

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS**

Solange Pinto Freitas

**APLICAÇÃO DE AVALIAÇÃO DE RISCO AO
EFLUENTE DE ESTAÇÃO CONVENCIONAL
DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE GRANDE PORTE**

Belo Horizonte

2018

Solange Pinto Freitas

**APLICAÇÃO DE AVALIAÇÃO DE RISCO AO
EFLUENTE DE ESTAÇÃO CONVENCIONAL
DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE GRANDE PORTE**

Monografia apresentada ao Programa de Pós-graduação em Gerenciamento de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialização em Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Área de concentração: Recursos Hídricos.

Linha de pesquisa: Qualidade e tratamento de água para consumo humano.

Orientador: Marcelo Libânio

Belo Horizonte
Instituto de Ciências Biológicas

2018

RESUMO

As estações de tratamento de água são de suma importância na produção de água de qualidade e segura para o consumo humano. O controle sobre a qualidade da água para abastecimento de acordo com as diretrizes e normas da legislação vigente para adequação aos padrões de potabilidade são bem rigorosos. A Organização Mundial da Saúde - OMS introduziu conceitos e ressalta a importância da realização da análise e avaliação de risco durante todo o processo de tratamento de água, da captação ao consumo. Neste estudo são abordadas as vertentes de perigo e risco, referentes ao potencial descumprimento aos limites estabelecidos na normativa vigente e ao atendimento ao plano mínimo de amostragem. São utilizados como indicadores a turbidez, cloro residual livre, coliformes totais e *E. coli*, os quais são avaliados a partir do efluente da estação de tratamento de água de grande porte no estado de Minas Gerais, no período de 2016 a 2017. A metodologia proposta por este estudo baseou-se nas diretrizes apresentadas no Manual de Procedimentos e Vigilância em Saúde Ambiental Relacionada à Qualidade da Água para consumo humano e no Guia de Qualidade da Água Potável da OMS. Os índices de cumprimento ao plano mínimo de amostragem da estação em estudo apresentaram valores satisfatórios para os parâmetros. O efluente da estação de tratamento de água atendeu as diretrizes da Portaria 2914/2011.

Palavras Chaves: análise de risco, indicadores, plano mínimo de amostragem, qualidade da água.

ABSTRACT

Water treatment plants are of paramount importance in the production of quality and safe water for human consumption. The control over the water quality for supply according to the guidelines and norms of the current legislation to suit the standards of potability are very strict. The World Health Organization - WHO introduced concepts and emphasizes the importance of conducting Risk Analysis and Assessment throughout the water treatment process from capture to consumption. This study deals with the risk and risk aspects, regarding potential noncompliance with the limits established in current regulations and compliance with the minimum sampling plan. Turbidity, free residual chlorine, total coliforms and E. coli are used as indicators, which are evaluated from the effluent of the large water treatment plant in the state of Minas Gerais, from 2016 to 2017. The methodology proposed by this study was based on the guidelines presented in the Manual of Procedures and Surveillance in Environmental Health Related to Water Quality for Human Consumption and in WHO's Guide to Drinking Water Quality. The rates of compliance with the minimum sampling plan of the station under study presented satisfactory values for the analyzed parameters in the frequency of the samples, and the constant monitoring of the turbidity, total coliforms and free residual chlorine. The effluent from the water treatment plant complied with the guidelines by Ordinance 2914/2011.

Keywords: risk analysis, indicators, minimum sampling plan, water quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Índice de atendimento de abastecimento de água no Brasil e por regiões no ano de 2015 e 2016.....	12
Figura 2 - Imagem aérea da Estação de tratamento de água – Rio das Velhas	24
Figura 3 – Dados de turbidez da água tratada da estação de tratamento de água – Rio das Velhas.....	36
Figura 4 - Histograma de frequência dos valores de turbidez da água tratada dos anos de 2016 e 2017.....	37
Figura 5 - Histograma de frequência dos valores de cloro residual livre da estação de tratamento de água – Rio das Velhas nos anos de 2016 e 2017.....	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Dados da estação de tratamento de água – Rio das Velhas	24
Quadro 2 - Definições das categorias de frequência de ocorrência utilizadas para cálculo do risco.....	27
Quadro 3 - Definições das categorias de severidade utilizadas para cálculo dos riscos.....	27
Quadro 4 - Pesos de ponderação do risco de cada parâmetro	28
Quadro 5 - Caracterização da magnitude total do risco.....	28
Quadro 6 - Frequência mínima de amostragem para controle da qualidade da água da estação de tratamento de água – Rio das Velhas	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrões de potabilidade para tratamento do tipo convencional visando à saúde da população.	23
Tabela 2 - Critérios de classificação da severidade de cada parâmetro analisado.....	27
Tabela 3 - Matriz de classificação do risco por parâmetro	28
Tabela 4 - Análise preliminar dos dados de turbidez de água bruta da estação de tratamento de água – Rio das Velhas nos anos de 2016 e 2017.	29
Tabela 5 - Análise preliminar dos dados de turbidez de água tratada da estação de tratamento de água – Rio das Velhas nos anos de 2016 e 2017.....	31
Tabela 6 - Análise preliminar dos dados de Cloro residual livre da estação de tratamento de água - Rio das Velhas nos anos de 2016 e 2017.	32
Tabela 7 - Índice mensal de atendimento ao plano mínimo de amostragem para a turbidez de água tratada da estação de tratamento de água – Rio das Velhas nos anos de 2016 e 2017.	33
Tabela 8 - Índice mensal de atendimento ao plano mínimo de amostragem para cloro residual livre da estação de tratamento de água – Rio das Velhas nos anos de 2016 e 2017.	34
Tabela 9 - Índice mensal de atendimento ao plano mínimo de amostragem para coliformes totais e E. coli da estação de tratamento de água – Rio das Velhas nos anos de 2016 e 2017.	35
Tabela 10 - Índices mensais de atendimento aos padrões de qualidade de coliformes totais para estação de tratamento de água – Rio das Velhas nos anos de 2016 e 2017.	39
Tabela 11 - Caracterização do risco através dos critérios de ocorrência e severidade para a estação de tratamento de água amostrada.	40

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CRL – Cloro Residual Livre

CT – Coliformes Totais

ETA – Estação de Tratamento de Água

IC – Índice de Coleta

OMS – Organização Mundial da Saúde

ONU – Organização das Nações Unidas

PSA – Plano de Segurança da Água

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

USEPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

uT– unidade Turbidez

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	3
2	OBJETIVOS	4
2.1	Objetivo geral.....	4
2.2	Objetivos específicos.....	4
3	REVISÃO DA LITERATURA	5
3.1	Normas e padrões de potabilidade da água para o consumo humano	7
3.2	Análise de risco	9
3.3	Avaliação de risco	10
3.4	Gerenciamento de Risco	12
3.5	Comunicação do risco	12
3.6	Avaliação de risco no efluente das estações de tratamento.....	12
3.7	Plano de Segurança da Água - PSA.....	14
3.8	Indicadores da existência de riscos	15
4	MATERIAL E MÉTODOS	17
4.1	Universo amostral	17
4.2	Tratamento estatístico preliminar	19
4.3	Identificação e classificação dos perigos	19
4.4	Identificação de perigos	20
4.5	Caracterização do risco	20
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5.1	Levantamento e caracterização dos dados	22
5.2	Plano Mínimo de Amostragem.....	27
5.3	Qualidade da água para abastecimento público.....	30
5.3.1	Turbidez.....	30
5.3.2	Cloro Residual Livre	32
5.3.3	Parâmetros microbiológicos.....	33
5.4	Caracterização do risco	33
6	CONCLUSÃO	35
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	36

1 INTRODUÇÃO

As estações de tratamento de água são de suma importância na produção de água de qualidade e segura para o consumo humano. O controle sobre a qualidade da água de abastecimento, seguindo as diretrizes e normas vigentes para adequação aos padrões de potabilidade. Considera-se necessária a avaliação do sistema sob a perspectiva dos riscos à saúde, com base na ocupação da bacia contribuinte do manancial, do histórico das características das águas, das características físicas do sistema, das práticas operacionais e qualidade da água distribuída (NERY, 2017).

