

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural que, além de ser primordial à vida, é constituinte de organismos animais, vegetais e fundamental para o ser humano. O homem a utiliza em seu cotidiano para o próprio consumo, na higiene, irrigação, recreação, abastecimento industrial, geração de energia elétrica, navegação, dentre outros vários usos. Apesar de ser considerada um recurso natural renovável, a água se tornou escassa em vários lugares do mundo.

Do total da água existente no planeta, a maior parte não está disponível para o consumo do homem e de animais, pois de acordo com Libânio (2010), 97% corresponde às coleções de água salgada, restando apenas 3% de água doce existente. Da quantidade de água doce disponível, 2,7% são formadas por geleiras, vapor de água e lençóis existentes em grandes profundidades, o que a torna economicamente inviável seu aproveitamento para o consumo humano. Em consequência, somente 0,3% do volume total de água do planeta pode ser aproveitado para nosso consumo.

Dessa forma, a água passou a ser uma preocupação crescente não apenas no que se refere à quantidade disponível, mas, principalmente, em relação à sua qualidade, acarretando prejuízos e restrições nos seus usos múltiplos.

O homem sempre se preocupou com o problema da obtenção e, conseqüentemente, com a qualidade da água destinada ao seu consumo, e ao longo do tempo aprimorou formas variadas de extrair da natureza esse recurso tão necessário ao desenvolvimento de suas atividades (LEME, 1990).

Os seres humanos fazem a captação de água para seu consumo de mananciais apropriados, dependendo de sua localização geográfica e da facilidade de obtenção dessas águas. O termo “manancial” refere-se a toda fonte de água utilizada para abastecimento doméstico, comercial, industrial e outros fins, sendo classificados em: mananciais subterrâneos (aquíferos); mananciais de superfície (córregos, rios, lagos, reservatórios artificiais, dentre outros); e águas de chuvas (BRASIL, 2006).

A água, embora indispensável ao organismo humano, quando coletada em mananciais, pode conter impurezas (elementos químicos e microrganismos) que

devem ser eliminados ou reduzidos a concentrações mínimas que não sejam prejudiciais à saúde.

Na necessidade de fornecer água potável para consumo humano, as Estações de Tratamento de Água – ETAs são projetadas e operadas para remover as impurezas presentes nas águas das fontes de abastecimento por meio de uma combinação de processos e de operações de tratamento, produzindo água com características que atendam ao padrão de potabilidade estabelecido pela legislação vigente.

O tratamento da água superficial, conhecido como sistema convencional ou ciclo completo, consiste em várias etapas, compreendendo desde a captação (retirada de água bruta do manancial), adução, coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, até o bombeamento para os reservatórios e redes de distribuição.

No Brasil, a legislação atualmente em vigor que regulamenta o padrão de potabilidade de água para consumo humano é a Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde. Esta Portaria é a quinta versão da norma brasileira de qualidade da água para consumo que, desde 1977, vem passando por revisões periódicas. A mesma estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, fixa valores máximos permitidos (VMP) para cada parâmetro de qualidade da água, e determina ainda a frequência mínima com que eles deverão ser verificados nas águas de abastecimento público.

O controle de qualidade da água é realizado pelo Departamento de Pavimentação, Água e Saneamento do Acre - DEPASA a partir de mensurações realizadas diariamente de vários parâmetros nas estações de tratamento, bem como análises mensais no sistema de distribuição, conforme a Portaria MS 2.914/2011. Porém, há carência de estudos que sistematizem esses dados, gerando informações relevantes sobre a condição em que se encontra a água para consumo humano no município de Rio Branco.

Diante deste contexto, o estudo do padrão de potabilidade da água produzida pelas Estações de Tratamento e da água que chega até o sistema de distribuição é de fundamental importância em contribuir para o controle e a vigilância da qualidade

da água, estabelecidos pela legislação vigente, uma vez que, o funcionamento correto de uma ETA pode determinar a saúde de toda uma população, e com isso garantir melhor proteção à saúde, maior segurança e confiabilidade por parte dos consumidores.

O objetivo geral desta pesquisa foi realizar o estudo da qualidade da água para o consumo humano no sistema de abastecimento de água do município de Rio Branco – Acre. E os objetivos específicos foram: i) avaliar o controle de qualidade da água produzida nas Estações de Tratamento (ETA I e ETA II) e no sistema de distribuição (reservatórios e rede); ii) e verificar se os parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água tratada e distribuída pelas ETAs na cidade de Rio Branco estão de acordo com a legislação.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

Os seres humanos fazem a captação de água para seu consumo de mananciais apropriados, dependendo de sua localização geográfica e da facilidade de obtenção dessas águas. De acordo com BRASIL (2006), um manancial é toda fonte de água utilizada para abastecimento doméstico, comercial, industrial e outros fins, sendo classificados em: mananciais subterrâneos – aos quais se encontram totalmente abaixo da superfície terrestre (aquíferos); mananciais de superfície - se encontram totalmente acima da superfície terrestre (córregos, rios, lagos, reservatórios artificiais, dentre outros); e águas de chuvas.

Em decorrência dos mananciais sofrerem pressão antrópica, especialmente em virtude dos usos múltiplos, pesquisadores passaram a se questionar qual é o padrão de qualidade capaz de reduzir, significativamente, os riscos de contaminação por microrganismos.

Por isso, órgãos ambientais em parceria com pesquisadores da área de saúde, laboratórios, desenvolveram um estudos voltados a estabelecer um padrão mínimo de qualidade da água capaz de atender à necessidade humana e manter o baixo risco a doenças de veiculação hídrica (CARMO *et al.*, 2003). Assim, a água pode conter impurezas (elementos químicos e microrganismos) que devem ser eliminados ou reduzidos a concentrações mínimas que não sejam prejudiciais à saúde.

Na necessidade de fornecer água potável para consumo humano, as Estações de Tratamento de Água - ETAs são projetadas e operadas para remover as impurezas presentes nas águas das fontes de abastecimento por meio de uma combinação de processos e de operações de tratamento, produzindo água com características que atendam ao padrão de potabilidade estabelecido pela legislação vigente (BRASIL, 2006).

O sistema convencional ou ciclo completo, é um tipo de tratamento de água que integra o sistema de abastecimento de água, o que inclui ainda as etapas de captação (retirada de água bruta do manancial), adução, coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, até o bombeamento para as redes e reservatórios de distribuição (BRASIL, 2006). Não basta ter uma estação de tratamento eficiente, é necessário que o sistema de distribuição, composta por reservatórios e rede, estejam íntegros para manter a água com qualidade.

No Brasil, a legislação atualmente em vigor que regulamenta o padrão de potabilidade de água para consumo humano é a Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde. Sendo esta Portaria a quinta versão da norma brasileira de qualidade da água para consumo que, desde 1977, vem passando por revisões periódicas, a mesma estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, fixa valores máximos permitidos (VMP) para cada parâmetro de qualidade da água, e determina ainda a frequência mínima com que eles deverão ser verificados nas águas de abastecimento público (BRASIL, 2011).

### 2.1 Doenças Veiculadas pela Água

Segundo a Organização Mundial de Saúde - OMS, cerca de 80% de todas as doenças que se alastram nos países em desenvolvimento são provenientes da água de má qualidade. Para Minçom Filho (2007) o fornecimento de água potável a uma população reduz a mortalidade infantil e melhora as condições de saúde, tornando o indivíduo mais produtivo para a comunidade.

Segundo Campos (2007), os riscos para a saúde relacionados com a água podem ser classificados em duas categorias:

- (i) Riscos relacionados com a ingestão de água contaminada por agentes biológicos, pelo contato direto, ou por meio de insetos vetores que necessitam da água em seu ciclo biológico;
- (ii) Riscos derivados de poluentes químicos e radioativos, geralmente efluentes de esgotos industriais, ou causados por acidentes ambientais.

Diversas enfermidades ocorrem pela presença de bactérias, vírus, protozoários, helmintos, fungos, substâncias químicas, etc., decorrentes do preparo inadequado dos alimentos e/ou má higiene pessoal, caracterizando assim no indivíduo que ingere a água ou alimento contaminado, um quadro sintomatológico envolvendo geralmente: vômitos, diarreia, febre e dores abdominais (MACÊDO, 2007).

De acordo com o mesmo autor, uma série de agentes biológicos pode causar as enfermidades de veiculação alimentar e hídrica. Richter (2009) cita as doenças mais comuns, de transmissão hídrica (Quadro 1):

Quadro 1 – Principais doenças de veiculação hídrica.

<b>DOENÇAS</b>	<b>AGENTES CAUSADORES</b>
<b>Febre tifoide</b>	<i>Salmonella typhi</i>
<b>Febre paratifoide</b>	<i>Salmonella paratyphi A,B e C</i>
<b>Disenteria bacilar</b>	<i>Shiggella</i> sp.
<b>Disenteria amebiana</b>	<i>Entamoebahistolitica</i>
<b>Cólera</b>	<i>Vibriocholerae</i>
<b>Diarreia</b>	Enterovírus, <i>E. coli</i>
<b>Gastroenterite</b>	Outros tipos de <i>Salmonella</i> , <i>Shiggella</i> , <i>Proteus</i> sp.
<b>Hepatite infecciosa</b>	Vírus da Hepatite do tipo A

Além desses males, existem ainda os casos que podem ocorrer em consequência da presença na água de substâncias tóxicas ou nocivas. Mais de 40 enfermidades podem ser transmitidas direta ou indiretamente, seja por contato com águas poluídas, ou por falta de higiene ou ainda devido a vetores que vivem no meio aquático (RICHTER, 2009).

## 2.2 Indicadores da Qualidade da Água

Os indicadores da qualidade da água são instrumentos utilizados em sua avaliação e controle, e por isso, importantes como critério de monitoramento da vigilância da água e sistemas de abastecimentos de água. Segundo BRASIL (2006) esses indicadores são imprescindíveis na identificação de fatores de risco e na definição de estratégias de melhoria da situação existente.

São considerados critérios de qualidade da água os aspectos físicos, químicos e microbiológicos. As análises físicas medem e indicam características perceptíveis pelos sentidos. Os aspectos químicos são resultantes da presença de substâncias dissolvidas. E em relação à qualidade microbiológica, a água pode atuar como veículo de microrganismos patogênicos e deterioradores, sendo um risco à saúde do consumidor (SILVA *et al.*, 2009).

A Portaria MS nº. 2.914/11 estabelece, em seus anexos, uma relação de vários indicadores da qualidade da água como: presença de coliformes totais e *Escherichia coli*, cor, pH, cloro residual livre, turbidez, dureza total, presença de ferro, manganês, alumínio, dentre outros aspectos físico-químicos e organolépticos. Em geral, esses parâmetros são agrupados em: microbiológicos, físico-químicos e organolépticos (Anexo I).

### 2.2.1 Indicadores Microbiológicos

Os indicadores microbiológicos adotados no Brasil são de dois tipos: coliformes totais e *Escherichia coli*.

#### 2.2.1.1 Coliformes Totais

No grupo bacteriano, os coliformes são os comumente considerados para o critério de avaliação da qualidade da água, porque são de fácil identificação e possuem em seu grupo, representantes de alta patogenicidade (DANIEL, 2001).

Os Coliformes totais são bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, capazes de fermentar a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a  $35,0 \pm 0,5$  °C em 24-48 horas, e que podem apresentar atividade da enzima  $\beta$  – galactosidase (BRASIL, 2011). De acordo com

Bettega et al. (2006) existem aproximadamente 20 espécies deste grupo. Os coliformes totais são representados por quatro gêneros: *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Escherichia* e *Klebsiella*, todos da família enterobacteriaceae. Nem todas, porém, são de origem fecal podendo ocorrer naturalmente na água, solo e plantas.

As bactérias coliformes são parasitas do intestino humano e de outros animais de sangue quente e isso as torna excelentes indicadores de contaminação fecal da água. Assim, o despejo de esgotos domésticos, mesmo tratados, em mananciais utilizados para abastecimento público, pode causar grande impacto no meio e torná-lo suscetível à transmissão de doenças (CAMPOS, 2007).

O Ministério da Saúde relata que o parâmetro, coliformes totais, possui importância sanitária limitada na avaliação da qualidade das águas naturais. A sua aplicação é relevante para a água tratada, principalmente na saída do tratamento (BRASIL, 2011).

Apesar de coliformes associarem-se à eficiência do processo de desinfecção da água, a presença deste grupo no sistema de distribuição pode indicar seu comprometimento, pois mesmo que o tratamento empregado tenha sido adequado, a água pode sofrer deteriorações ao longo da sua distribuição. Dessa forma, é necessária muita cautela ao usar coliformes totais como indicadores de contaminação fecal, porque pode levar a uma superestimativa dos riscos à saúde (BRASIL, 2011).

