salmonella, Shigella, Citrobacter, Yersinia, também produzem beta-glucuronidase, enzima utilizada para detecção de *E. coli*, podendo levar a um certo número de organismos de falsos-positivos (VIANA , SOUZA, CARVALHO & CARVALHO (2018).

Fatores como o pH e a turbidez da água, além da resistência dos microrganismos patogênicos, dentre outros interferem na eficiência da desinfecção. A propriedade do cloro como desinfetante de manter uma concentração residual na água constitui uma barreira sanitária contra eventual recontaminação antes do uso.

6 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- No município 1, somente a amostra de água da ETA mostrou-se em conformidade com a PRC nº 05/17 do MS. As amostras dos 4 pontos das RDA mostraram a presença de Coliformes totais.
- No município 2, as amostras de água da ETA e RDA mostraram-se em conformidade com a PRC nº 05/17 do MS.
- No município 3, as amostras de água da ETA e RDA mostraram em não conformidade com a PRC nº 05/17 do MS.
- No município 4, somente uma amostra de água da RDA apresentou-se em não conformidade com a PRC nº 05/17 do MS.

De acordo com as conclusões apresentadas, cabe-se salientar que a água que está sendo distribuída para a população dos municípios 1, 3 e 4, pode colocar em risco à saúde da população.

Portanto, a empresa responsável pelo tratamento da água distribuída para abastecimento, precisa melhorar a eficiência do tratamento da água, revisando todas as etapas do tratamento.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard Methods for the Examinations of Water and Wastewater, 22th ed. Washington DC, 2012.
- ANA. Agência Nacional de Águas Guia Nacional de Coleta e Preservação Amostras. Água, Sedimentos, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos Brasília, DF, 2011.
- ANTUNES, C.A.; CASTRO, Mo.C.F.M.; GUARDA, V.L.M. Influência da qualidade da água destinada ao consumo humano no estado nutricional de crianças com idades entre 3 e 6 anos, no município de Ouro Preto –MG. Alim. Nutr., Araraquara, v. 15, n. 3, p. 221-226, 2004.
- BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. Manual de saneamento. 3 ed.rev. Brasília, 2006. 480 p.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação (PRC) Nº 05, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX.
- LABORATÓRIO DE TECNOLOGIAS AMBIENTAIS. Análises físico-químicas: cor, turbidez, pH, temperatura, alcalinidade e dureza. MIEB, 2007/8.
- OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE ESTAÇÕES: ABASTECIMENTO DE ÁGUA: GUIA DO PROFISSIONAL EM TREINAMENTO: nível 1 / Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). – Belo Horizonte. RECESA, 2007. 80 p.
- VON SPERLING, MARCOS. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3 ed. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.
- POHLING, ROLF. Reações químicas na análise de água. Fortaleza. Março, 2009.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Disponível: <www.ana.gov.br>. Acesso em: 10 mai. 2015.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA; WATER ENVIRONMENT FEDERATION – WEF. **Standard methods:** for the examination of water and wastewater. 22. ed. Washington, D.C.: APHA – American Public Health Association, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS – ABAS. Educação. Disponível em: <<http://www.abas.org/educacao.php>>. Acesso em: 2 abr. 2015.
- ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; PALÁCIO, H. A. Q. O semiárido cearense e suas águas. In: ANDRADE, E. M.; PEREIRA, O. J.; DANTAS, F. E. R. (Org.). **Semiárido e o manejo dos recursos naturais:** uma proposta de uso adequado do capital natural. Fortaleza, CE: Imprensa Universitária da UFC, 2010. p. 56-80.
- AQUÍFERO Guarani. Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/meio-ambiente-agua/aquifero-guarani.php>>. Acesso em: 2 abr. 2015.