A avaliação dos sistemas de tratamento foi realizada nos termos da qualidade e das potenciais limitações de atendimento aos limites de alguns dos parâmetros preconizados pelas normativas, tendo como base os preceitos da metodologia de avaliação de risco que deve ser realizada com o intuito de conhecer a situação atual das estações e propor medidas de controle, a fim de evitar ou minimizar possíveis situações de risco, como agravos à saúde por contaminação de patógenos e vulnerabilidade do sistema (BEVILACQUA et al., 2008).

Na análise de risco, existem dois conceitos importantes a serem compreendidos: o perigo e o risco. O perigo é uma característica qualitativa inerente de um agente ou situação que possa causar efeitos adversos à saúde humana. Enquanto o risco é a probabilidade de um evento ocorrer; no abastecimento de água, como na produção de água com efeitos indesejáveis a saúde humana (NERY, 2017).

A aplicação dos conceitos da análise e avaliação de risco é relevante para melhorar a avaliação e o aproveitamento dos resultados de monitoramento das estações de tratamento, além de permitir a exploração das demais vertentes de risco supracitadas, com a utilização de indicadores, principalmente a turbidez, para uma resposta mais rápida e acertada da situação de risco nesses sistemas.

No Brasil de acordo com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS dos anos de 2015 e 2016 somente 83,3% da população brasileira é atendida por abastecimento de água, e a situação é mais complicada quando se trata da região Norte. Além da garantia de oferta de água para toda a população, devem-se assegurar as boas condições e segurança dessa água.

O tratamento da água de forma geral consiste na remoção de partículas suspensas, matéria orgânica, microrganismos e outras substâncias possivelmente prejudiciais à saúde humana e que possam estar presentes na água bruta. As técnicas de potabilização de água mais utilizadas no Brasil são tratamento convencional e a filtração

direta, sendo empregada em menor número a tecnologia como a filtração lenta e a filtração em membrana.

A escolha da tecnologia mais adequada para a potabilização das águas de um manancial deve levar em consideração o processo desde a captação até o consumidor final.

A inserção do plano mínimo de amostragem como uma ferramenta para a avaliação de riscos contempla um número mínimo de amostras em relação ao ponto de amostragem e/ou magnitude da população abastecida. A legislação brasileira vem se adequando aos princípios e diretrizes estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde - OMS e pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos - USEPA, tornando-se mais restritiva e criteriosa quanto aos parâmetros de qualidade da água, principalmente em relação ao padrão de turbidez.

Além dos padrões de potabilidade, as portarias estabelecem planos mínimos de amostragem dos parâmetros de qualidade da água para a água bruta, para imediatamente após o tratamento e rede de distribuição, e tornam obrigatório o cumprimento desse plano.

Diante da importância da realização da análise de risco durante o processo de tratamento de água, estabelecida pela OMS e embasada na normatização brasileira vigente, apenas existem diretrizes de como proceder a identificação e caracterização de riscos. Este estudo visa analisar os dados de turbidez de água tratada da estação de tratamento de água - Rio das Velhas, localizada no município de Nova Lima, localidade de Bela Fama no estado de Minas Gerais, e abordar os critérios a serem utilizados para avaliar a classificação de risco.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

A presente pesquisa visa aplicar método de Avaliação de Risco ao efluente da estação de tratamento de água – Rio das Velhas localizada no município de Nova Lima, localidade de Bela Fama no estado de Minas Gerais com base no padrão de potabilidade brasileiro referente ao cloro residual, coliformes totais e turbidez

2.2 Objetivos específicos

- Verificar os perigos existentes através da Avaliação de Risco, quanto ao descumprimento do plano mínimo de amostragem e aos padrões normativos da Portaria 2914/2011, com foco nos parâmetros de cloro residual, coliformes totais e turbidez;

- Analisar critérios de classificação da severidade para os parâmetros de cloro residual, coliformes totais e turbidez, a serem utilizados como ferramenta de Avaliação de Risco;
- Classificar a estação de tratamento de água por meio da caracterização e escala de risco utilizada.

3 REVISÃO DA LITERATURA

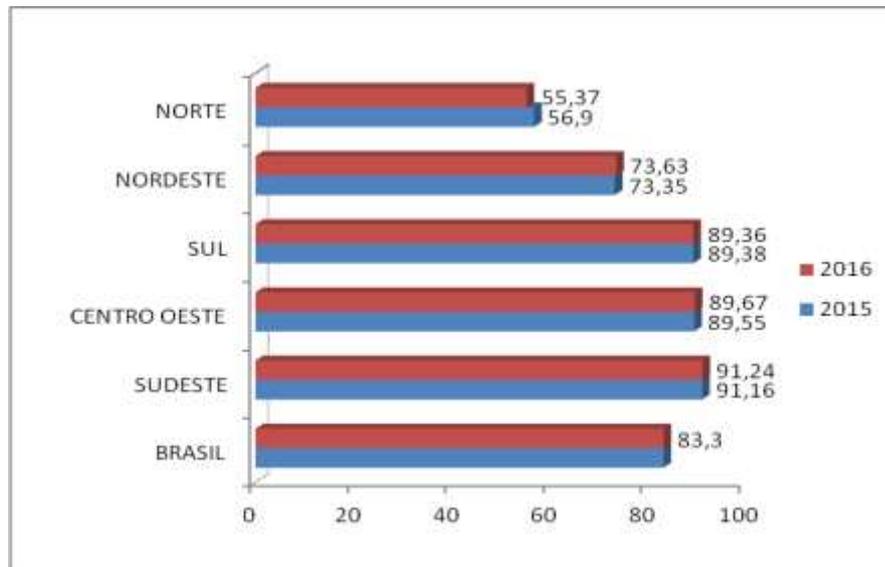
O abastecimento de água é de grande importância para a vida das pessoas e comunidades, com base no conceito de saneamento entendido como o controle de todos os fatores do meio físico que prejudiquem ou causem danos ao bem estar físico, mental ou social do ser humano. O saneamento ambiental compreende um conjunto de ações que visam a preservação do meio ambiente e a garantia das condições de salubridade para proteção da saúde da população (HELLER ; PÁDUA, 2016).