De acordo com Almeida (2007) quando o objetivo é avaliar o grau de potabilidade da água para consumo humano, os indicadores microbiológicos são essenciais. O melhor indicador é aquele que relaciona riscos à saúde com contaminação hídrica, tendo em vista a água ser veículo de vários agentes causadores de moléstia. Segundo a Portaria do MS nº. 2.914/11, é característica de água potável, a ausência de coliformes totais em 100 mL de água, para 95% das amostras coletadas mensalmente.

#### 2.2.1.2 *Escherichia coli* (*E. coli*)

O microrganismo mais utilizado como indicador é uma espécie do grupo coliformes termotolerantes, a *E. coli*, já que esta é basicamente de origem fecal,

raramente capaz de se desenvolver em ambientes naturais não poluídos e é liberada em grandes quantidades nas fezes de animais (LIBÂNIO, 2010).

A *E. coli* é uma bactéria capaz de fermentar a lactose e manitol, com produção de ácido e gás a  $44,5 \pm 0,2$  °C em 24 horas, e apresenta atividade das enzimas  $\beta$  galactosidase e  $\beta$  glucoronidase, sendo considerada o mais específico indicador de contaminação fecal recente e de eventual presença de organismos patogênicos (MACÊDO, 2008). Os coliformes fecais, mais especificamente *E.coli*, fazem parte da microbiota intestinal do homem e outros animais de sangue quente. Estes microrganismos quando detectados em uma amostra de água fornecem evidência direta de contaminação fecal recente, e por sua vez podem indicar a presença de patógenos entéricos (CUNHA *et al.*, 2012).

A escolha de *E. coli* como bioindicador de contaminação se deve a algumas características particulares deste grupo: é facilmente detectável por técnicas simples e economicamente viável, em qualquer tipo de água; possui maior tempo de vida na água que as bactérias patogênicas intestinais, por ser menos exigente em termos nutricionais; é incapaz de se multiplicar no ambiente aquático e é mais resistente à ação dos agentes desinfetantes do que os demais germes patogênicos (ARAÚJO *et al.*, 2009).

Segundo a Portaria do MS nº. 2.914/11, a presença de uma unidade formadora de colônia em 100 mL de água, torna-a imprópria ao consumo. A *E. coli* causa diarreias e pode estar acompanhada de vômitos, febre e dores abdominais. Sua presença indica que a água está em condições de higiene insatisfatórias (FORSYTHE, 2005).

## 2.2.2 Parâmetros físico-químicos

### 2.2.2.1 Cor

A cor é um parâmetro físico, com características organolépticas, que a água apresenta quando contém substâncias dissolvidas, ou em estado coloidal, na maioria dos casos de natureza orgânica. A cor pode originar-se de minerais ou vegetações naturais, como substâncias metálicas, húmus, turfa, tanino, algas e protozoários ou, ainda, de despejos industriais (BRASIL, 2004).



Sendo proveniente da presença de substâncias coradas dissolvidas na água, a cor pode ainda ser classificada em cor verdadeira e cor aparente, conforme definido: (i) cor verdadeira: devida somente às substâncias dissolvidas tendo sido separada a turbidez e; (ii) cor aparente: devida à cor e turbidez, determinada sem separação do material em suspensão (BERNARDO e PAZ, 2010).

A variedade de cor dos mananciais depende de suas composições orgânica e mineral. Para efeitos de potabilidade, a cor aparente, assim denominada devido à presença de partículas em suspensão, é a que se considera para atestar a qualidade da água (CAMPOS, 2007; SOUZA et al., 2010). Segundo a Portaria do MS nº. 2.914/11, o valor máximo permitido para a cor é 15 uH (unidades Hazen).

A reflexão da luz na água com suas partículas presentes determinam a coloração. Geralmente a cor marrom-amarelada está presente em águas superficiais pela presença de matéria orgânica resultante da decomposição dos vegetais, que são os chamados ácidos húmicos. Já a presença de ferro pode resultar numa coloração avermelhada. Entretanto, a cor pode indicar determinado tipo de poluição. A cor pode ser removida, dependendo de sua origem, pelas etapas de coagulação e filtração quando submetidas ao tratamento da água (LIBÂNIO, 2010).

A cor exerce influência na escolha do tipo do tratamento a que deve ser submetida a água e sua variação obriga a alterar a dosagem dos produtos químicos usados na etapa de clarificação.

#### *2.2.2.2 Turbidez*

A turbidez é uma característica física da água que apresenta substâncias em suspensão. A transparência da água é reduzida, e isso ocorre por ela conter sólidos suspensos, presença de algas, plâncton, matéria orgânica e muitas outras substâncias, como zinco, ferro, manganês e areia resultantes do processo natural de erosão ou de despejos domésticos e industriais (BRASIL, 2004).

A turbidez é a medida da interferência da passagem da luz através da água. Para o consumo humano, a turbidez ideal deve ser menor que uma unidade, isso porque, pela sua característica, ela pode vir a se tornar um escudo para coliformes, minimizando a ação do desinfetante (CAMPOS, 2007; SOUZA et al., 2010). De

acordo com a Portaria do MS nº. 2.914/11, o valor máximo permitido para a turbidez é 5 UNT.

Segundo BRASIL (2004) a determinação da turbidez pelo método nefelométrico é adotado nas atividades de controle de poluição da água e de verificação do parâmetro físico nas águas consideradas potáveis. Este método é baseado na comparação da intensidade de luz espalhada pela amostra em condições definidas com a intensidade da luz espalhada por uma suspensão considerada padrão. Quanto maior a intensidade da luz espalhada, maior será a turbidez da amostra analisada. O aparelho utilizado para a leitura é o turbidímetro, constituído de um nefelômetro, sendo a turbidez expressa em unidades nefelométricas de turbidez (UNT).

A turbidez corresponde à fração de matéria suspensa na água, e a turbidez da água bruta é altamente influenciada pelo regime de chuvas da região e pela característica da cobertura vegetal da bacia hidrográfica. Períodos chuvosos e bacias desprotegidas elevam a turbidez dos corpos d'água (VIANNA, 1992).

Assim como a cor, a turbidez se consolidou não só como um parâmetro estético, mas também como um parâmetro sanitário. A remoção de turbidez é fundamental para se adquirir uma boa eficiência de desinfecção, já que os microrganismos utilizam as partículas suspensas como barreira contra os agentes desinfetantes, processo este conhecido como efeito escudo (VIANNA, 1992; BERNARDO e PAZ, 2010; LIBÂNIO, 2010; PÁDUA e FERREIRA, 2010).

### *2.2.2.3 Potencial Hidrogeniônico (pH)*

Segundo Russell (1994), o pH corresponde à concentração hidrogeniônica em uma solução. A escala do pH apresenta valores entre 0 e 14. Essas medidas expressam o grande intervalo de acidez de uma maneira mais conveniente. Assim sendo, o pH mede a concentração de  $H^+$  (íons de hidrogênio) de uma solução ou alimento, representada também pela seguinte equação:  $-\log_{10} [H^+]$ . Analisando a equação, nota-se que quanto mais alta for a carga de  $H^+$ , menor é o pH, sendo o meio analisado considerado ácido.

O pH traduz a acidez ou alcalinidade da água, representada pela concentração de íons  $H^+$  dissolvidos na água. Segundo Bernardo e Paz (2010), o pH é fundamental para que os processos de coagulação, floculação, filtração e desinfecção ocorram eficientemente, sendo monitorado em todo o processo de tratamento. Além disso, o controle de pH na saída do tratamento tem a finalidade de conservar as redes de distribuição contra corrosões ou incrustações (LIBÂNIO, 2010).

A mensuração do pH é realizada utilizando-se um peagâmetro ou, ou através de métodos colorimétricos. O peagâmetro irá mensurar a diferença de potencial elétrico entre um eletrodo e a solução, fornecendo o resultado em um painel digital. Para a utilização dos métodos colorimétricos, é importante que a água esteja mais límpida possível a fim de não haver interferências durante a leitura dos resultados (RICHTER, 2009).

Águas naturais tendem a apresentar valores de pH próximos da neutralidade. Valores baixos de pH apresentam um risco às tubulações, provocando corrosões e diminuindo a durabilidade das mesmas, podendo ocasionar a qualidade inferior da água tratada. Já os valores alcalinos tendem a provocar incrustações e inativar a ação do cloro. Por esse motivo é importante haver um controle e, se necessária, uma correção destes valores (LIBÂNIO, 2010).

De acordo com os parâmetros da atual Portaria MS nº. 2.914/11, a faixa de pH permitida para as águas destinadas ao consumo é de 6,0 a 9,5. Estes limites ajudam a preservar a integridade da rede de abastecimento e as tubulações acessórias, contra incrustações e corrosões (CAMPOS, 2007).

#### *2.2.2.4 Cloro Residual Livre (CRL)*

O cloro gasoso é de cor amarelo esverdeado, muito solúvel, de odor pungente e sufocante. Dentre suas utilidades estão a desinfecção de águas para fins de consumo e recreação, bem como de resíduos industriais e esgotos.

A reação de cloro gasoso com a água gera o ácido hipocloroso ( $HCOI$ ) e este, posteriormente se dissocia em íon hipoclorito ( $OCl^-$ ). A soma da concentração desses dois compostos é denominada de cloro residual livre e a prevalência de uma

espécie ou outra depende do pH. É conhecido que o ácido hipocloroso possui um maior potencial oxidante e que, portanto, a predominância do mesmo no processo leva a uma maior eficiência de desinfecção, sendo recomendado que a desinfecção seja feita em pH inferior a 8,0 (LIBÂNIO, 2010).

Conforme Daniel (2001) o cloro puro quando adicionado à água se dissocia, de acordo com as seguintes reações:



Geralmente, as águas de abastecimento possuem os valores de pH entre 5,0 e 10, apresentando o ácido hipocloroso e o íon hipoclorito como formas presentes (MEYER, 1994).

Estudos indicam que o ácido hipocloroso inibe a ação da enzima triosefosfatodihidrogenase impedindo a oxidação da glicose que é essencial para o metabolismo bacteriano. Entretanto, os vírus são desprovidos de sistema enzimático, exigindo a presença de uma maior quantidade de cloro para sua destruição que acontece pela oxidação direta do material proteico (MACÊDO, 2007).

A concentração residual de desinfetante deve ser tolerável, inócua e não agressiva aos equipamentos. Nas concentrações usadas o desinfetante deve ser inodoro e insípido. A eficiência da desinfecção depende da concentração e do tempo de contato com o desinfetante, da temperatura, do valor do pH e da quantidade de matéria orgânica presente na água (BARUFFALDI; OLIVEIRA, 1998).

O cloro é um dos desinfetantes mais utilizados na desinfecção da água de abastecimento. Porém, não basta apenas realizar a desinfecção e sim manter constante a condição de higiene do sistema. Portanto, quando se realiza o uso de produtos químicos para tal ação, é imprescindível que exista sempre certa quantidade do agente desinfetante, chamado de residual, para garantir segurança à saúde do usuário (MINÇON FILHO, 2007). Deve-se ainda ter bastante cuidado com a presença de matéria orgânica no processo de desinfecção, pois o cloro reage com esta liberando os THM (Trihalometanos) que são compostos tóxicos.

A Portaria nº 2914/11, cita em seu Art. 34 a obrigatoriedade da manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L de concentração de cloro residual livre em toda a extensão

do sistema de distribuição (reservatórios e rede). No Art. 39, § 2º é recomendado que o teor máximo de cloro residual livre em qualquer ponto do sistema de abastecimento seja de 2 mg/L. O valor máximo permitido de cloro residual livre em água potável é 5 mg/L (BRASIL, 2011).

#### *2.2.2.5 Alumínio*

O alumínio (Al) é um metal branco, brilhante, leve e, em estado puro, bastante mole e maleável. Apresenta uma estrutura cristalina cúbica de face centrada, característica de todos os elementos metálicos. Possui altos índices de condutividade elétrica e não se altera em contato com o ar ou em presença de água, graças à formação de uma fina capa de óxido que o protege de ataques do meio ambiente (PASTILHA, 2005).

O alumínio é o elemento mais abundante da crosta terrestre, ocorrendo naturalmente no solo, na água e no ar. Sendo usado nos mais diversos tipos de indústrias, o alumínio e seus sais são muito utilizados no tratamento da água, como aditivo alimentar, na fabricação de latas, telhas, indústria farmacêutica, entre outros. Na água, o metal pode ocorrer de diferentes formas e sua concentração é dependente de fatores físicos, químicos e geológicos, como pH, temperatura, presença de fluoretos, sulfatos, matéria orgânica, dentre outros (CETESB, 2015).