- BAIRD, C. **Química ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622 p.
- BASTOS, Cleverson Leite; KELLER, Vicente. **Aprendendo a aprender: introdução à metodologia científica**. 19. ed. Petrópolis: Vozes, 2006.
- BITTAR, Eduardo Carlos Bianca. **Linguagem jurídica**. São Paulo: Saraiva, 2001.
- BECKER, H. **Controle analítico de águas**. Versão 4. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2010. 84 p.
- BEZERRA, N. F. **Fragmentando o território: bases para o desenvolvimento do semi-árido do Ceará**. Fortaleza: Fundação Konrad Adenauer, 2004. 190p.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERWZA, J. C.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo, SP: Pearson Prentice Hall, 2005. 318 p.
- BRANCO, S. M. **Água: origem, uso e preservação**. São Paulo: Moderna, 1998. 71p.
- BRASIL. FUNASA. Manual prático de análise de água. 4. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2013. 153 p.
- CAPUCCI, E.; MARTINS, A. M.; MANSUR, K. L.; MONSORES, A. L. M. **Poços tubulares e outras captações de águas subterrâneas: orientação aos usuários**. Rio de Janeiro, 2001.
- COMPANHIA DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CEARÁ – COGERH. **Plano de Gerenciamento das Águas das Bacias Metropolitanas**. Fortaleza, 2000.
- COSTA, C. L.; LIMA, R. F.; PAIXÃO, G. C.; PANTOJA, L., D., M. **Avaliação da qualidade das águas subterrâneas em poços do Estado do Ceará, Brasil**. Semana: Ciências Biológicas e da Saúde, Londrina, v.33, n. 2, p. 171-180, jul/dez. 2012.
- CPRM. **Atlas digital dos recursos hídricos subterrâneos do Estado do Ceará**. Fortaleza: CPRM/Serviço Geológico do Brasil, 1988. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=36&infoid=588>>. Acesso em: 2 mai. 2015.
- DA SILVA, F. J. A.; ARAÚJO, A. L.; SOUZA, R. O. **Águas subterrâneas no Ceará – poços instalados e salinidade**. Rev. Tecnol. Fortaleza, v. 28, n. 2, 2007, p. 136-159.
- FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Fortaleza: Editora Gráfica LCR, 1997.
- FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS – FUNCEME. Disponível em: <<http://www.funceme.br/>>. Acesso em 20 de mar 2015.
- GUERRA, N. M. M.; OTENIO, M. H.; SILVA, M. E. Z.; GUILHERMETTI, M.; NAKAMURA, C. V.; NAKAMURA, T. U.; DIAS FILHO, B. P. Ocorrência de Pseudomonas

aeruginosa em água potável. Acta Sci. Biol. Sci., v.28, n.1, p.13-18, 2006.

GREGHI, S. Q. **Avaliação da eficiência de métodos rápidos usados para detecção de coliformes totais e coliformes fecais em amostras de água em comparação com técnicas de fermentação em tubos múltiplos.** Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2005.

HOLOS - Qualidade Bacteriológica De Amostras De Água Em Escolas Públicas Do Município De Tangará Da Serra, Mato Grosso. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKewidnpP_pInmAhXfH7kGHS7ACfEQFjAAegQIBRAC&url=http%3A%2F%2Fwww2.ifrn.edu.br%2Ffojs%2Findex.php%2FHolos%2Farticle%2Fdownload%2F5124%2Fpdf&usq=AOvVaw38B_hWlfqTRdEn-AXsaXAx> . Acesso em 20 nov. 2019.

HORIZONTE. Secretaria Municipal de Educação. **Censo escolar.** Horizonte, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2003.** Rio de Janeiro, 2003.

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo.** São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 104 p. Disponível em: <http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads/livros/cart_AG_SB.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2015.

LECHEVALLIER, M. W.; WELCH, N. J.; SMITH, D. B. Full-scale studies of factors related to coliform regrowth in drinking water. Appl. Environm. Microbiol., v.62, n.7, p.2201-2211, 1996

LAPPONI, J. C. **Estatística usando excel.** 2. Ed. São Paulo: Lapponi Treinamento e Editora, 2002. 450p.

LARA, Marilda Lopes Ginez de; SMIT, Johanna Wilhelmina. **Temas de pesquisa em Ciência da Informação no Brasil.** São Paulo: Escola de Comunicações e Artes da Universidade de São Paulo, 2010. Disponível em: <http://www.repositoriobib.ufc.br/000005/00000588.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2012.

MACÊDO, J. A. B. de. **Águas & águas.** São Paulo: Varela, 2001. 263p.

MOTA, S. **Preservação e conservação de recursos hídricos.** 2. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995. 187 p.

MINISTÉRIO DA SAÚDE – SECRETARIA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano.** Brasília. 2006, 212p. Disponível em:< http://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf> . Acesso em: 04 nov. 2019.

MINISTÉRIO DA SAÚDE – FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS –** Brasília. 2014. 112 p. Disponível em:<http://www.funasa.gov.br/site/wpcontent/files_mf/manualcont_quali_agua_tecnicos_trab_emetas.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Águas subterrâneas**: um recurso a ser conhecido e protegido. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano, 2007. 38 p. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/167/_publicacao/167_publicacao28012009044356.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2015.