O tratamento da água envolve o emprego de diferentes métodos e processos unitários para adequar a água de diferentes mananciais sejam eles subterrâneos ou superficiais aos padrões de qualidade definidos pelos órgãos de saúde e agências reguladoras. As exigências de qualidade da água evoluíram e prosseguem, em processo contínuo, acompanhando os avanços do conhecimento técnico e científico. Os padrões de qualidade tornam-se gradativamente mais exigentes para atender a legislação vigente (PÁDUA, 2009).

As tecnologias convencionais de tratamento, que consistem em uma sequência de processos utilizados para a clarificação e desinfecção da água, aprimoradas por meio de técnicas incluem a flotação, a filtração direta, a filtração em múltiplas etapas e o uso de novos desinfetantes (geração de novos subprodutos de desinfecção). O desafio para remoção de substâncias químicas, de microcontaminantes, impôs o desenvolvimento de outras técnicas de tratamento como a adsorção em carvão ativado, a oxidação, a precipitação química e a volatilização, e processos de separação por membranas (microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa) (PÁDUA, 2009).

A garantia de oferta de água para a região urbana brasileira deve ser priorizada, por se tratar de atendimento à necessidade básica da população, além de ser estratégica ao desenvolvimento do país. De acordo com os dados disponíveis no SNIS para os anos de 2015 e 2016 que apresentam índice de atendimento de abastecimento de água de 91,24% para a região Sudeste com o maior percentual, enquanto a região Norte conta com um índice de 55,37%, como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Índice de atendimento de abastecimento de água no Brasil e por regiões no ano de 2015 e 2016.



Fonte: Dados do SNIS 2015 e 2016 (adaptado).

A disponibilidade de oferta de água para toda a população, deve assegurar boas condições e segurança. O tratamento de água visa remover da água partículas suspensas, matéria orgânica, microrganismos e substâncias prejudiciais à saúde humana, que possam estar presente na água bruta. Além da preocupação sanitária, exige-se que a água seja esteticamente agradável, sendo necessário reduzir sua cor, turbidez, odor e sabor para que atenda aos padrões de potabilidade da portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde (HELLER; PÁDUA, 2016).

O tratamento convencional abrange três etapas:

I. Clarificação, destinada a remover sólidos suspensos e parte dos sólidos dissolvidos presentes na água, processo constituído pela coagulação, floculação e sedimentação ou flotação;

II. Filtração, com o intuito de remover os sólidos dissolvidos e reter parte dos microrganismos;

III. Desinfecção, que visa inativar os microrganismos ainda presentes na água após as demais etapas de tratamento.

Segundo Heller e Pádua (2016) para garantir a qualidade da água produzida dentro dos padrões de potabilidade, deve-se dar atenção a otimização do sistema como um todo e não as unidades separadamente.

De acordo com Libânio (2010) a escolha da tecnologia mais adequada para a potabilização das águas de um manancial deve pautar-se nos seguintes fatores:

- Características da água bruta;
- Custos de implantação, manutenção e operação;
- Manuseio e confiabilidade dos equipamentos;
- Flexibilidade operacional;
- Localização geográfica e características da comunidade;
- Disposição final do lodo.

A tecnologia escolhida deve ser capaz de adequar a água bruta aos atuais padrões de potabilidade, e evitar que o efluente da estação cause danos à saúde humana.

3.1 Normas e padrões de potabilidade da água para o consumo humano

A normatização brasileira baseia-se nos guias e diretrizes de normas estrangeiras, na Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – USEPA e na OMS, a qual é a dirigente e autoridade de coordenação em saúde internacional dentro da Organização das Nações Unidas – ONU desde abril de 1948 (WHO, 2016).

A primeira publicação da OMS em 1958, intitulava-se *Padrões Internacionais para Água Potável*, sobre a qualidade da água para consumo humano. Seus guias de qualidade da água potável, publicados em 1984, com edições subsequentes, estabeleceram as diretrizes para a qualidade da água e a proteção da saúde pública. Os guias trazem orientações em seus textos sobre a gestão dos riscos que possam comprometer a segurança da água potável, assim como diretrizes para o estabelecimento de padrões e indicadores de qualidade (WHO, 2011).

Em 1970 foi criada a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos USEPA com a missão de proteger a saúde humana e o meio ambiente, definindo padrões de potabilidade em função dos riscos associados a saúde fornecendo esclarecimentos e informações ao público.

No país, a primeira legislação estabelecendo os padrões de potabilidade foi a Portaria nº 56 de 1977, que definia os limites máximos para as diversas características físicas, químicas e biológicas inerentes às águas de consumo humano. Em 1990 o Ministério da Saúde publicou a Portaria nº 36 aumentando o número de parâmetros e tornando alguns limites mais restritivos. As restrições resultaram no adiamento da implementação dessa Portaria para janeiro de 1992 (LIBÂNIO, 2010).

A revisão da Portaria nº 36 de 1990, originou a Portaria nº 1469, que incorporou os conceitos e orientações contidos na segunda edição do guia da OMS, publicado em 1993. Com a criação da Secretaria de Vigilância em Saúde- SVS em 2003, a Portaria nº 1469/2000 foi revogada e substituída pela Portaria nº 518/2004, que manteve o número e os valores máximos de cada padrão inalterados (LIBÂNIO, 2010).

A inserção do plano mínimo de amostragem como uma ferramenta para a Avaliação de Riscos, contemplando um número mínimo de amostras em relação ao ponto de amostragem e a magnitude da população abastecida foi um dos avanços da Portaria nº 518 de 2004.

Por sua vez, a publicação da Portaria nº 2914/2011, dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e os padrões de potabilidade, baseando-se nas edições existentes dos guias da OMS. A legislação brasileira vem se adequando aos princípios e diretrizes estabelecidos pela OMS e pela USEPA, tornando-se mais rigorosa quanto aos parâmetros de qualidade da água, principalmente em relação ao padrão de turbidez. Além dos padrões de potabilidade, as Portarias nº 518/2004 e nº 2914/2011 estabelecem planos mínimos de amostragem dos parâmetros de qualidade da água para a saída do tratamento, rede de distribuição e água bruta, tornando obrigatório o cumprimento desse plano.

Cabe salientar que o plano mínimo de amostragem é o mesmo para as Portarias 518/2004 e 2914/2011, e que ambas fazem a adequação desse plano para o sistema de distribuição compreendendo a reservação e as redes em função da população abastecida, aumentando o número mínimo de amostras à medida que aumenta a população (NERY, 2017).

A avaliação em relação ao cumprimento do plano mínimo de amostragem tem sua relevância e caracteriza-se como situação de perigo, quando expressa uma característica própria de uma substância ou situação, e o não cumprimento do plano mínimo de amostragem compromete o plano de amostragem estabelecido pela normatização, e conseqüentemente o monitoramento, caracteriza-se como um perigo e pode ocultar outras situações relacionadas a qualidade da água (CARMO, 2005).

A inobservância desses parâmetros e diretrizes pode resultar na distribuição de água contaminada; Um exemplo notório é o que ocorreu em Milwaukee (1993), com um surto de criptosporidiose, o qual se estima ter acometido cerca de 407 mil pessoas. Buscando evitar ou mitigar situações como essa, os conceitos e premissas da análise de risco vêm sendo aplicados no âmbito da potabilidade da água para consumo humano no mundo (LIBÂNIO, 2010).