Devido a sua alta reatividade, o alumínio não se encontra sob a forma de metal livre no ambiente, aparecendo sempre no estado de oxidação III. Conhece-se um único isótopo estável e 16 instáveis, dos quais o mais persistente tem uma semivida de  $7,1 \times 10^5$  anos (MENDES; OLIVEIRA, 2004).

No tratamento das águas destinadas ao consumo humano, o alumínio é utilizado, geralmente na forma de sulfato, para provocar a coagulação/floculação das substâncias presentes na água bruta, sob a forma de suspensões coloidais. Estas substâncias em suspensão têm, em geral, uma carga elétrica negativa. Em presença de íons alumínio positivamente carregados, formam-se complexos, por atração eletrostática. Originam-se assim partículas complexas, cuja dimensão e peso próprio vão conduzir à sua decantação. A adição de compostos à base de alumínio, como o sulfato de alumínio, o poli cloreto de alumínio, entre outros, que são utilizados como

agentes coagulantes no tratamento de águas para consumo, é também responsável pelo aumento da concentração de alumínio na água (MENDES; OLIVEIRA, 2004).

Alguns estudos epidemiológicos sugerem que a presença de alumínio na água pode desenvolver ou acelerar o Mal de Alzheimer em pessoas predispostas.

No Brasil, a Portaria nº. 2.914/11 estipula 0,2 mg/L como o valor máximo permitido para alumínio em água potável.

#### 2.2.2.6 Ferro

O ferro (Fe) é o segundo metal mais comum na crosta terrestre, perdendo apenas para o alumínio. Ambientes aquáticos subterrâneos e agressivos (pH baixo, ricos em gás carbônico e sem oxigênio dissolvido, sob a forma de bicarbonato ferroso dissolvido) são locais onde o ferro é frequente. É um elemento naturalmente encontrado em rochas, solos e nas águas naturais, possuindo duas formas essenciais: a forma solúvel  $Fe^{2+}$  e insolúvel  $Fe^{3+}$ . (LIBÂNIO, 2010). Segundo Campos (2007), em condições de anaerobiose, o ferro apresenta-se em sua forma solúvel, voltando a precipitar-se quando em contato com o oxigênio.

O ferro insolúvel é responsável por conferir cor à água, além de gerar efeitos negativos na rede de distribuição, pois pode ser oxidado pelas ferrobactérias, formando um precipitado, provocando incrustações e posteriores obstruções nas redes (BERNARDO e PAZ, 2010; LIBÂNIO, 2010).

O ferro é um elemento essencial à dieta humana e sua deficiência orgânica pode levar a uma série de distúrbios, inclusive cognitivos. Por outro lado, seu excesso também provoca alterações fisiológicas significativas. O acúmulo de ferro no fígado, no pâncreas e no coração pode levar a cirrose e tumores hepáticos, diabetes mellitus e insuficiência cardíaca, respectivamente (DELVIN *et al.* 1998); e o ferro em excesso contribui para a formação de grandes quantidades de radicais livres que atacam as células, aumentando o poder carcinogênico deles (MAHAN, 2000).

O ferro, é um elemento persistentemente presente em quase todas as águas subterrâneas em teores abaixo de 0,3 mg/L. Este elemento provém de minerais

escuras portadoras de Fe, como por exemplo magnetita, biotita e pirita. Em virtude de afinidades geoquímicas, o ferro é quase sempre acompanhado pelo manganês.

O ferro no estado ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) forma compostos solúveis, principalmente hidróxidos. Em ambientes oxidantes o  $\text{Fe}^{2+}$  passa a  $\text{Fe}^{3+}$  dando origem ao hidróxido férrico, que é insolúvel e precipita, tingindo fortemente a água.

Desta forma, águas com alto teor em ferro, ao saírem do poço são incolores, mas ao entrarem em contato com o oxigênio do ar ficam com uma cor amarelada, o que lhes confere uma aparência nada agradável. Apesar do organismo humano necessitar de até 19 mg de ferro por dia, os padrões de potabilidade exigem que uma água de abastecimento público não ultrapasse os 0,3 mg/L (MENDES; OLIVEIRA, 2004).

#### 2.2.2.7 Manganês

O manganês (Mn), assim como o ferro, é naturalmente encontrado em rochas, solos e nas águas naturais. De acordo com Libânio (2010), este elemento possui duas formas essenciais: a forma solúvel ( $\text{Mn}^{+2}$ ) e insolúvel ( $\text{Mn}^{+3}$  e  $\text{Mn}^{+4}$ ).

Usualmente, o manganês se manifesta quando há a presença de ferro. O manganês é elemento essencial aos animais e seres humanos, em baixas doses. É comumente encontrado em águas subterrâneas devido ao intemperismo e lixiviação de rochas e minerais, dos aquíferos, constituídas desse metal. A sua presença em água potável com concentrações acima de 0,15mg/L provoca manchas em encanamentos e máquinas de lavar, além de apresentar um sabor nada palatável. Oxidação de íons manganês em água resulta em precipitação de óxido de manganês e problemas com incrustações. Mesmo em concentrações menores de 0,02 mg/L, por exemplo, o manganês pode formar um tipo de película nos encanamentos de distribuição de água e provocar o desprendimento de uma substância escura (GROSCHEN *et al.*, 2009).

A presença de manganês pode provocar o aparecimento de bactérias oportunistas, que crescem na presença deste elemento, chamadas bactérias do manganês. Elas conferem um sabor desagradável, além de provocarem mau cheiro e turbidez à água de abastecimento. O consumo de manganês em altas doses pode

causar sérios danos ao fígado e ao sistema nervoso central (BOUCHARD *et al.*, 2011). No Brasil, a Portaria nº. 2.914/11 estipula 0,1 mg/L como o valor máximo permitido para o manganês em água potável.

#### 2.2.2.8 Cromo

O Cromo (Cr) é um metal insípido e inodoro. Poucas águas possuem cromo de forma natural acima do valor máximo permitido. Altas concentrações estão vinculadas a ações antrópicas. No entanto, ele é encontrado habitualmente em rochas, plantas, solos, cinzas vulcânicas e animais. Este elemento é raramente encontrado em águas naturais não poluídas (SEILER; SIGEL, 1998).

As formas mais comuns de cromo na natureza são a trivalente e a hexavalente. A primeira é essencial ao homem e está presente em vegetais, frutas, grãos e leveduras. A forma hexavalente é tóxica e ocorre na natureza por meio da erosão de depósitos naturais de cromo ou produzida por processos industriais. Quando inalado o cromo é cancerígeno, mas, em se tratando de água potável, a carcinogenicidade é uma condição incerta (WHO, 2008).

O cromo trivalente apresenta menos toxicidade do que na forma hexavalente. A presença do cromo hexavalente advém de despejos de indústrias que utilizam processos de cromagem de metais, indústria de corantes, explosivos, galvanoplastias, cerâmicas, dentre outros. Este elemento pode ser prejudicial à saúde humana em concentrações maiores que 11 mg/L (SEILER; SIGEL, 1998).

A ingestão do cromo, presente em água potável, pode produzir danos ao fígado, rim, sistema nervoso e circulatório, além de causar dermatite (USEPA, 2012). O valor máximo permitido de cromo pela OMS e pela legislação brasileira é de 0,05 mg/L.

#### 2.2.2.9 Cloretos

O Cloreto é um parâmetro representativo de atividades antropogênicas, um importante indicador de contaminação por esgotos sanitários.



Além da presença em esgotos domésticos, diversos são os efluentes industriais que apresentam concentrações de cloreto elevadas como os da indústria do petróleo, algumas indústrias farmacêuticas, curtumes etc. Para as águas de abastecimento público, a concentração de cloreto constitui-se em padrão de aceitação para consumo humano. Altas concentrações do íon cloreto na água podem ocasionar restrições ao seu uso pelo sabor que confere a mesma e pelo efeito laxativo (BRASIL, 2004).

De acordo com o padrão organoléptico de potabilidade, o VMP para o cloreto é 250 mg/L.

#### *2.2.2.10 Nitrato e Nitrito*

O nitrogênio é considerado um dos elementos mais importantes no metabolismo dos ecossistemas aquáticos e sua concentração pode limitar a produção primária, aumentar a proliferação de microrganismos e apresentar potencial tóxico aos organismos aquáticos. Nos processos de degradação do nitrogênio são formados compostos como: amônia, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, entre outros. O nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) está presente na maioria das águas superficiais e é oriundo de fontes humanas, animais e dos fertilizantes, por isso pode refletir na condição de saneamento da água (MACÊDO, 2007).

O ciclo do nitrogênio conta com a intensa participação de bactérias, tanto no processo de nitrificação (oxidação bacteriana do amônio a nitrito e deste a nitrato) quanto no de desnitrificação (redução bacteriana do nitrato ao gás nitrogênio). O nitrato, em condições elevadas, está associado a dois efeitos adversos à saúde: a indução à metahemoglobinemia (síndrome do bebê azul), especialmente em crianças, e a formação potencial de nitrosaminas e nitrosamidas carcinogênicas (MATO, 1996).

O nitrato, um dos mais encontrados em águas naturais, apresenta-se em baixos teores nas águas superficiais, podendo alcançar altas concentrações em águas profundas, como nas fontes minerais, por ser altamente lixiviante nos solos, contaminando corpos d'água e aquíferos subterrâneos (ALABURDA; NISHIHARA, 1998).

O nitrato em águas subterrâneas origina-se principalmente de quatro fontes: aplicação de fertilizantes com nitrogênio, bem como inorgânicos e de esterco animal, em plantações; cultivo do solo; esgoto humano depositado em sistemas sépticos e deposição atmosférica (BAIRD; CANN, 2011).

Os valores máximos permissíveis (VMP) para o nitrato é de 10 mg/L e para o nitrito é de 1 mg/L, conforme a legislação.

#### *2.2.2.11 Dureza Total*

A dureza representa a concentração de íons metálicos bivalentes presentes na água, como os de cálcio, magnésio, ferro, manganês e estrôncio. A dureza total é composta pela concentração de íons de cálcio e magnésio, que estão normalmente presentes em maior grau (RICHTER, 2009).

Segundo o mesmo autor, de acordo com os teores de sais de cálcio e magnésio, expressos em mg/L de CaCO<sub>3</sub>, a água pode ser classificada da seguinte forma: água mole (quantidade menor ou igual a 50 mg/L de CaCO<sub>3</sub>), com dureza moderada (entre 50 e 150 mg/L de CaCO<sub>3</sub>), dura (entre 150 e 300 mg/L de CaCO<sub>3</sub>) e muito dura (acima de 300 mg/L de CaCO<sub>3</sub>).

O consumo de águas duras não provoca riscos à saúde pública, porém, com esta característica há grande probabilidade de haver a formação de incrustações nas tubulações e impedir a formação de espuma com a utilização de sabão (RICHTER, 2009).

Segundo a legislação vigente o valor máximo permitido para a dureza é de 500 mg/L.

#### *2.2.2.12 Sólidos Dissolvidos Totais*

Segundo BRASIL (2006) sólidos dissolvidos são constituídos por partículas de diâmetro inferior a 10<sup>-3</sup>µm e que permanecem em solução mesmo após a filtração. Já os sólidos em suspensão podem ser definidos como as partículas passíveis de retenção por processos de filtração.

A entrada de sólidos na água pode ocorrer de forma natural (processos erosivos, organismos e detritos orgânicos) ou antropogênica (lançamento de lixo e esgotos). Muito embora os parâmetros turbidez e sólidos totais estejam associados, eles não são absolutamente equivalentes.

Nas águas naturais os sólidos dissolvidos estão constituídos principalmente por carbonatos, bicarbonatos, cloretos, sulfatos, fosfatos, nitratos de cálcio, magnésio e potássio. Os minerais contidos nas águas naturais podem ser diluídos (água de chuva) ou aumentar pela adição de despejos industriais (WETZEL, 1993; ESTEVES, 1998).

Na Portaria 2.914/11 o padrão de potabilidade refere-se apenas aos sólidos dissolvidos totais, cujo valor máximo permitido é de 1000 mg/L, já que essa parcela reflete a influência de lançamento de esgotos, além de afetar a qualidade organoléptica da água.

#### *2.2.2.13 Alcalinidade Total*

A alcalinidade é a capacidade da água em neutralizar ácidos. Os íons de bicarbonato, carbonato e hidróxido são os principais que conferem a alcalinidade à água. A maior parte das substâncias utilizadas no tratamento da água altera sua alcalinidade. A determinação é feita através de titulação da amostra com ácido. Está relacionada com a coagulação, redução de dureza e controle de corrosão (RICHTER, 2009).