MUELLER, Suzana Pinheiro Machado; PERUCCHI, Valmira. Universidades e a produção de patentes: tópicos de interesse para o estudioso da informação tecnológica. **Perspectivas em Ciência da Informação**, Belo Horizonte, v. 19, n. 2, p. 15-36, 2014.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro, Supren, 1979.

OWENS, M. The global water cycle has intensified. Reston: U.S. Geological Survey (USGS), 2006. Disponível em: <<http://news.softpedia.com/news/The-Global-Water-Cycle-Has-Intensified-19799.shtml>>. Acesso em: 21 jun. 2015.

PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA – QUALIDADE DA ÁGUA. São Paulo: Disponível em <<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/qualidade-da-agua>>. Acesso em: 02 nov. 2019.

PRESERVAÇÃO do meio ambiente: manifesto do chefe de Seattle ao presidente dos EUA. São Paulo: Babel Cultural, 1987.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDAÍ, J. G. **Águas doces no Brasil**: capital ecológico, uso e conservação. 3. ed. rev. ampl. São Paulo, SP: Escrituras, 2006. 748 p.

RODIER, J. **Análisis de las aguas**: aguas naturales, aguas residuales, agua do mar. Barcelona: Omega, 1990.

ROSAS, Anny Jacqueline Cysne. **Sustentabilidade da atividade produtora de água envasada em Fortaleza, CE**. 2008. 186 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

SISS, Ahyas. Afro-brasileiros e Educação Superior: notas para debates. *In*: COSTA, Hilton; PINHEL, André; SILVEIRA, Marcos Silva da (org.). **Uma década de políticas afirmativas**: panorama, argumentos e resultados. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2012. p. 18-26.

TARAPANOFF, K. Educação corporativa. *In*: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE GESTÃO DO CONHECIMENTO E INTELIGÊNCIA COMPETITIVA, 1., 2006, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba: CIETEP, 2006. Disponível em: <http://www.gecic.com.br>. Acesso em: 22 out. 2006. p. 59-70.

TRISTÃO, Ana Maria Delazari; FACHIN, Gleisy Regina Bóries; ALARCON, Orestes Estevam. Sistema de classificação facetada e tesouros: instrumentos para organização do conhecimento. **Ciências da Informação**, Brasília, DF, v. 33, n. 2, p. 172-178, 2004. Disponível em: <http://revista.ibict.br/ciinf/index.php/ciinf/article/view/265/233>. Acesso em: 2 out. 2014.

SILVA, N; NETO, R.C.; JUNQUEIRA A.C.V.; SILVEIRA, A.F.N. Manual de métodos de análise microbiológica da água. São Paulo: Varela, 2005. 13,21,22,24,27,29,30,35,36,41,67,69p.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte, MG: UFMG. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. 452 p.

SOUZA, R.M.G.L.; PERRONE, M.A. Padrões de potabilidade da água. 12p. Disponível em: <<http://cvs.sal.sp.gov.br/vol2.html>>. Acesso em: 10 out. 2019.

UNIVERSIDADE DO PORTO: MODELAÇÃO DE UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA: Vilas-Boas, Pedro Ricardo. Portugal, 2007. Disponível em:< <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/58016/1/000129459.pdf>> Acesso em: 14 set. 2019.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Biblioteca Universitária. **Guia de normalização de trabalhos acadêmicos da Universidade Federal do Ceará**. Fortaleza, 2013.

VALENTE, M. D. S. **Manual prático de análise de água**. 2. ed. Brasília: FUNASA, 2006.

VIANNA, P. J. R.; FILHO, J. A.; LÓCIO, A. B. **Os recursos hídricos do Ceará: integração, gestão e potencialidades**. Texto para Discussão, Fortaleza: IPECE, n. 22, maio, 2006.

ZANELLA, M. E. **As características climáticas e os recursos hídricos do Estado do Ceará**. Ceará: Um Novo Olhar Geográfico. Org: DA SILVA, J.B. *et al.* Fortaleza, Ed: Edições Demócrito Rocha, 2005.

ZIMBRES, E. Disponível em: <<http://www.meioambiente.pro.br/agua/guia/aguasubterranea.htm>>. Acesso em: 20 abri. 2015.