3.2 Análise de risco

A análise de risco pode ser definida como a metodologia que avalia, determina e gerencia a probabilidade de ocorrência de eventos, fatos ou resultados indesejáveis, caracterizada como uma metodologia flexível, capaz de ser adaptada e aplicada a diversas áreas do conhecimento (VIEIRA, 2005).

A análise de risco de acordo com Nery (2017) compreende três procedimentos consecutivos e integrados:

I. Avaliação de Risco: para avaliar o risco deve-se conhecer e descrever os fatores, agentes ou situações que podem determinar a ocorrência de eventos indesejáveis;

II. Gerenciamento de Risco: estabelece as medidas e intervenções corretivas ou preventivas, que podem minimizar ou evitar os impactos dos eventos indesejáveis;

III. Comunicação do Risco: etapa de informação a população, ferramenta utilizada para facilitar a participação da população nas decisões a serem tomadas.

As exposições humanas a agentes perigosos no ar, água, solo, alimentos e aos perigos físicos no ambiente são as maiores causas de efeitos adversos à saúde, e que comprometem o desenvolvimento sustentável. Muitas doenças resultam da baixa qualidade ambiental e têm seu maior impacto nas pessoas que se encontram em risco. Portanto é preciso compreender como tratar os riscos ambientais à saúde humana para reduzi-los a um mínimo tolerável e, se possível, eliminá-los (MORENO,2009).

A identificação de perigo é o componente chave da avaliação qualitativa e quantitativa de risco e, ainda, da gestão de riscos. A identificação de perigos nos constituintes da água para consumo humano pode potencializar a causa de danos à população. Os principais agentes ou perigos são: microbiológicos, físicos, químicos ou radiológicos e devem ser considerados juntamente com os eventos que resultam na introdução da contaminação (MORENO,2009).

O risco ambiental no abastecimento de água refere-se a probabilidade de produzir água com potenciais efeitos indesejáveis a saúde humana, seja pela presença de contaminantes não regulamentados, pelo não cumprimento aos padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação ou pelo não atendimento aos padrões estéticos. Já o perigo é entendido como uma propriedade inerente de um agente (químico, biológico ou físico), uma característica qualitativa, que em condições de exposição de risco pode causar efeitos adversos a saúde da população (BEVILACQUA *et al.*, 2008).

O abastecimento de água para consumo humano é um processo considerado em uma perspectiva ampla e integrada, do manancial ao consumidor. A avaliação da conformidade da qualidade da água destinada ao consumo é centrada no produto final (água tratada) ou a atenção localizada em uma única etapa do processo. Do ponto de vista

preventivo, na medida em que o sistema de abastecimento é descrito, analisadas as vulnerabilidades e identificados os principais perigos; é possível a tomada de decisão em relação aos riscos mais relevantes, os quais podem ser eliminados, minimizados ou simplesmente assumidos como toleráveis (PÁDUA, 2009).

3.3 Avaliação de risco

A avaliação de risco é considerada o conjunto de métodos que identifica, avalia e caracteriza quantitativa e/ou qualitativamente, os potenciais efeitos adversos à saúde devido a exposição de indivíduos a fatores de risco. Considerada como ferramenta para orientar no processo de controle e prevenção de situações de exposição ou perigo à população (NERY, 2017).

A avaliação de risco consiste em um conjunto de procedimentos que permite a caracterização e a estimativa, quantitativa ou qualitativa, de potenciais efeitos adversos à saúde por causa da exposição de indivíduos e populações a perigos. De acordo com Brasil (2006) o grau de risco a saúde associado às diferentes formas de abastecimento de água pode ser avaliado e classificado a partir da identificação de fatores ou situações de risco no desenvolvimento das seguintes atividades:

- inspeções e avaliação das condições do manancial e do desempenho do sistema e/ou solução alternativa;
- análise das informações sobre a qualidade da água bruta, tratada, distribuída e/ou consumida;
- levantamento do perfil epidemiológico da população.

Avaliação de risco no efluente das estações de tratamento de água avalia quando os sistemas de abastecimento de água não são construídos e/ou operados adequadamente, podendo apresentar situações de perigo e risco, tais como a existência de fontes poluidoras, nos mananciais de captação, processos de tratamento inadequado ou insuficientes nas estações de tratamento. A avaliação de risco microbiológico e sua aplicação em relação à qualidade da água de abastecimento e de recreação define a relação entre a ocorrência da situação de perigo e a consequência desse perigo à saúde da população (NERY, 2017).

Conforme descrito por Nery (2017) os três tipos de Avaliação de Risco são:

- I. Avaliação qualitativa de risco: caracteriza o risco a partir da avaliação da ocorrência e o impacto que o perigo ou situação de perigo pode causar à saúde humana, sendo recomendada no caso de sistemas de distribuição de água com informações insuficientes sobre a vulnerabilidade ou perigos. As vantagens em se utilizar esse tipo de avaliação estão na abordagem qualitativa de fácil entendimento;
- II. Avaliação semiquantitativa de risco: baseia-se na estimativa do risco, associada à avaliação do sistema de abastecimento de água por partes para caracterização e classificação do risco. Considerando como situações de perigo os cenários com a existência de vazamento nas redes, as características das áreas de estudo e a vulnerabilidade a inundações;
- III. Avaliação quantitativa de risco: análise numérica do efeito do perigo ou situação de perigo a saúde humana. Baseia-se em modelagem matemática devido a sua complexidade. No abastecimento de água este tipo de avaliação de risco é muito utilizado para controle do risco microbiológico, por utilizar dados de séries históricas.

A avaliação de risco conforme descrito por Nery (2017) propõe quatro etapas que podem ser adaptadas de acordo com as características do estudo de risco:

- I. Identificação do perigo: etapa de elaboração de uma avaliação de risco e posterior análise de risco propõe identificar o agente envolvido e levantar suas propriedades para a definição de seus efeitos à saúde humana, quanto a origem do perigo e como este pode ser introduzido no sistema;

A identificação da existência ou não de perigo ou situações de perigo no caso de abastecimento de água, qualquer condição ambiental que possa alterar as características da água e torná-la imprópria para o consumo humano. Considera-se que as falhas na representatividade das amostras coletadas em desconformidades com a legislação brasileira podem caracterizar situações de perigo, problemas e/ou falhas operacionais.

- II. Estimativa da probabilidade e/ou frequência: após identificado o perigo, estima-se a quantidade de vezes que o evento ocorreu. A frequência na ocorrência pode variar de quase certo (uma vez por dia), provável (uma vez por semana), moderadamente provável (uma vez por mês), improvável (duas vezes por ano) a raro (uma vez a cada cinco anos), de acordo com as definições propostas pela OMS (WHO, 2011);

- III. Análise das consequências: Após estimativa da frequência de ocorrências, faz-se necessária uma análise quantitativa ou qualitativa do grau de severidade das consequências dos cenários identificados que podem variar entre catastróficos (impacto na saúde pública), alto (impacto regular), moderado (impacto estético), baixo (impacto de conformidade) e insignificante (não há impacto ou não detectável). Para caracterizar a severidade deve-se quantificar e confrontar o agente perigoso com a normatização do padrão de qualidade de água (NERY, 2017);
- IV. Caracterização do risco: A definição de uma situação de risco como o conjunto formado pelo perigo identificado, suas causas e os efeitos adversos à saúde humana. Considerando a etapa de integração dos resultados obtidos nas etapas anteriores, que gera informações de caráter quantitativo e/ou qualitativo, para subsidiar as estratégias de gerenciamento de risco (NERY, 2017).