A alcalinidade da água está relacionada à quantidade e ao tipo de compostos nela presentes que, em conjunto, provocam a virada do pH de neutro para alcalino devido à presença de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos no ambiente. O sistema de equilíbrio  $\text{CO}_2 - \text{HCO}_3^- - \text{HCO}_3^-$  é o principal mecanismo tamponante em ecossistemas de água doce (WETZEL, 1993; ESTEVES, 1998).

A importância do conhecimento das concentrações dos íons bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos permite a definição de dosagens de agentes floculantes, fornece informações sobre as características corrosivas ou incrustantes da água analisada. Todos os íons causadores da alcalinidade têm característica básica,

sendo assim, reagem quimicamente com soluções ácidas, ocorrendo a reação de neutralização (MACÊDO, 2007).

A alcalinidade é importante no processo de coagulação e floculação, já que a adição de coagulantes, por possuírem uma característica ácida, diminuem o pH. A alcalinidade da água tem a função de reagir com o ácido adicionado e manter o pH em um nível ótimo para que a coagulação ocorra de forma eficiente, fornecendo melhores condições para a formação de flocos na floculação. Quando a água não possui alcalinidade suficiente para esses processos, é comum se adicionar álcalis no início do tratamento (LIBÂNIO, 2010).

A acidez representa o oposto da alcalinidade, representando a capacidade de neutralizar base. A acidez e alcalinidade na saída do tratamento não apresentam risco sanitário e sua importância se concentra apenas no controle de corrosão das tubulações da rede de distribuição (LIBÂNIO, 2010; PÁDUA e FERREIRA, 2010).

A Legislação não faz referência para o valor máximo permitido de alcalinidade total.

#### 2.2.2.14 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica da água indica sua capacidade de transmitir corrente elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions. Quanto maior a concentração iônica da solução, maior é a oportunidade para a ação eletrolítica e, portanto, maior a capacidade em conduzir corrente elétrica (CAMPOS, 2007).

A condutividade elétrica da água deve ser expressa em unidades de resistência (*mho* ou *S*) por unidade de comprimento (geralmente *cm* ou *m*), mas atualmente é recomendável a utilização da unidade “*S*” (Siemens). Enquanto as águas naturais têm condutividade na faixa de 10 a 100  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem variar de 100 a 10.000  $\mu\text{S cm}^{-1}$  (RICHTER, 2009).

A sua determinação só faz sentido em águas para consumo humano, permitindo avaliar o teor de sólidos dissolvidos na água analisada, uma vez que, a maior parte dos sólidos deverá estar ionizada. Assim, quanto mais elevado for o

valor da condutividade elétrica maior será a quantidade de íons presentes na água (MACÊDO, 2007). Todavia, a Legislação não cita o valor máximo permitido de condutividade elétrica.

### 2.3 Regulamentação Técnica

Em âmbito nacional, o Governo Federal regulamentou pelo Decreto 79.367 de 09/03/1977 atribuição ao Ministério da Saúde competência para elaborar normas sobre o padrão de potabilidade da água para todo o território nacional. Desde então, foram sancionadas cinco portarias que dispõem sobre potabilidade de água para consumo humano: Portaria BSB, nº 56/1977, Portaria GM nº 36/1990, Portaria MS nº 1469/2000, Portaria MS nº 518/2004, e por último a Portaria MS nº 2914/2011.

A evolução dessas portarias ao longo do tempo ocorreu sob ponto de vista de vários aspectos, como o aumento dos impactos ambientais das atividades antrópicas nos mananciais e o desenvolvimento de técnicas analíticas que permitiram a identificação de um número cada vez maior de constituintes das águas e seus possíveis impactos sobre a saúde humana, entre outros. Entretanto, o tratamento de água atendendo critérios estabelecidos em normas, não garante uma água segura para consumo humano uma vez que periodicamente são identificados novos contaminantes químicos e microbiológicos que levam à necessidade de revisão de legislações e diretrizes (WHO, 2008).

A Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde é o dispositivo legal em vigor no Brasil que regulamenta o padrão de potabilidade de água para o consumo humano. Esta Portaria “estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências”.

A Portaria 2.914/11 contém 14 anexos, nos quais estão relacionadas as características físicas, organolépticas e químicas; seus valores máximos permissíveis (VMP) e as características de qualidade microbiológicas e radioativas. Além disso, é estabelecido também os tempos de contato mínimos a serem observados para a desinfecção por cloração, em função da temperatura e do pH da

água; e os números mínimos de amostras e frequência para o controle de qualidade da água dos sistemas de abastecimento, para várias finalidades.

## 2.4 Sistemas de Abastecimento de Água

O sistema de abastecimento de água - SAA compreende obras, materiais e equipamentos capazes de captar, tratar, condicionar convenientemente, transportar, acumular e distribuir a água que se encontra nos principais mananciais, aos consumidores. O poder público possui responsabilidade na distribuição desta água e, conseqüentemente, este sistema deve produzir água potável, destinada ao consumo humano, e entregá-la aos usuários em quantidade e qualidade adequadas, de forma continuada e a um custo acessível (BRASIL, 2004).

O SAA é composto por Manancial – fonte onde se retira a água (poços, rios, represas, etc.); Adução – transporte de água bruta e/ou água tratada (transportar água a pontos mais distantes ou mais elevados ou para aumentar a vazão de linhas adutoras; Tratamento – melhoria das características qualitativas da água dos pontos de vista físico, químico, bacteriológico para fins de consumo; Reservação – armazenamento da água para atender a diversos propósitos, como variação de consumo e a manutenção da pressão mínima na rede de distribuição; Rede de distribuição – condução da água para os edifícios, residências, indústrias, etc., por meio de tubulação instaladas nas vias públicas (CAMPOS, 2007).

### 2.4.1 Tecnologias de tratamento de água

O tratamento de água é um conjunto de processos físicos e químicos necessários para transformar a água bruta em água potável (tratada).

O processo de tratamento ocorre em uma Estação de Tratamento de Água (ETA), a qual é composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos destinados à produção e à distribuição canalizada de água tratada, cujos parâmetros microbiológicos e físico-químicos atendam ao padrão de potabilidade de água destinada ao consumo humano, conforme legislação específica (Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde).

De acordo com Bernardo e Paz (2010) as principais tecnologias de tratamento da água para destinação ao consumo humano são: Filtração em múltiplas etapas (FIME), filtração direta ascendente (FDA), filtração direta descendente (FDD), dupla filtração (DF), floto-filtração (FF) e ciclo completo (CC).

As características da água bruta irão influenciar diretamente no tipo de tecnologia de tratamento que será utilizada (LIBÂNIO, 2010). No município de Rio Branco a técnica utilizada para o tratamento de água para abastecimento público é o processo de tratamento convencional ou de ciclo completo. Esta tecnologia se constitui basicamente nos processos de clarificação e desinfecção.

As ETAs convencionais ou de ciclo completo são constituídas das seguintes etapas: coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, fluoretação, correção de pH, e outros processos necessários.

#### *2.4.1.1 Coagulação*

Neste processo ocorre a desestabilização (minimização e/ou eliminação) das forças repulsivas que mantêm as impurezas separadas. Esta etapa consiste na formação de coágulos, através da adição de um coagulante, que reage, promovendo um estado de equilíbrio eletrostaticamente instável das partículas no seio da massa líquida (CAMPOS, 2007).

A reação entre a água e o coagulante ocorre instantaneamente, por isso, a mistura destes componentes deve ocorrer em uma área com agitação, para que todo o coagulante se dissolva na água. Pois segundo Campos (2007), essa mistura rápida objetiva fornecer à água uma agitação que dispersa o coagulante, bem como provocar o choque entre o coagulante e as partículas coloidais na água. O mecanismo desta mistura rápida pode ser hidráulico ou mecanizado.

Em uma estação de tratamento de água pode-se utilizar inúmeros tipos de coagulantes. Os mais usados no processo de coagulação são os sais de metais à base de alumínio ou ferro. Segundo Pádua e Ferreira (2010) os principais produtos químicos que são utilizados como coagulantes são: sulfato de alumínio, cloreto férrico, sulfato ferroso clorado, sulfato férrico e o Poli cloreto de alumínio – PAC, dentre outros. Libânio (2010) cita que muitas das vezes são adicionados auxiliares de coagulação, que são os alcalinizantes, tal como a cal.

Diversos fatores interferem no processo de coagulação, destacando-se o pH, alcalinidade, a natureza das partículas coloidais, o tamanho das partículas, e o tipo de dosagem dos coagulantes aplicados (SANTOS, 2007).

#### *2.4.1.2 Floculação*

A floculação é a operação materializada pela mistura lenta do coagulante. O objetivo da floculação consiste em permitir que as partículas previamente desestabilizadas (coágulos) se agreguem de modo a formar outras partículas maiores denominadas flocos, que possam sedimentar mais rapidamente. Para que esta etapa ocorra é necessário fornecer energia adequada para permitir o crescimento dos flocos e evitar sua ruptura por fluxos elevados (CARDOSO *et al.*, 2008).

A floculação é a etapa subsequente à coagulação. Para que as partículas desestabilizadas possam se agregar, formando os flocos, é necessário fornecer condições – gradiente de velocidade e tempo de mistura – para que as partículas se choquem uma contra as outras. Nesta etapa, a energia fornecida à água é menor quando comparada à energia da mistura rápida e por isso mesmo, a etapa da floculação ocorre em unidades chamadas de mistura lenta, que também pode ser hidráulica ou mecanizada (VIANNA, 1992; BERNARDO e PAZ, 2010; LIBÂNIO, 2010).

Assim sendo, nesta etapa tem-se a remoção de cor e turbidez, carga orgânica, organismos patogênicos passíveis de coagulação, eliminação de algumas substâncias que conferem sabor e odor, entre outros.

#### *2.4.1.3 Decantação*

Na etapa de decantação os flocos sedimentam por gravidade, depositando-se no fundo dos tanques decantadores formando uma massa sólida denominada lodo. A decantação das partículas suspensas propicia a clarificação da água pela separação da fase sólida (LIBÂNIO, 2010).

Segundo Richter (2009), este processo associado à gravidade, faz com que as partículas com massa específica maior que o líquido da solução se depositem no



fundo do reservatório. Pádua (2006) ressalta que este processo reduz o custo operacional com processos de pré-tratamento, e produz resíduos sem compostos químicos resultantes do tratamento. Mas em contrapartida, a velocidade de sedimentação é menor, o que faz necessário um espaço físico maior para a decantação.

A sedimentação das partículas ocorre em locais denominados decantadores. De acordo com Paz (2007), existem diversos decantadores, sendo os principais: a) convencionais: tanque retangular com uma grande dimensão de comprimento, onde o fluxo é horizontal, a água entra em uma extremidade e durante o escoamento as partículas depositam-se no fundo, e então deixa a área pelo extremo oposto. b) alta taxa: tanque com obstáculos (dutos ou placas) paralelos, instalados com certa inclinação em relação ao escoamento.

O objetivo é aumentar a área de contato entre a superfície e as partículas, o que facilita a sedimentação e melhora a eficiência da remoção dos flocos, o que pode resultar em um menor dimensionamento dos tanques de sedimentação. Os tanques de decantação das ETAs devem ser dimensionados conforme a demanda e a qualidade de água da mesma.

#### 2.4.1.4 Filtração

Esta etapa consiste na remoção das partículas suspensas e coloidais e de microrganismos presentes na água. É considerado como um processo final de remoção de impurezas na ETA, portanto, pode ser considerado um dos responsáveis pelo cumprimento dos padrões de potabilidade da água.

A etapa da filtração é a última barreira contra as impurezas da água, sendo responsável por reter as partículas que não foram removidas na decantação, representando, portanto, um sistema capaz de corrigir falhas de processos anteriores.

Os filtros podem ser classificados como filtros lentos ou filtros rápidos, estando o último presente no sistema convencional de tratamento. Os filtros rápidos são compostos por: i) canal de alimentação da água aos filtros; ii) calhas de distribuição da água decantada; iii) meio filtrante; iv) camada suporte; v) sistema de drenagem; e vi) calhas de coleta da água de lavagem (BERNARDO e PAZ, 2010).

Na filtração as impurezas são retidas num meio filtrante sendo necessária à lavagem dos filtros após certo período de tempo, geralmente, realizada com a introdução de água com alta velocidade no sentido ascensional. A água utilizada na lavagem, normalmente, retorna ao início do processo de tratamento.

No Brasil, os meios filtrantes mais comumente utilizados são constituídos apenas por areia, ou por areia e antracito. Porém, também é usado o meio constituído por carvão ativado granular, que adsorve pesticidas e outros compostos orgânicos que alteram o odor e o sabor (LIBÂNIO, 2010).