3.4 Gerenciamento de Risco

No gerenciamento de risco são realizadas avaliações das alternativas e medidas corretivas ou preventivas existentes. Esta etapa é a que define as medidas e diretrizes a serem aplicadas, que resultem em níveis adequados de proteção ao ser humano e ao meio ambiente (NERY, 2017).

3.5 Comunicação do risco

Segundo Nery (2017) a comunicação de risco é a ferramenta para solucionar os conflitos entre os especialistas e a população como um todo, sua complexidade para apresentar didaticamente dados técnicos ou divulgar números para população leiga. Baseia-se no conjunto de técnicas específicas para que seja bem sucedida.

3.6 Avaliação de risco no efluente das estações de tratamento

A escolha da tecnologia a ser utilizada no tratamento da água bruta é muito importante visto que a qualidade da água para abastecimento pode ser comprometida a qualquer instante, desde a captação até o consumidor final.

As situações de perigo e risco nos sistemas de abastecimento de água podem acontecer quando não são construídos e/ou operados adequadamente. Exemplos de perigos que podem existir no sistema de abastecimento de água:

- No tipo de manancial de captação: existência de fontes poluidoras provenientes de atividades antrópicas (lançamento de efluentes), tipo de ocupação da bacia hidrográfica, clima, variações bruscas na qualidade da água bruta, entre outros (BRASIL, 2006a; LIBÂNIO, 2010);
- Na estação de tratamento: processos de tratamentos inadequados ou insuficientes, variações de vazões superando os limites de projeto, falha ou ineficiência no controle operacional, erros na dosagem de produtos químicos, falhas de projetos ou deficiências nas instalações e/ou equipamento e controle inadequado da qualidade de água em relação ao plano mínimo de amostragem (BRASIL, 2006a; VIEIRA, 2005);
- Na rede de distribuição: existência de conexões indevidas de dispositivos de descarga com redes de esgotos e de drenagem pluvial, rupturas devido à diferença de pressão levando a possíveis infiltrações, e acúmulo de sedimentos e de matéria orgânica na rede de distribuição (BRASIL, 2006a; VIEIRA, 2005).

A importância do tratamento e da qualidade das águas superficiais em relação ao risco à saúde humana pode-se observar de acordo com Libânio (2010) no período de estiagem a redução significativa da vazão do curso d' água, a baixa capacidade de diluição da carga afluente, e a redução em menor relevância do teor de oxigênio dissolvido, colaboram para elevar a concentração de diversos contaminantes nas águas naturais.

O monitoramento de cistos e oocistos de protozoários em cursos d'água receptores de efluentes domésticos tratados regularmente aponta o aumento da concentração desses microrganismos nos períodos de estiagem. Considerando como exemplo o surto de criptosporidiose ocorrido na década de 1980 em Talent (Oregon, EUA) coincide com o período de estiagem. Na ocasião verificou-se o lançamento de esgoto (em nível secundário com cloração) a 5 km a montante do curso d'água que abastecia a cidade (LIBÂNIO, 2010).

A ocorrência de períodos de estiagem, em regiões com maior índice de incidência solar favorece o aumento da salinidade e a condutividade elétrica contribuindo para a floração de algas e cianobactérias, intensificados com a ocorrência de lançamentos de esgotos ou aporte de nutrientes ao corpo d'água. Tais acontecimentos causam severos impactos na potabilização, além da redução das carreiras de filtração, e o conseqüente aumento da dosagem de coagulantes e dos produtos químicos necessários à manutenção da qualidade da água (LIBÂNIO, 2010).

A OMS considera o risco como o produto entre a frequência de ocorrência do parâmetro na água para abastecimento humano e sua severidade. A atribuição de valores de 1 a 5 as categorias de frequência de ocorrência (raro, improvável, moderadamente provável, provável e quase certo respectivamente) e de severidade (insignificante, baixo,

moderado, alto e catastrófico respectivamente). A magnitude do risco é caracterizada como Baixo (risco<6), Médio (risco entre 6 a 9), Alto (risco entre 10 e 15) ou Muito alto (risco>15) (WHO, 2011).

3.7 Plano de Segurança da Água - PSA

A OMS inseriu as diretrizes e conceitos da análise de risco aplicada ao abastecimento de água para consumo humano denominado Plano de Segurança da Água - PSA, como instrumento de gestão que fornece subsídios para a proteção do sistema e controle de seus processos, garantindo água com riscos insignificantes a saúde pública e aceitável aos consumidores (WHO, 2011).

O PSA é um instrumento que identifica e prioriza os perigos e riscos existentes em um sistema de abastecimento de água desde o manancial de captação ao consumidor. O caráter preventivo cujos objetivos são descritos a seguir (BRASIL, 2012):

- Prevenir ou minimizar a contaminação da água bruta;
- Eliminar os contaminantes existentes na água mediante processos de tratamentos adequados;
- Prevenir a contaminação/recontaminação no sistema de distribuição de água;
- Auxiliar na identificação e priorização de perigos e riscos existentes no sistema de abastecimento de água em todas as suas etapas, desde o manancial até o consumidor.

O desenvolvimento de ferramentas metodológicas para a implantação do PSA, constitui-se em um elemento facilitador para a implementação da legislação de potabilidade da água para consumo humano no controle de qualidade da água (nos sistemas de abastecimento de água e nas soluções alternativas) e pela vigilância da qualidade da água para consumo humano (BRASIL, 2012).

O PSA deve ser desenvolvido e aplicado pelos responsáveis pelo sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água, acompanhados pelo Comitê de Bacia Hidrográfica e por representantes do setor saúde da esfera federativa correspondente (BRASIL, 2012).

Os planos de segurança da água devem abranger três elementos fundamentais (BRASIL, 2012; LIBÂNIO, 2010):

- I. Avaliação do sistema: descrição do sistema de abastecimento, da fonte ao consumidor, com o intuito de determinar a capacidade do mesmo em distribuir água com qualidade e em conformidade com os padrões de potabilidade vigentes;
- II. Monitoramento operacional: identificação dos pontos críticos de perigo e risco, determinar as medidas de controle necessárias, além da seleção dos parâmetros a serem monitorados e estabelecimento dos limites críticos e ações corretivas, com o intuito de controlar os riscos existentes e garantir o cumprimento das metas de qualidade da água;
- III. Planos de gerenciamento: propõem e descrevem ações para situações rotineiras e emergenciais, contemplando a validação e verificação periódica do plano, assim como a organização de documentação da avaliação do sistema e o estabelecimento de comunicação do risco, caso se faça necessário.

Observa-se que os elementos essenciais de um PSA envolvem a identificação de perigos, classificação do risco e propostas de melhoria, etapas essas inseridas no processo de Avaliação de Risco.