#### 2.4.1.5 Desinfecção

A desinfecção da água visa destruir a carga bacteriana presente para prevenir a transmissão de agentes causadores de infecções aos seres humanos e à contaminação dos alimentos. Os organismos apresentam-se na seguinte ordem crescente de resistência à desinfecção: bactérias, vírus, protozoários, helmintos. As bactérias e vírus são removidos através da desinfecção, e os protozoários e helmintos podem ser removidos pela filtração (BRASIL, 2006).

A inativação de microrganismos patogênicos presentes na água é realizada mediante a destruição da estrutura celular, pela interferência no metabolismo como inativação de enzimas, pela interferência na biossíntese e no crescimento celular, através da adição de produtos químicos denominados agentes desinfetantes (MACÊDO *et al.*, 2001).

Libânio (2010) menciona que, dentre os vários produtos químicos agentes desinfetantes disponíveis atualmente no mercado, os mais conhecidos e utilizados são os produtos à base de cloro, tais como o cloro gasoso ( $\text{Cl}_{2(g)}$ ), o hipoclorito de sódio ( $\text{NaClO}_{(l)}$ ) solução aquosa e o hipoclorito de cálcio ( $\text{Ca}(\text{ClO})_{2(g)}$ ) sólido.

Outros agentes desinfetantes disponíveis, porém menos conhecidos e utilizados são dióxido de cloro (gás dissolvido em água –  $\text{ClO}_{2(g)}$ ), o ozônio gás ( $\text{O}_{3(g)}$ ) e a radiação ultravioleta (UV). Dentre estes compostos, o cloro é o mais amplamente utilizado, devido ao seu baixo custo e, principalmente, a possibilidade de conferir à água uma concentração residual para que a água seja distribuída por toda rede com segurança (LIBÂNIO, 2010).

A desinfecção ocorre em unidades chamadas de tanques de contato. Em estações de pequeno a médio porte, o primeiro reservatório destinado à distribuição pode ser utilizado como tanque de contato, ou, para aquelas distantes do centro de distribuição, a desinfecção pode acontecer na adutora de água tratada (LIBÂNIO, 2010).

#### 2.4.1.6 Fluoretação

Sabe-se que o flúor, em pequenas quantidades, é benéfico à saúde humana, principalmente em crianças, promovendo o endurecimento da matriz mineral dos dentes e esqueleto e tem se mostrado como o agente químico mais eficiente na prevenção da cárie dentária, daí sua adição nos sistemas de abastecimentos públicos de água ser uma prática muito difundida e recomendada (BRASIL, 2006).

A fluoretação é a etapa seguinte à desinfecção e representa a penúltima etapa do tratamento de água. Para as águas que não possuem concentração de fluoreto dentro do estabelecido pela Portaria 2.914/2011, a mesma recomenda a adição de compostos de flúor. De acordo com Libânio (2010), qualquer composto passível de se dissociar e liberar o íon fluoreto na água pode ser utilizado no processo de fluoretação, desde que o composto tenha uma solubilidade e grau de pureza adequados e que não confira à água toxicidade ou outra característica.

Os principais compostos utilizados para a fluoretação são: fluossilicato de sódio, fluoreto de sódio; e ácido fluossilícico.

#### 2.4.1.7 Correção de pH

A correção de pH se configura como a última etapa do tratamento de água e é responsável pela adição de substâncias básicas para ajustar o pH da água aos padrões recomendados pela Portaria 2.914/2011, caso seja necessário. Os produtos que podem ser utilizados nesse processo são: cal virgem e hidratada, carbonato de sódio e hidróxido de sódio (LIBÂNIO, 2010).

Os processos de desinfecção, fluoretação e correção de pH correspondem aos ajustes finais do tratamento de água. No caso da presença de ferro na água de distribuição, é possível a utilização de complexantes anteriormente a desinfecção (LIBÂNIO, 2010).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição e Caracterização da Área de Estudo

A presente pesquisa foi desenvolvida nas Estações de Tratamento de Água (ETA I e II) e rede de distribuição do município de Rio Branco - Acre.

##### 3.1.1 Estações de Tratamento de Água de Rio Branco – Acre

As ETA I e ETA II são responsáveis pelo abastecimento de aproximadamente 248.404 habitantes do município de Rio Branco. A água é proveniente dos sistemas de captação superficial (Figura 1), localizados na zona urbana de Rio Branco, cujo manancial é o Rio Acre.



**Figura 1** – Torres de Captação de água da ETA I e ETA II      Fonte: autor

A ETA I, localizada na Rua Francisco José de Oliveira, 3218, bairro Sobral, foi construída em 1976 e começou a funcionar na 1ª etapa com capacidade de tratar 210 litros de água por segundo, e a partir de 1986, sua produção foi dobrada na 2ª etapa para 420 L/s.

A ETA II localizada na Estrada da Sobral, Bairro Sobral, foi inaugurada em 2006, sendo responsável pela ampliação do sistema de produção de água de Rio Branco. Possui uma capacidade de produção real de 1.000 L/s, que somando à

produção da ETA I, são distribuídos 1.420 L/s de água tratada para a população da Capital.

### *3.1.2 Sistema de distribuição - reservatórios e rede*

Atualmente estão distribuídos nos bairros de Rio Branco 166 pontos estratégicos no sistema de abastecimento de água de Rio Branco – Acre, nos quais são realizados, rotineiramente, análises físico-químicas e microbiológicas de controle de qualidade pelo Departamento de Pavimentação, Água e Saneamento do Acre - DEPASA.

## 3.2 Plano de amostragem

### *3.2.1 Reservatórios e sistema de distribuição*

Foram coletadas amostras de água no sistema público de distribuição de água de Rio Branco – Acre (rede e reservatórios) para a realização de análises microbiológicas (presença/ausência de coliformes totais e *E. coli*) e análises físico-químicas dos parâmetros Cloro Residual Livre, Cor e Turbidez.

As coletas foram realizadas mensalmente, juntamente com a equipe responsável pelo controle de qualidade do DEPASA, em 137 pontos da rede de distribuição localizados em endereços comerciais, públicos (escolas, creches e postos de saúde etc.) e residenciais, durante os meses de julho, agosto e setembro de 2015 (Figura 2).

Não houve coleta nos demais 29 pontos restantes, pelo fato de que a distribuição de água nestes locais ser feita durante o período noturno, e a equipe realiza as coletas apenas durante o dia.

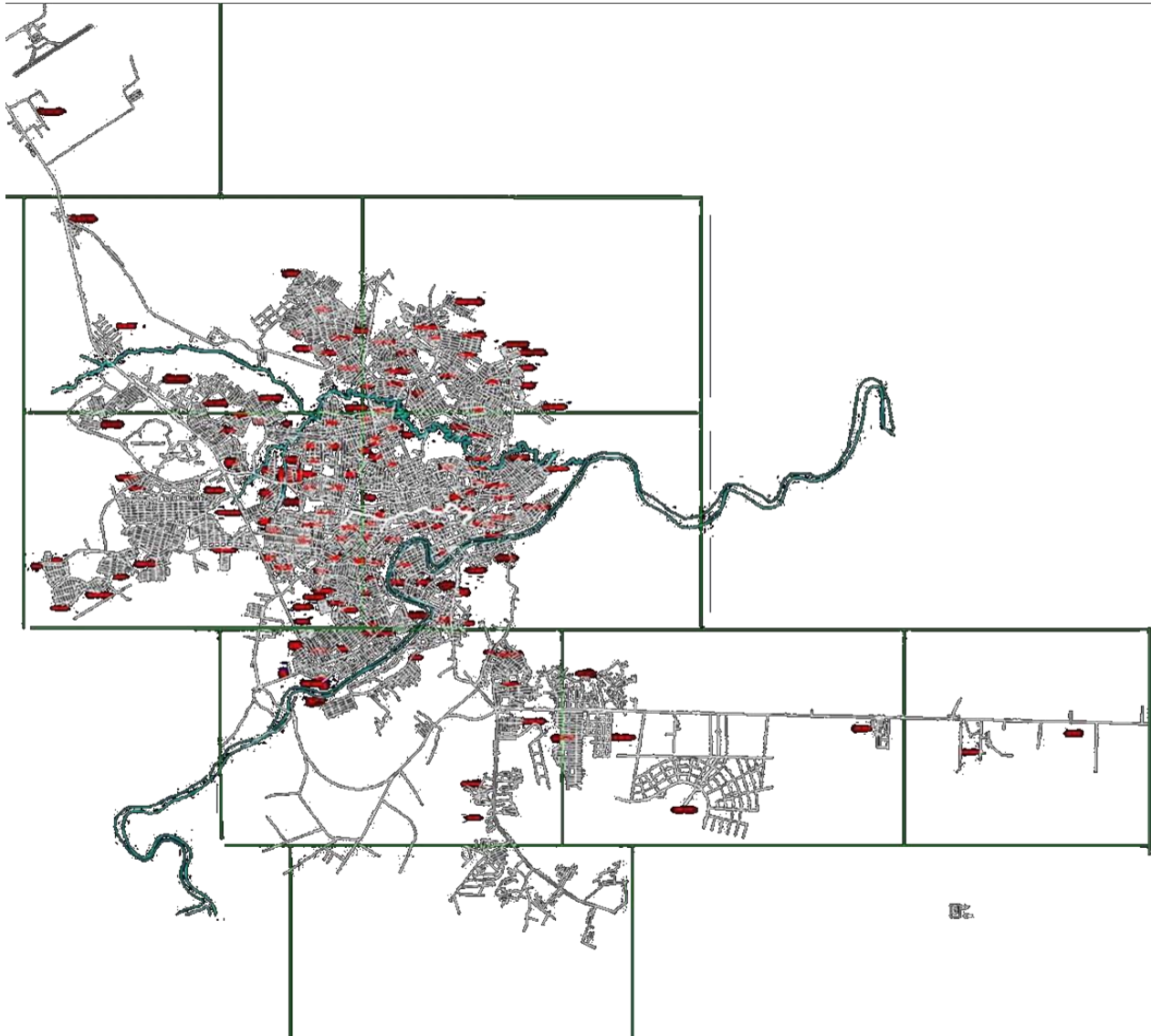


Figura 2 - Mapa dos pontos de coleta do sistema de abastecimento de água de Rio Branco-AC (em vermelho)

Para este estudo, agrupou-se os 137 pontos de coletas aos seus respectivos reservatórios de distribuição de água, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 - Grupos de reservatórios de água e respectivos pontos de amostragem da rede de distribuição do sistema de abastecimento de água potável de Rio Branco(AC).

<b>Nome</b>	<b>Sigla</b>	<b>Pontos</b>
<b>Grupo 1</b>	G1	Reservatório da ETA e pontos 1 a 15.
<b>Grupo 2</b>	G2	Reservatório do Palheiral e pontos 16 a 38.
<b>Grupo 3</b>	G3	Reservatório do Calafate e pontos 39 a 56
<b>Grupo 4</b>	G4	Reservatório do Portal da Amazônia e pontos 57 a 82
<b>Grupo 5</b>	G5	Reservatório do Tucumã e pontos 83 a 94
<b>Grupo 6</b>	G6	Reservatório do Placas e pontos 95 a 122
<b>Grupo 7</b>	G7	Reservatório do Bem-te-vi e pontos 123 a 134
<b>Grupo 8</b>	G8	Reservatório do São Francisco e pontos 139 a 144
<b>Grupo 9</b>	G9	Reservatório do Segundo Distrito e pontos 145 a 151
<b>Grupo 10</b>	G10	Reservatório do Santo Afonso e pontos 152 a 166

Fonte: Autor

### 3.2.2 Estações de tratamento de água – ETAs

Foram realizadas coletas semanais de amostras de água nas Estações de Tratamento de Água (ETA I e ETA II) do município de Rio Branco – Acre durante os meses de julho, agosto e setembro de 2015. As coletas foram realizadas juntamente com a equipe responsável pelo controle de qualidade do DEPASA.

Os parâmetros microbiológicos estudados foram: análise qualitativa mensal de coliformes totais e *E. coli* (presença/ausência). E os parâmetros físico-químicos avaliados foram: cloro residual livre, cor, turbidez, pH, alumínio, cloretos, cromo, manganês, nitrato, nitrito, ferro, condutividade elétrica, dureza total, alcalinidade total e sólidos totais dissolvidos.

Embora tenha sido feito análises de vários parâmetros físico-químicos, dar-se-á dar mais ênfase aos parâmetros cloro residual livre, cor e turbidez tendo em vista que a legislação exige que estes sejam monitorados pelo controle de qualidade, no mínimo, diariamente nas estações de tratamento, e mensalmente na rede de distribuição pelo controle de qualidade.

### 3.3 Procedimento para coleta e análise dos parâmetros de qualidade da água

As coletas de água foram realizadas nas ETAs e nos pontos da rede de distribuição juntamente com a equipe responsável pelo controle de qualidade do DEPASA, que inseriu em sua rotina de campo, as coletas das amostras deste trabalho.

Foram utilizados os seguintes materiais para coleta, registro, identificação e transporte das amostras nos diferentes pontos de amostragem: jaleco, algodão, Pisseta com álcool a 70%, ficha de coleta utilizada para o preenchimento dos dados dos pontos e das amostras (anexo III); etiquetas para identificação das amostras; luvas (a fim de evitar a contaminação das amostras); coletor de 500ml; coletor estéril de 100 mL com tiosulfato de sódio a 1,8% (para neutralizar a ação do cloro residual); caixa térmica com gelo reciclável (para a conservação das amostras durante o transporte para a análise laboratorial); kit de análises de cloro (para avaliar o teor de cloro residual livre no momento de coleta das amostras).

#### 3.3.1 Análise de Coliformes Totais e *E. coli*. (Teste de presença/ausência)

As análises de colimetria foram realizadas no Laboratório da Unidade de Tecnologia de Alimentos – UTAL da Universidade Federal do Acre. O teste de presença/ausência não objetiva quantificar os coliformes nas amostras, mas sim verificar a presença num determinado volume, para os quais a legislação brasileira estabelece como padrão a ausência de coliformes totais e fecais em 100 mL de amostra de água destinada ao consumo humano.

As metodologias realizadas para cada análise estão padronizadas no *Standard methods for the examination of water and wastewater* (APHA, 2005).

Para o Teste de presença/ausência utilizou-se o substrato enzimático cromogênico e fluorogênico ONPG/MUG, a ampola contendo a quantidade pré-distribuída do meio de cultura, disponível comercialmente já esterilizado, e adicionou-se aos 100 mL de amostra de água. Incubou-se a  $35 \pm 0,5^\circ\text{C}/24 \pm 2\text{h}$  e observou-se o desenvolvimento de uma cor amarela, confirmativa da presença de coliformes totais. Observou-se também, sob a luz ultravioleta a ocorrência de fluorescência azulada, confirmativa da presença de *E. coli*.



Na análise de ocorrência de coliforme total, um substrato cromogênico como orto-nitrofenil- $\beta$ -D-galactopiranosídeo (ONPG) foi usado para detectar a enzima  $\beta$ -galactosidase, a qual é produzida pelos coliformes totais. Esta enzima hidrolisa o substrato e produz uma mudança na cor do meio, indicando um teste positivo para coliformes totais em 24 horas, sem a necessidade de testes adicionais.

Para a detecção de *E. coli* foi utilizado um substrato fluorogênico contendo 4-metil-umbeliferil- $\beta$ -D-glicuronídeo (MUG) que identifica a enzima  $\beta$ -glicuronidase produzida por este microrganismo. Esta enzima hidrolisa o substrato e libera um produto fluorogênico quando observado sob a luz ultravioleta (UV) a 366 nm de comprimento de onda. A presença de fluorescência indica um teste positivo para *E. coli*.

### 3.3.2 Análises Físico-Químicas

As análises de cloro residual livre foram determinadas *in loco*, no momento da coleta, em virtude do decaimento do teor de cloro gasoso, através de um Espectrofotômetro digital levado para o campo; as análises de cor e turbidez foram realizadas no Laboratório de Controle de Qualidade da Água da Estação de Tratamento de Água – ETA II, e a determinação dos demais parâmetros foi realizada no laboratório da Unidade de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Acre UTAL/UFAC.

As metodologias adotadas em cada análise foram as recomendadas pelo *Standard methods for the examination of water and wastewater* (APHA, 2005), conforme resumidamente no Quadro 2.

Quadro 2 - Determinação dos parâmetros físico-químicos

PARÂMETRO	MÉTODO	EQUIPAMENTO
Cloro Residual Livre – CRL	Espectrofotométrico	Espectrofotômetro Digital DR890
Cor Aparente	Espectrofotométrico	Espectrofotômetro Digital DR2800
Turbidez	Nefelométrico	Turbidímetro Digital 2100N
Potencial Hidrogeniônico – Ph	Potenciométrico	pHmetro Digital Banc II
Alumínio	Espectrofotométrico	Espectrofotômetro Digital B572A
Cloretos	Espectrofotométrico	Espectrofotômetro Digital B572A
Cromo	Espectrofotométrico	Espectrofotômetro Digital B572A
Manganês	Espectrofotométrico	Espectrofotômetro Digital B572A
Nitrato e Nitrito	Espectrofotométrico	Espectrofotômetro Digital B572A
Ferro	Espectrofotométrico	Espectrofotômetro Digital B572A
Condutividade	Potenciométrico	Condutivímetro DDS-12DW
Dureza Total	Titulométrico	-
Alcalinidade Total	Titulométrico	-
Sólidos Dissolvidos Totais	Gravimetria de resíduos	

### 3.4 Análise Estatística dos dados

Com o intuito de analisar o controle da qualidade da água foram realizados cálculos de medidas de tendência central (média), medida de dispersão (desvio-padrão). Para isso, utilizou-se o programa SPSS.

Os dados sobre microbiologia foram registrados quanto a presença e ausência e anotados em uma tabela de frequência.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Controle da qualidade da água nas Estações de Tratamento (ETA I e II)

A análise descritiva dos parâmetros de controle de qualidade da água mostrou que o resultado da média registrou maior valor na ETA I para cor da água e turbidez, muito embora estas médias estejam dentro do limite permitido; ao passo que na ETA II todos os parâmetros tiveram resultados das médias dentro do valor máximo permitido pela legislação (Tabela 2).

Tabela 2 - Resultados das médias e variação dos parâmetros de controle de qualidade de água analisados a partir de amostras de água pós-desinfecção nas estações de tratamento (ETA) I e II, do sistema de abastecimento de água de Rio Branco (SAA Rio Branco), no estado do Acre.

Parâmetros	Ponto de coleta		VPM
	ETA I	ETA II	
Cloro (mg/L)	1,89 ± 0,69	2,95±1,08	5
Cor (uH)	13,45 ± 8,37	2,91±6,27	15
Turbidez (UNT)	2,37± 0,57	0,32±0,20	5
pH	6,87± 0,27	6,71±0,20	6 a 9,5
Alumínio (mg/L)	0,01± 0,01	0,01±0,01	0,2
Cloreto (mg/L)	6,83± 0,66	7,49±0,79	250
Cromo (mg/L)	0,02± 0,16	0,03±0,10	0,05
Manganês (mg/L)	0,06± 0,32	0,05±0,36	0,1
Nitrito (mg/L)	0,05± 0,02	0,05±0,02	1
Nitrato (mg/L)	0,55± 1,34	0,52±1,22	10
Ferro (mg/L)	0,01± 0,02	0,01±0,02	0,3
Condutividade elétrica	68,77±32,47	69,97±29,47	-
Dureza total (mg/L)	26,36± 15,90	26,55±15,34	500
Sólidos D. Totais (mg/L)	0,12±0,09	0,12±0,11	1000
Alcalinidade	27,29±7,62	28,33±4,32	-

VMP: Volume Máximo Permitido

Esses resultados apontam para uma maior limitação da ETA I, principalmente por ser uma estação de tratamento mais antiga, em adequar os parâmetros de qualidade da água, especialmente naqueles que possuem maior frequência de controle, como é o caso da cor da água e turbidez, uma vez que seus resultados das médias apontam resultados mais próximos dos limites de tolerância, pois a cor não deve ultrapassar o valor de 15 uH, e foi obtido 13,45 uH; já o resultado das médias de turbidez ultrapassou o valor ideal que deve ser menor que 1 UNT. Contudo, estes

resultados das médias não são preocupantes uma vez que estão dentro do padrão de potabilidade estabelecido pela legislação.

Foi possível verificar ainda poucos valores discrepantes em amostras das ETAs I e II, mostrando que a qualidade da água se manteve durante os períodos de coleta. As diferenças em valores de cor e turbidez na saída do tratamento das duas estações provavelmente podem resultar de problemas durante a etapa de coagulação no tratamento ou mesmo na passagem pelos filtros, ou ainda, devido à grande concentração de partículas em suspensão, em função do rigoroso verão amazônico.

Oliveira *et al.* (2011) analisou a qualidade da água do sistema de abastecimento de água em Guarabira-PB e obteve média e desvio padrão com valores bem maiores para os parâmetros turbidez e cor do que os identificados neste estudo, mesmo sendo em etapas diferentes do sistema de abastecimento de água. Isso torna-se preocupante, pois garantir o valor da cor e turbidez dentro do valor máximo permitido eleva muito a garantia de não exposição humana a doenças provocadas por protozoários e oocistos, uma vez que esses organismos conseguem manter formas de resistência diante da desinfecção, sendo removidos apenas durante a filtração.

A turbidez fora do padrão não traz apenas problemas para a saúde humana. Uma água com turbidez fora do padrão determinado pela legislação dificulta o processo de desinfecção e gera gastos elevados para tentar garantir o mínimo de cloração para o ponto de consumo. De acordo com Campos *et al.* (2003) a turbidez também pode reduzir a eficiência da cloração, pela proteção física que pode propiciar aos microrganismos evitando contato direto com os desinfetantes, além de transportar matérias orgânicas capazes de causar sabor e odor indesejáveis.

Em estudos realizados Tavares *et al.* (2009) também apontam para problemas com os parâmetros cor da água e turbidez o qual identificaram que somente uma amostra não apresentou cor com valor superior ao máximo permitido. Por outro lado, Azevedo (2006) encontrou valores bem superiores ao máximo permitido para os dois parâmetros, sendo os valores de cor de 184 uH a 511 uH, e turbidez de 33 UNT a 94 UNT.

Neste estudo, os demais parâmetros físico-químicos: cloro, turbidez, pH, alumínio, cloreto, cromo, manganês, nitrito, nitrato, ferro, condutividade elétrica, dureza total, sólidos dissolvidos totais, e alcalinidade apresentaram os resultados das médias dentro dos valores estabelecidos pela legislação e similares para as duas estações, portanto, em conformidade com a Portaria MS nº 2914/2011.

Com relação às análises microbiológicas realizadas nas Estações de Tratamento de Água de Rio Branco (ETA I e II) todas as amostras analisadas apresentaram resultados negativos, demonstrando que a água na saída do tratamento cumpre o que está estabelecido pela legislação vigente, mostrando aceitável padrão microbiológico de potabilidade da água produzida.

A cidade de Rio Branco opera com duas estações de tratamento diferentes, mas que se misturam ao longo do sistema de distribuição. Essa lógica de funcionamento eleva a importância de eficiência nas etapas de tratamento da água, em virtude de que a ineficiência de uma Estação pode comprometer os resultados da outra.

Os resultados demonstram uma maior eficiência na Estação de Tratamento II do que a Estação de Tratamento I, para os parâmetros turbidez e cor da água. Isto possivelmente possa estar relacionado à melhor aplicação de coagulante, o que por sua vez permite melhor efetividade na decantação e filtração, durante o tratamento da água. No entanto, os demais parâmetros físico-químicos revelaram que as duas estações de tratamento apresentam a mesma eficiência e distribuem água dentro do padrão de potabilidade para os referidos parâmetros analisados.

Parte desses problemas possivelmente podem ser evitados a partir de uma revitalização e adequação da estação de tratamento I, equiparando-se à estação de tratamento II. Sendo necessário rever periodicamente os cronogramas de limpeza e manutenção da rede de distribuição e de seus reservatórios, além de promover campanhas que reduzam as ligações clandestinas, as quais prejudicam diretamente na garantia da qualidade da água.

O pH nas duas estações de tratamento de água obteve baixa variação (0,20 e 0,27), no entanto, podemos considerar que em ambas as estações há uma tendência para água levemente ácida (6,87 e 6,71), estando estes resultados em conformidade com o padrão de potabilidade, o que mostra que a correção de acidez efetuada nas

duas estações é eficaz. O pH é uma variável importante tanto para o meio ambiente quanto para a integridade das instalações da rede de distribuição. Esteves (1988), concorda com essa afirmação, e relata que o pH pode ser considerado uma das variáveis ambientais mais importantes e complexas de se interpretar, uma vez que há vários fatores que podem influenciá-lo.

#### 4.2 Controle da qualidade da água nos reservatórios e rede de distribuição

A média de cloro residual livre (CRL) se manteve dentro do padrão aceitável pela legislação e variou entre 1,16 a 1,81 na rede de distribuição de água, sendo o menor valor identificado no G6 (rede de distribuição do reservatório Placas) e suavemente mais elevado na rede de distribuição do reservatório 2º distrito – G9 (tabela 6).