A importância da elaboração e implementação de um PSA encontra-se no fato de possibilitar a identificação de perigos e riscos levando à otimização de investimentos, redução dos custos do tratamento da água, qualificação dos profissionais e melhoria na avaliação intersetorial, além de garantir o atendimento aos padrões legislativos vigentes na qualidade da água distribuída, e maior segurança e confiabilidade por parte da população abastecida (BRASIL, 2012).

Para cumprimento do seu papel o PSA deve incorporar os perigos e problemas novos que surgir com o tempo. A revisão periódica do plano deverá ser avaliada após cada situação emergencial ou imprevisto, com o propósito de garantir que as situações não sejam recorrentes, e determinar se as medidas de controle são suficientes ou precisam ser aprimoradas (WHO, 2011).

3.8 Indicadores da existência de riscos

Os indicadores, por meio das características da água são capazes de descrever sua qualidade, sendo selecionados de acordo com o manancial de captação, a localização geográfica, característica da água bruta, estação de tratamento de água e o tipo de tratamento para fornecer água para consumo humano visando indicar o risco a saúde da população, podem ser considerados indicadores sentinelas e/ou auxiliares (NERY, 2017).

A identificação precoce da situação de risco na água de abastecimento humano pelos indicadores sentinelas serve para analisar preventivamente irregularidades na água

distribuída, para que medidas de mitigação e controle possam ser aplicadas. São considerados indicadores sentinelas o cloro residual livre (CRL) e a turbidez, os parâmetros como o cloro residual combinado (CRC), coliformes totais (CT) e *E. coli* podem ser considerados como indicadores auxiliares, fornecendo informações adicionais sobre possíveis situações de risco e eventuais falhas na desinfecção (NERY, 2017).

O monitoramento das concentrações de cloro residual livre possibilita a indicação da eficiência da desinfecção na estação de tratamento de água, devendo ser observada uma concentração mínima de cloro residual livre de $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ em todo o sistema de distribuição, e o valor máximo permitido a concentração de 5 mg L^{-1} . A manutenção desse indicador na rede de distribuição tem por objetivo prevenir possíveis contaminações da água tratada em toda extensão do sistema de distribuição ou recrescimento biológico, conforme preconiza a Portaria 2914/2011 (HELLER; PÁDUA, 2016).

A turbidez é um parâmetro de qualidade da água potável que representa o grau de interferência da passagem de luz através da água, em função da presença de partículas suspensas e coloidais (BRASIL, 2006b).

O monitoramento da turbidez é um procedimento de rotina na maioria das estações de tratamento de água no país, com base nas normas vigentes. Seu monitoramento deve obedecer à frequência hora/dia para assegurar água com qualidade para a população.

Por ser um parâmetro de fácil monitoramento e indicador de potabilidade de monitoramento obrigatório nos sistemas de tratamento de água no Brasil, a remoção da turbidez constitui um indicador de remoção de protozoários e outros patógenos sinalizando êxito das etapas de clarificação na remoção física e da desinfecção assumindo a função de indicador sanitário e não apenas estético (NERY, 2017).

Por tratar-se não apenas de parâmetro de aceitabilidade, a normatização brasileira com intuito de assegurar eficiência de remoção de cistos de *Giardia* e cistos e oocistos de *Cryptosporidium*, prevê como meta de obtenção de efluente filtrado com turbidez de $0,5 \text{ uT}$ até $1,0 \text{ uT}$ na saída do tratamento e nunca superior a 5 uT na rede de distribuição de água de acordo com a Portaria 2914/2011.

Protozoários como *Giardia* e *Cryptosporidium* são causadores de infecção intestinal, apresentam alta resistência à cloração, nas estações de tratamento de água são removidos, predominantemente, nas etapas de decantação e filtração. Sendo assim a turbidez é um indicador da remoção desses protozoários (WHO, 2011).

As infecções por *Giardia* são mais comuns do que por *Cryptosporidium*, e os sintomas podem ser mais duradouros. No entanto, oocistos de *Cryptosporidium* são menores que a *Giardia*, e mais difíceis de remover pelos processos físicos. O padrão de

potabilidade de turbidez para garantir a remoção de oocistos de *Cryptosporidium* adotado pelas legislações dos EUA (USEPA, 2006), Canadá (HEALTH CANADÁ, 2014), Nova Zelândia (MINISTRY OF HEALTH, 2008), e Brasil (Portaria 2914/2011) é de 0,3 uT.

Na abordagem atual, o controle de protozoários em normas de qualidade da água para consumo humano costuma combinar os seguintes critérios: eficiência de tratamento requerido associado à turbidez da água filtrada em função da ocorrência de protozoários na água bruta, com vistas ao atendimento de determinada meta de saúde (VIANA, 2011).

Tabela 1 - Padrões de potabilidade para tratamento do tipo convencional visando à saúde da população.

	Oocistos de <i>Cryptosporidium</i>	Turbidez
Estados Unidos USEPA (2006)	3 log de remoção	≤ 0,3 uT (95% das amostras) máximo de 1,0 uT
Canadá HEALTH CANADÁ (2014)	3 log de remoção	≤ 0,3 uT (95% das amostras) máximo de 1,0 uT
Nova Zelândia MINISTRY OF HEALTH (2008)	3 log de remoção	≤ 0,3 uT (95% das amostras) ≤ 0,5 uT (5% das amostras) Apenas 1 amostra, máximo de 1,0 uT
Brasil Portaria 518/2004	Para assegurar a adequada eficiência de remoção	≤ 0,5 uT (95% das amostras) máximo de 1,0 uT
Portaria 2914/2011	Média aritmética de concentração ≥ 3,0 oocistos L ⁻¹ nos pontos de captação	≤ 0,3 uT (95% das amostras) máximo de 1,0 uT

Fonte: NERY, 2017

Os coliformes totais são bactérias ambientais, presentes no solo e vegetação, e de origem fecal, são utilizados como indicadores de contaminação. Já a *E. coli* é uma bactéria do grupo de coliformes fecais, considerada indicador mais específico de contaminação fecal recente e de possível presença de organismos patogênicos. A normatização brasileira prevê o monitoramento obrigatório de coliformes totais em águas para abastecimento humano, e em caso da confirmação de sua presença, faz-se análise de *E. coli* para confirmação de possível presença de patógenos (NERY, 2017).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Universo amostral

A população atendida com abastecimento de água no estado de Minas Gerais é de 82,25% conforme os dados do índice de atendimento total de abastecimento de água (SNIS, 2016). O estado tem seu abastecimento de água feito por captações superficiais e/ou subterrâneas, em maior número as captações superficiais devido à disponibilidade hídrica.

As análises dos índices de cloro residual livre e turbidez da estação de tratamento de água do estudo consideraram os dados do período de 2016 a 2017. Os dados foram Tabelados considerando a coleta de amostras de 2 em 2 horas em um total de 12 coletas diárias perfazendo um total de 4.268 registros no ano de 2016 e 4.368 registros no ano de 2017. Os dados foram analisados considerando o padrão da Portaria 2914/2011.

O Quadro 1 descreve os dados da estação de tratamento de água – Rio das Velhas, foco deste estudo, que opera com tratamento em ciclo completo, com captação por tomada direta no Rio das Velhas, na localidade de Bela Fama, município de Nova Lima, no estado de Minas Gerais.