Com relação ao parâmetro cor da água houve grande variação dos dados mensurados. O menor valor de cor bem como a menor variação ocorreram no G9 (rede de distribuição do reservatório 2º distrito); ao passo que o maior valor de cor e maior variação ocorreram no G1 (rede de distribuição do reservatório ETA), tendo registrado uma média de 23,85 e portanto, um valor acima do máximo permitido pela legislação vigente.

Um dos fatores que pode ser considerado pela elevação da cor pode ser o rompimento da rede causado pelo fluxo de veículos ou desgaste natural das tubulações que podem ser antigas, pela falta de manutenção ou troca ao longo do tempo.

O menor valor de turbidez foi encontrado no G9 (rede de distribuição do reservatório 2º distrito). Entretanto, o maior valor da média de turbidez, bem como o maior registro de dispersão dos dados, foi registrado no G1 (rede de distribuição do reservatório ETA)

Tabela 3 - Média e desvio padrão dos parâmetros cloro residual livre (CRL), cor da água e turbidez para amostras de água dos reservatórios e rede de distribuição no sistema de abastecimento de água de Rio Branco – AC.

<b>GRUPOS</b>	<b>CRL</b>	<b>COR</b>	<b>TURBIDEZ</b>
<b>G1</b>	1,60±0,91	23,85±34,39	2,50±4,18
<b>G2</b>	1,39±0,51	14,97±30,93	1,35±2,13
<b>G3</b>	1,58±0,47	6,46±15,85	0,77±0,88
<b>G4</b>	1,48±0,39	4,03±9,04	0,68±0,68
<b>G5</b>	1,53±0,62	12,10±26,13	1,03±1,40
<b>G6</b>	1,16±0,42	12,78±12,19	1,06±0,52
<b>G7</b>	1,24±0,21	8,79±11,99	0,91±0,83
<b>G8</b>	1,24±0,40	11,22±22,04	1,40±2,38
<b>G9</b>	1,81±0,73	2,48±7,13	0,60±0,57
<b>G10</b>	1,61±0,54	5,07±8,78	0,65±0,72

G1: pontos 1 a 15; G2: pontos 16 a 38; G3: pontos 39 a 56; G4: pontos 57 a 82; G5: pontos 83 a 94; G6: pontos 95 a 122; G7: pontos 123 a 134; G8: pontos 139 a 144; G9: pontos 145 a 151; G10: pontos 152 a 166.

Verificou-se muitos valores acima da massa de dados, o que pode estar associado a uma vulnerabilidade desses parâmetros na rede de distribuição, ocasionado possivelmente pela rede antiga, despressurização na tubulação em consequência da intermitência no abastecimento e ainda às ligações clandestinas, as quais ainda são recorrentes na cidade.

Analisando apenas os reservatórios, o maior valor da média de cloro residual livre (CRL) foi encontrado no reservatório da ETA SOBRAL, conforme o Quadro 3.

Quadro 3 - Média das análises de Cloro Residual Livre (CRL), Cor e Turbidez nos Reservatórios no período de julho a setembro de 2015

RESERVATÓRIOS	PARÂMETROS		
	Cloro residual livre – CRL	Cor	Turbidez
ETA	2,9	2,91	0,32
PALHEIRAL	1,9	15,67	1,00
CALAFATE	2,0	2,00	0,35
PORTAL DA AMAZÔNIA	1,6	0,00	0,50
TUCUMÃ	1,4	59,33	3,76
PLACAS	1,2	4,33	0,94
BEM-TE-VI	1,3	2,33	0,44
SÃO FRANCISCO	0,8	5,67	0,85
2º DISTRITO	1,3	0,00	0,36
SANTO AFONSO	1,2	1,7	0,40

A legislação determina a obrigatoriedade de se manter (após desinfecção) a concentração de CRL em qualquer ponto na rede de distribuição a concentração mínima de 0,2 mg/L e o teor máximo de 2,0 mg/L. Este valor maior de cloro residual encontrado (2,9 mg/L) possivelmente se deve pelo fato de o reservatório da ETA se localizar dentro da Estação, ou seja, na saída do tratamento, imediatamente após a água ser tratada, ou seja, clorada, para depois seguir para os outros reservatórios de apoio e rede.

Observou-se que ao se distanciar das estações de tratamento ocorreu uma perda do cloro residual livre ao longo do percurso do sistema de distribuição, possivelmente pelo fato de ser um desinfetante volátil, bem como reagir com matéria orgânica, no caso de perfurações em tubulações velhas, desgastes, etc., sendo o menor valor observado no reservatório São Francisco (0,8mg/L).

Com relação ao parâmetro cor aparente, sabe-se que o valor máximo permitido pela legislação é de 15 uH, sendo encontrado um valor bem acima do máximo permitido (59,33uH) no reservatório Tucumã, seguido pelo reservatório Palheiral que apresentou resultado ligeiramente acima do limite (15,67uH), ao passo que os demais mantiveram seus resultados em conformidade com os padrões de potabilidade da Portaria nº 2914/2011 (Quadro 3).



E ainda, conforme o Quadro 3, os resultados para a turbidez apresentaram-se de acordo com a legislação vigente que determina que o valor máximo permitido para este parâmetro seja de 5 UNT. Porém, o valor ideal para a turbidez da água é de 1 UNT, conforme já dito anteriormente, e apenas o Reservatório Tucumã apresentou o valor 3,76 UNT, Embora não seja o ideal, este resultado é permitido pela legislação.

Alguns valores encontrados acima do limite permitido para cor e turbidez no sistema de distribuição, provavelmente, possam estar relacionados com a eficiência do tratamento da água já na saída da estação, uma vez que estes parâmetros físico-químicos também apresentaram problemas nesta etapa do tratamento de água. Deve ser considerado ainda, alguns fatores que prejudicam diretamente na garantia da qualidade da água, como: as ligações clandestinas, e o rompimento da rede causado pelo fluxo de veículos ou desgaste natural etc.

Conforme Meyer (1994) a cor deixou de ser apenas um fator estético, sendo também um parâmetro de controle da formação de subprodutos. A desinfecção e pré-oxidação com produtos de cloro na presença de matéria orgânica levam a formação de subprodutos, tal como os trihalometanos - THM's, substância orgânica que produz efeitos adversos à saúde.

A análise microbiológica da água obteve 20 amostras com resultados positivos para coliformes totais, o que corresponde a 4,9% das amostras, e 2 amostras com resultado positivo para *Escherichia coli*, o que representa 0,5% do total de amostras coletadas neste estudo (Tabela 4).

Tabela 4 - Resultados da análise de Presença/ausência de Coliformes Totais e *Escherichia coli* em amostras de água provenientes do sistema de abastecimento de água de Rio Branco, Acre.

GRUPOS	Presença	
	Coliformes Totais	<i>Escherichia Coli</i>
G1	0	0
G2	1	0
G3	1	0
G4	5	0
G5	4	1
G6	1	0
G7	1	0
G8	5	1
G9	1	0
G10	1	0
<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>2</b>

Sabe-se que presença de coliformes na água indica contaminação (poluição), com risco potencial da presença de organismos patogênicos. No entanto, uma vez garantida a sua ausência na água, pode-se concluir que a amostra é potável, isenta de males microbiológicos, tendo em vista que os coliformes são mais resistentes na água que as bactérias patogênicas de origem intestinal.

De acordo com Siqueira *et al.* (2010) é importante que sejam tomadas providências imediatas de caráter corretivo e preventivo, como limpeza das caixas d'água e cisternas, tubulações etc., toda vez que for verificada a presença de coliformes totais, visto que o ambiente por vir a se tornar favorável à proliferação de outras bactérias com potencial risco à doenças.

Quanto às análises microbiológicas realizadas apenas nos reservatórios (ETA SOBRAL e demais reservatórios de apoio) obteve-se os resultados positivos para coliformes totais nos reservatórios do Calafate, Tucumã, Bem-te-vi e São Francisco, conforme Quadro 4.

Quadro 4 - Análises microbiológicas nos reservatórios, no período de julho a setembro de 2015.

RESERVATÓRIOS	JULHO		AGOSTO		SETEMBRO	
	Coliformes Totais	<i>E. coli</i>	Coliformes Totais	<i>E. coli</i>	Coliformes Totais	<i>E. coli</i>
ETA	—	—	—	—	—	—
PALHEIRAL	—	—	—	—	—	—
CALAFATE	—	—	<b>Presença</b>	—		
PORTAL DA AMAZÔNIA	—	—	—	—	—	—
TUCUMÃ	—	—	<b>Presença</b>	—	<b>Presença</b>	—
PLACAS	—	—	—	—	—	—
BEM-TE-VI	<b>Presença</b>	—	—	—	—	—
SÃO FRANCISCO	—	—	<b>Presença</b>	—	<b>Presença</b>	—
2º DISTRITO	—	—	—	—	—	—
SANTO AFONSO	—	—	—	—	—	—

A presença de coliformes totais ressalta a relevância desse grupo de bactérias como bioindicador, sugerindo uma precariedade de condições higiênico-sanitárias que podem estar relacionada à tubulação, reservatórios, intermitência e erros durante a manipulação de equipamentos. De acordo com Michelina *et al.* (2006), quando presentes, indicam falhas no sistema de tratamento de água ou

distribuição, uma vez que esses microrganismos podem ser encontrados em diversos ambientes naturais, mas não na água potável.

#### 4.3 Atendimento à legislação

Para a avaliação quanto ao atendimento do padrão de potabilidade da água foi adotada a Portaria MS 2.914/2011, seguida no Brasil para avaliação de água para o consumo humano.

De acordo com a comparação entre os resultados das análises físico-químicas e a legislação verificou-se que das 286 amostras realizadas nas ETAs, 279 foram dentro do padrão e 07 fora do padrão. Das amostras em conformidade com a portaria, 137 foram obtidas da ETA I, enquanto que 142 foram da ETA II (Tabela 5).

Tabela 5 - Número de amostras dentro e fora do padrão estabelecido pela Portaria MS 2.914/2011, provenientes de 11 coletas realizadas nas estações de tratamento I e II do sistema de abastecimento de água de Rio Branco – AC.

Parâmetros físico-químicos	ETA I		ETA II	
	Dentro	Fora	Dentro	Fora
Cloro (mg/L)	11	0	11	0
Cor (uH)	5	6	10	1
Turbidez (UNT)	11	0	11	0
Ph	11	0	11	0
Alumínio (mg/L)	11	0	11	0
Cloretos (mg/L)	11	0	11	0
Cromo (mg/L)	11	0	11	0
Manganês (mg/L)	11	0	11	0
Nitrito (mg/L)	11	0	11	0
Nitrato (mg/L)	11	0	11	0
Ferro (mg/L)	11	0	11	0
Condutividade elétrica	Parâmetro ausente na portaria			
Dureza total	11	0	11	0
Sólidos Dissolvidos Totais	11	0	11	0
Alcalinidade	Parâmetro ausente na portaria			
<b>Total</b>	<b>137</b>	<b>06</b>	<b>142</b>	<b>01</b>

Nas duas Estações de Tratamento, algumas amostras apresentaram resultados fora do padrão para o parâmetro cor aparente.

A referida legislação bem como os valores máximos permitidos (VMP) podem ser consultados no Anexo I.

Na rede de distribuição, o parâmetro com maior quantidade de amostras fora do padrão foi a cor da água, com 68 amostras; seguido da turbidez, com 11 amostras, ao passo que o cloro livre obteve menos amostras fora do padrão com apenas 2 amostras (Quadro 5).

**Quadro 5** - Número de amostras dentro do padrão e fora do padrão conforme a Portaria MS 2.914/2011, de amostras provenientes rede de distribuição do sistema de abastecimento de água de Rio Branco – AC.