Quadro 1 - Dados da estação de tratamento de água – Rio das Velhas

Dados da estação de tratamento de Água - Rio das Velhas	
Localização	MG 030, s/n , Bela Fama
Manancial de Captação	Rio das Velhas
Vazão outorgada	6m ³ /s
Área drenada	1,593 km ²
Bacia Estadual	Rio das Velhas
Bacia Federal	São Francisco
Nascente	Cachoeira das Andorinhas, Serra do Antônio Pereira, município de Ouro Preto.
Sistema integrado	Belo Horizonte, Contagem, Nova Lima, Raposos, Ribeirão das Neves, Sabará e Vespasiano.

Fonte: COPASA (2011).

A Figura 2 apresenta por meio de imagem aérea a estação de tratamento de água – Rio das Velhas em estudo, evidenciando com marcadores a localização da ETA e de sua estrutura.

Figura 2 - Imagem aérea da Estação de tratamento de água – Rio das Velhas



Legenda: 1 – Estação de tratamento de água; 2 – Núcleo; 3 – Área de empréstimo/bota fora; 4 -Unidade de baixo recalque e Unidade de Tratamento de Resíduos – UTR; 5 – Barragem submersa. Fonte: COPASA (2011)

4.2 Tratamento estatístico preliminar

Os dados apresentados referentes aos parâmetros de cloro residual livre, coliformes totais e turbidez estão disponibilizados em forma de Tabelas e gráficos contendo a média diária das concentrações de cloro residual livre e turbidez. Enquanto para coliformes totais serão analisados de forma qualitativa (ausência/presença).

O banco de dados fornecido pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais apresentou-se constante no quesito frequência de coletas e monitoramento dos índices de cloro residual livre, coliformes totais e turbidez com base no que prevê a portaria 2914/2011.

A frequência no monitoramento dos dados do parâmetro de cloro residual livre tem relevância no processo de desinfecção, e deve ser observada a concentração específica para atender a normatização e o desempenho do processo de tratamento.

Os dados da turbidez da água tratada que integra a base para este estudo apresentam-se constante e frequente. Embora a turbidez seja um parâmetro de aceitação segundo a norma brasileira, o índice de turbidez do efluente destaca-se no monitoramento, e em decorrência de valores elevados devem ser entendidos como situação de perigo, e principalmente quando houver a ocorrência de coliformes totais e *E.coli*, e ainda por ser um indicador de remoção de protozoários e outros patógenos de acordo com as normas brasileiras, canadenses, americanas e da OMS.

Os dados de monitoramento foram caracterizados por meio da estatística descritiva: quantidade de dados, média aritmética, mediana, valores máximos, valores mínimos, variância, desvio padrão. Os gráficos foram produzidos para auxiliar a visualização e o comportamento das amostras.

4.3 Identificação e classificação dos perigos

As diretrizes que o estudo baseou-se para fazer a identificação e classificação de perigos foram com base na metodologia apresentadas no Manual de Procedimentos e Vigilância em Saúde Ambiental Relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano (Brasil, 2006 a:), e no Guia de Qualidade da Água Potável (WHO, 2011).

A metodologia foi dividida em duas etapas: a primeira consiste na identificação de perigos e a segunda na caracterização do risco.

4.4 Identificação de perigos

Nesta etapa são avaliados os aspectos referentes ao atendimento mínimo do plano de amostragem conforme norma brasileira e aos padrões de potabilidade exigidos pela Portaria 2914/2011.

Para a avaliação utilizou-se os dados dos índices de coletas (IC) fornecidos pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais que faz os cálculos dos índices em atendimento aos padrões de qualidade para cada parâmetro conforme normativa vigente: coliformes totais (ICT), *E.coli* (IEC), turbidez (IT) e cloro residual livre (ICRL) conforme equações a seguir:

$$IC (\%) = \frac{\text{N}^\circ \text{ de amostras coletadas}}{\text{N}^\circ \text{ de amostras a coletar segundo o plano mínimo de amostragem}} \times 100$$

$$ICT (\%) = \frac{\text{N}^\circ \text{ de amostras com ausência de coliformes}}{\text{N}^\circ \text{ de amostras coletadas}} \times 100$$

$$IEC (\%) = \frac{\text{N}^\circ \text{ de amostras com ausência de } E. coli}{\text{N}^\circ \text{ de amostras coletadas}} \times 100$$

$$IT (\%) = \frac{\text{N}^\circ \text{ de amostras de acordo com o padrão de turbidez}}{\text{N}^\circ \text{ de amostras coletadas}} \times 100$$

$$ICRL (\%) = \frac{\text{N}^\circ \text{ de amostras de acordo com o padrão de } CRL}{\text{N}^\circ \text{ de amostras coletadas}} \times 100$$

4.5 Caracterização do risco

Para a classificação dos perigos identificados e a caracterização do risco optou-se por seguir as diretrizes do Guia de Qualidade da Água Potável (WHO, 2011), que otimiza e reduz a subjetividade, conforme o método adotado. A magnitude do risco é calculada pelo produto da frequência de ocorrência com a severidade do perigo. Os valores das categorias de severidade e frequência de ocorrência conforme suas definições são apresentadas nos quadros 2 e 3.

Quadro 2 - Definições das categorias de frequência de ocorrência utilizadas para cálculo do risco.

Item	Frequência de ocorrências		
	Classificação	Definição (monitoramentos anuais)	Definição (monitoramento mensal)
Quase Certo	5	1 vez por dia	1 vez por dia
Provável	4	1 vez por semana	3 vezes por semana
Moderadamente Provável	3	1 vez por mês	1 vez por semana
Improvável	2	2 vezes por ano	2 vezes por mês
Raro	1	1 vez a cada 5 anos	1 vez por mês

Fonte: Adaptado WHO (2011).

Quadro 3 - Definições das categorias de severidade utilizadas para cálculo dos riscos.

Severidade		
Item	Classificação	Definição
Catastrófico	5	Impacto na saúde pública
Alto	4	Impacto regular
Moderado	3	Impacto estético
Baixo	2	Impacto de conformidade
Insignificante	1	Não há impacto ou não detectável

Fonte: WHO (2011).

Na classificação da severidade foram adotados critérios baseados na legislação e pesquisas existentes sobre a qualidade da água (NERY, 2017). Os critérios adotados são descritos na Tabela 2 e levam em consideração as incertezas na definição de um valor máximo permitido, o monitoramento dos dados, o entendimento de como o parâmetro pode causar danos a saúde humana e os estudos atuais sobre o parâmetro.

Tabela 2- Critérios de classificação da severidade de cada parâmetro analisado.