<b>Grupos</b>	<b>Situação</b>	<b>Cloro (mg/L)</b>	<b>Cor (uH)</b>	<b>Turbidez (UNT)</b>
<b>G1</b>	Dentro	44	31	40
	Fora	1	14	5
<b>G2</b>	Dentro	69	50	68
	Fora	0	19	1
<b>G3</b>	Dentro	54	47	53
	Fora	0	7	1
<b>G4</b>	Dentro	78	75	77
	Fora	0	3	1
<b>G5</b>	Dentro	20	18	20
	Fora	1	3	1
<b>G6</b>	Dentro	27	19	27
	Fora	0	8	0
<b>G7</b>	Dentro	33	27	32
	Fora	0	6	1
<b>G8</b>	Dentro	18	15	17
	Fora	0	3	1
<b>G9</b>	Dentro	21	20	21
	Fora	0	1	0
<b>G10</b>	Dentro	45	41	45
	Fora	0	4	0
<b>Total</b>	<b>Dentro</b>	<b>409</b>	<b>343</b>	<b>400</b>
	<b>Fora</b>	<b>2</b>	<b>68</b>	<b>11</b>

Os problemas relacionados a turbidez ganharam maior força com a publicação da portaria MS 2.914/11, pois antes possuía apenas aspecto estético (visual), agora, a turbidez possui um caráter sanitário e, por isso, de significado bem mais relevante. Segundo Chicati *et al.* (2010), o inconveniente da turbidez é o aspecto visual, desde que outros fatores não venham interferir a qualidade da água. Para Scorsafava *et al.* (2010), os parâmetros cor e turbidez indicam a presença de sólidos dissolvidos em suspensão ou material em estado coloidal; todavia, muitas vezes eles podem estar relacionados com a elevada concentração de ferro. Por outro lado, Campos *et al.* (2003) relatam que a turbidez também pode reduzir a eficiência da cloração, pela proteção física que pode propiciar aos microrganismos evitando contato direto com os desinfetantes, além de transportar matérias orgânicas capazes de causar sabor e odor indesejáveis.

## 5 CONCLUSÕES

- As análises microbiológicas realizadas nas Estações de Tratamento de Água de Rio Branco (ETA I e II) apresentaram resultados em conformidade com a Portaria MS nº 2914/2011.
- As análises físico-químicas obtidas das Estações de Tratamento de Água de Rio Branco, para o parâmetro cor aparente, apresentaram seis amostras fora do padrão estabelecido pela legislação na ETA I e uma amostra na ETA II.
- No sistema de distribuição foram encontrados valores superiores ao máximo permitido pela legislação para os parâmetros cor, turbidez e cloro residual livre – CRL.
- As análises microbiológicas da água obtiveram amostras com resultados positivos para coliformes totais e para *E. coli* no sistema de distribuição.
- Nas análises físico-químicas realizadas nas duas ETAs, a maioria dos resultados mostrou-se em conformidade com a Portaria MS nº 2914/2011, obtendo-se apenas sete amostras fora do padrão.
- Na rede de distribuição, o parâmetro com maior quantidade de amostras fora do padrão estabelecido foi a cor da água, seguido da turbidez.
- Pelos dados coletados pode-se concluir que, embora tenham sido registrados em alguns pontos do sistema de distribuição, valores de parâmetros físico-químicos e microbiológicos acima do máximo permitido, a água fornecida pelo sistema de abastecimento de Rio Branco está dentro dos padrões aceitáveis pela legislação.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALABURDA, J.; NISHIHARA, L. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. **Revista de Saúde Pública**, v. 32, n. 2, p. 160–165, 1998.

ALMEIDA, R. A. S.de. **Índice de Qualidade de Águas Subterrâneas Destinadas ao Uso na Produção de Água Potável**. 221f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia. 2007.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. Washington: (APHA, 2005).

ARAÚJO, T.M. et al. **Identificação de *Escherichia coli* em água de bebedouros e nos próprios aparelhos de quatro escolas públicas de Boa Vista – Roraima – Brasil**. Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica, 4, Belém, Pará. 2009.

AZEVEDO, R.P. Uso de água subterrânea em sistema de abastecimento público de comunidades na várzea da Amazônia central. **Acta Amazônica**, v.36, n.3, p.313-320, 2006.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. A Água na Indústria de Alimentos. In:\_\_\_\_\_. **Fundamentos de Tecnologia de Alimentos**. São Paulo: Atheneu Editora, 1998. 336 p., cap. 9, vol. 3, p. 201 – 216.

BERNARDO, L. DI; PAZ, L. P. S. **Seleção de tecnologias de tratamento de água**. São Carlos: Editora LDiBe, 2010.

BETTEGA, J.M.P.R.; MACHADO, M.R.; PRESIBELLA, M.; BANISKI, G.; BARBOSA, C.A. Métodos analíticos no controle microbiológico da água para o consumo humano. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 950-954, 2006.

BOUCHARD, M.F.; SAUV S.; BARBEAU, B.; LEGRAND, M.; BRODEUR, M; BOUFFARD, T. **Intellectual impairment in school - age children exposed to manganese from drinking water**. *Environ Health Perspect*.2011;119:138–143.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. 3. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006. 408 p.

\_\_\_\_\_. **Manual prático de análise de água**. Brasília: Fundação Nacional de Saúde – FUNASA, 2004.

BRASIL. Portaria n.º 2914, de 12 de dezembro de 2011. **Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, 12 dez., 2011.

CAMPOS, A. P. S. **Avaliação do potencial de poluição no solo e nas águas subterrâneas decorrente da atividade cemiterial**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Saúde Pública – Universidade de São Paulo. 2007. 141 p.

CAMPOS, J.A.D.B.; FARACHE FILHO, A.; FARIA, J.B. Qualidade da água armazenada em reservatórios domiciliares: parâmetros físico-químicos e microbiológicos. **Alimentos e Nutrição**, v.14, n.1, p.63-67, 2003.

CARDOSO, K. C.; BERGAMASCO, R.; COSSICH, E.S.; MORAES, L. C. K. Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da *Moringa oleifera* Lam. **Acta Scientiarum**, v. 30, p. 193-198, 2008.

CARMO, G. M. B. *et al.* **Surto de rotavírus em Ecoporanga – ES**. Agosto de 2002. Boletim Eletrônico Epidemiológico – Secretaria de Vigilância em Saúde – Ministério da Saúde, v. 3, n. 2, 2003.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – Disponível em: < [www.cetesb.sp.gov.br/Água/rios/variáveis.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/Água/rios/variáveis.asp). > Acesso em 28 de dezembro de 2015.

CHICATI, M.L.; NANNI, M.R.; CEZAR, E. Indicadores físico-químicos e bacteriológicos da qualidade da água para consumo humano e animal em área orizícola irrigada. **Agropecuária Técnica**, v.31, n.2, p.126-133, 2010.

CUNHA, H. F. A. *et al.* Qualidade físico-química e microbiológica de água mineral e padrões da legislação. **Revista Ambiente & Água**, v.7, n.3, p. 155-165, 2012.

DANIEL, L. A. (Coord.). **Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável**. Rio de Janeiro: RiMa, 2001.

DELVIN T. M. *et al.* **Manual de Bioquímica com correlações clínicas**. Editora Edgard Blucher Ltda.1998.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnoquímica**. Rio de Janeiro: Interciência, 1988. 575p.

FORSYTHE, Stephen J. **Microbiologia da Segurança alimentar**. Porto Alegre: Artmed, 2005.

GROSCHEN, G.E.; ARNOLD, T.L.; MORROW, W.S.; WARNER, K.L. **Occurrence and distribution of iron, manganese, and selected trace elements in ground water in the glacial aquifer system of the Northern United States: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report**. 89 p. 2009.

LEME, F.P. **Teoria e Técnicas de Tratamento de Água**, 2ª ed., ABES, RJ, 1990.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3ª ed. Campinas, SP: Átomo, 2010.



MACÊDO, J. A. B. **Águas & águas**. 3 ed. São Paulo: Livraria Varela, 2007. 1027 p.

\_\_\_\_\_. **Métodos Laboratoriais de Análises Físico-Químicas e Microbiológicas**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora CRQ-MG, 2008.

MACÊDO, J. A. B.; ANDRADE, N. J.; ARAÚJO, J. M. A.; CHAVES, J. B. P.; SILVA, M. T. C.; JORDÃO, C. P. Cloraminas orgânicas uma solução para evitar a formação de trihalometanos no processo de desinfecção de águas para abastecimento público. **Revista de Higiene Alimentar**: v. 15, n. 90/91, p. 93 – 103, Nov./Dez., 2001.

MAHAN, B. M. **Química: um curso universitário**. 4. ed. São Paulo: Ed. Blücher, 2000.

MATO, A. P., 1996. **Determinação de Nitratos, Nitritos e Prováveis Fontes de Contaminação em Águas de Poços e sua Influência na Metemoglobinemia Infantil**. Dissertação de Mestrado, São Paulo: Universidade Mackenzie.

MENDES, B.; OLIVEIRA, J. F.; **Qualidade da água para consumo humano**; LIDEL - Edições Técnicas, Ltda., 2004.

MEYER, S.T. O uso de cloro na desinfecção de águas: a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à Saúde Pública. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro: jan-mar, v. 10, n. 1, pp. 99-110. 1994.

MICHELINA, A.F.; BRONHAROA, T.M.; DARÉB, F.; PONSANOC, E.H.G. Qualidade microbiológica de águas de sistemas de abastecimento público na região de Araçatuba, SP. **Higiene Alimentar**, v.20, n.147, p.90-95, 2006.

MINÇON FILHO, R. Desinfecção de Água. In: \_\_\_\_\_. **Ações básicas para proteção, limpeza e desinfecção de reservatórios de água potável**. São Paulo: CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2007. 142 p., 2 v. v. 1, p. 47 – 112.

OLIVEIRA, A. S.; SANTOS, D. C.; OLIVEIRA, E. N. A.; BRITO, J. G.; SILVA, J. W. L. Qualidade da água para consumo humano distribuída pelo sistema de abastecimento público em Guarabira-PB. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. v. 7, n. 2, 2011.

PÁDUA, V. L. **Introdução ao tratamento de água**. In: HELLER, L.; PÁDUA, V. L. Abastecimento de água para consumo humano. Belo Horizonte: Editora UFMG, Cap. 12, p. 519 - 570. 2006.

PÁDUA, Valter Lúcio. FERREIRA, Andrea Cristina da Silva. Qualidade da água para consumo humano. In: HELLER, Léo (Org.); PÁDUA, Valter Lúcio (Org.). **Abastecimento de água para consumo humano**. 2 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010. p. 151-217.

PASTILHA, M. S.; **O alumínio em águas subterrâneas do distrito da Guarda**; Universidade da Beira Interior, Julho de 2005.

PAZ, L. P. S. **Modelo conceitual de seleção de tecnologias de tratamento de água para abastecimento de comunidades de pequeno porte**. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, USP, São Carlos, 2007.

RICHTER, Carlos A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo: Blucher, 2009.

RUSSEL, J.B. **Química Geral**. 2a ed. Trad. M.A. Brotto et al. São Paulo: Makron Books, 1994. p. 745-757.

SANTOS, E.P.C.C. Estudo da coagulação aplicada à filtração direta descendente. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro, v. 12, n. 4, p. 361-370, 2007.

SCORSFAVA, M.A.; SOUZA, A.; STOFER, M.; NUNES, C.A.; MILANEZ, T.V. Avaliação físico-química da qualidade de água de poços e minas destinada ao consumo humano. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v.69, n.2, p.229-232, 2010.

SEILER, H. G.; SIGEL, H. **Handbook on toxicity of inorganic compounds**. New York: Marcel Dekker, 1998.

SILVA C.; MONTEIRO M.L.G.; RIBEIRO R.O.R.; GUIMARÃES C.F.M.; MANO S.B.; PARDI H.S.; MÁRSICO E.T. Presença de aditivos conservantes (nitrito e sulfito) em carnes bovinas moídas, comercializadas em mercados varejistas. **Revista Brasileira de Ciência Veterinária**. 16(1):33-36. 2009.

SIQUEIRA, L.P.; SHINOHARA, N.K.S.; LIMA, R.M.T.; PAIVA, J.E.; LIMA FILHO, J.L.; CARVALHO, I.T. Avaliação microbiológica da água de consumo empregada em unidades de alimentação. **Ciência & Saúde Coletiva**, v.15, n.1, p.63-66, 2010.

SOUZA, M.A. da S.C. et al. **Parâmetros para a análise de água: instrumentos e metodologia. Mini-curso**. Encontro Interinstitucional de Ciência e Tecnologia, 1, Instituto Federal, Campus Uberaba, Triângulo Mineiro. De 06 a 08 de out. 2010.

TAVARES, D.S.; ALONSO, A.C.B.; MELLO, A.R.P.; SOUSA, C.V.; GONZALEZ, E.; PASSOS, E.C.; PIMENTEL, F.C.; SILVA, M.L.P.; TAVARES, M.; BARSOTTI, R.C.F. Qualidade da água de bicas localizadas nos municípios de Santos e São Vicente, Estado de São Paulo, Brasil. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v.68, n.2, p.237-244, 2009.

USEPA - U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidance manual alternative disinfection and oxidants**. Washington, DC. 2012, 346 p. v. 1, p. 47 - 112.

VIANNA, M. R. **Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água**. Belo Horizonte: Instituto de Engenharia Aplicada, 1992. p. 344.

WETZEL, R. G., **Limnologia**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1993.

WHO. **Guidelines for drinking-water quality** [electronic resource]: incorporating 1st and 2nd addenda. 3rd ed. World Health Organization. vol.1. 2008. 668 p.