Parâmetro	Severidade				
	1	2	3	4	5
Turbidez	Quando não detectado ou em conformidade	$\leq 2,4$ uT	De 2,5 a 4,9 uT	≥ 5 uT	≥ 5 uT e apenas se houver <i>E.coli</i>
Cloro Residual Livre	Quando em conformidade	De 2,1 a 3,4 mg L ⁻¹	De 3,5 a 4,9 mg L ⁻¹	≥ 5 Ut e/ou $\leq 0,2$ mg L ⁻¹	$\leq 0,2$ mg L ⁻¹ e CT e/ou <i>E.coli</i> positivo
Coliformes Totais	Quando não detectado ou em conformidade	-	-	Quando positivo para CT e negativo para <i>E.coli</i>	Quando positivo para CT e <i>E.coli</i>

Fonte: Nery (2017)

O cálculo da pontuação do risco feito para cada parâmetro por meio do produto entre a frequência das ocorrências e a severidade do perigo, e logo em seguida é possível gerar a matriz de classificação do risco apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Matriz de classificação do risco por parâmetro

Probabilidade	Severidade				
	Insignificante	Baixo	Moderado	Alto	Catastrófico
Quase certo	5	10	15	20	25
Provável	4	8	12	16	20
Moderadamente Provável	3	6	9	12	15
Improvável	2	4	6	8	10
Raro	1	2	3	4	5

Fonte WHO (2011).

A caracterização do risco da estação de tratamento de água é calculada por meio da média ponderada para pontuação do risco de cada parâmetro analisado, posto que os parâmetros interferem na estação de tratamento de forma diferenciada, ocasionando impactos de maior ou menor intensidade (GRADVOHL, 2012). Os pesos para ponderação do risco de cada parâmetro foram estimados com base nos estudos desenvolvidos pela OMS e pesquisas realizadas por GRADVOHL (2012) conforme descrito no quadro 4, já a caracterização da magnitude total do risco é demonstrada no quadro 5.

Quadro 4 - Pesos de ponderação do risco de cada parâmetro

Parâmetros	Pesos
Turbidez	0,110
Cloro Residual Livre	0,346
Coliformes totais	0,544

Fonte: Gravidohl (2012).

Quadro 5- Caracterização da magnitude total do risco

Pontuação do risco	< 6	6-9	10-15	>15
Classificação do risco	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto

Fonte: WHO (2011).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Levantamento e caracterização dos dados

Os dados disponibilizados pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais contêm registros dos dados de turbidez no período de 2016 e 2017, que foram considerados para elaboração deste trabalho. Os dados de turbidez da água tratada e cloro residual livre

serão analisados detalhadamente, enquanto para os dados de coliformes totais e *E.coli*, parâmetros de grande relevância para o tratamento e qualidade da água conforme normativa vigente. Estes dados serão apresentados de forma qualitativa (presença e ausência) para análise e avaliação de risco do processo de tratamento da água da estação de tratamento, foco deste estudo.

Os dados de turbidez integrante do universo amostral que fundamenta esta pesquisa apresentam-se eficientes na quantidade de dados e na frequência hora/dia das amostras e no monitoramento das análises. A Tabela 4 apresenta a análise preliminar dos dados de turbidez da água bruta da estação de tratamento de água, observa-se alta variação dos dados de turbidez da água captada. A variabilidade dos dados de turbidez da água bruta é característica de mananciais superficiais não represados que apresenta variações sazonais relevantes entre períodos de chuva e estiagem, e ainda, pode estar ligado ao uso e ocupação de solo da bacia contribuinte (HELLER; PADUA, 2016).

Tabela 4 - Análise preliminar dos dados de turbidez de água bruta da estação de tratamento de água – Rio das Velhas nos anos de 2016 e 2017.

Dados estatísticos - Turbidez da água bruta								
Ano	Mês	Nº de registros	Média	Mediana	Desvio Padrão	Coefficiente de variação	Valor máximo	Valor mínimo
2016	Janeiro	139	254,00	184,00	222,77	0,88	947	16,60
	Fevereiro	113	114,55	77,00	105,37	0,92	540	19,80
	Março	143	185,37	139,00	162,20	0,88	780	14,00
	Abril	76	59,42	18,50	92,20	1,55	460	8,00
	Maio	73	20,51	12,00	29,44	1,44	202	1,00
	Junho	74	26,16	10,30	30,27	1,16	131	4,10
	Julho	63	5,15	5,00	0,76	0,15	7,7	3,90
	Agosto	62	4,50	4,50	0,72	0,16	6,8	3,20
	Setembro	111	112,30	53,00	153,06	1,36	715	6,30
	Outubro	68	25,92	17,50	20,68	0,80	96	7,00
	Novembro	125	53,00	81,00	180,32	3,40	955	7,00
	Dezembro	146	357,91	182,50	435,61	1,22	3500	24,00
2017	Janeiro	103	103,57	67,00	92,23	0,89	379	14,00
	Fevereiro	94	177,28	52,00	259,43	1,46	950	11,90
	Março	89	112,32	49,00	151,12	1,35	790	7,10

Dados estatísticos - Turbidez da água bruta								
Ano	Mês	Nº de registros	Média	Mediana	Desvio Padrão	Coefficiente de variação	Valor máximo	Valor mínimo
	Abril	61	12,44	11,00	4,53	0,36	27	7,20
	Maio	67	21,06	10,00	43,42	2,06	270	6,00
	Junho	73	35,58	9,10	57,51	1,62	253	5,60
	Julho	62	5,64	5,50	0,65	0,12	8,6	4,60
	Agosto	62	5,42	5,30	0,85	0,16	8,1	3,80
	Setembro	60	6,76	6,10	1,59	0,24	13	5,00
	Outubro	101	67,94	21,00	114,08	1,68	850	6,20
	Novembro	106	165,98	84,50	178,75	1,08	870	9,70
	Dezembro	133	328,16	230,00	353,70	1,08	3000	10,20

Fonte: Elaborada pela autora

O tratamento da água bruta com alto índice de turbidez requer atenção em todo o processo operacional, principalmente na fase de desinfecção, que apresenta o perigo, em se tratando da remoção de cisto e oocisto de protozoários de *Giardia* e *Cryptosporidium*. Embora Libânio (2010) relate que em três estados americanos foram realizados estudos em água naturais com turbidez inferior a 10 uT, os estudos apontaram baixa correlação entre a remoção de turbidez e a de protozoários.

O processo que envolve todo o tratamento de água desde a captação até o consumidor é um processo oneroso que envolve manutenção e custos operacionais elevados, principalmente no que tange a gastos com pessoal especializado, energia elétrica, produtos químicos e grandes investimentos em novas tecnologias para otimização do processo de tratamento de água.

A Tabela 5 exibe a análise preliminar dos dados de turbidez da água tratada no ano de 2016 e 2017, que apresenta uniformidade no registro dos dados, com apenas uma intercorrência no ano de 2016 que apresentou valor nulo para uma análise. Infere-se a tendência a erro por se tratar de valores baixos, mediante a análise de dados com variáveis mínimas na casa de centésimos, e não ser recorrente durante o período da amostra e os demais dados atenderam aos padrões da Portaria 2914/2011. Para o ano de 2017 os dados apresentaram-se constantes e uniformes para o período, sem nenhum tipo de intercorrência, e com padrões considerados internacionais para uma estação de tratamento de água de grande porte.

Tabela 5 - Análise preliminar dos dados de turbidez de água tratada da estação de tratamento de água – Rio das Velhas nos anos de 2016 e 2017.

Ano	Dados estatísticos - Turbidez água tratada							
	Mês	Nº de Registros	Média	Mediana	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Valor máximo	Valor mínimo
2016	Janeiro	364	0,16	0,14	0,06	0,38	0,47	0,07
	Fevereiro	344	0,24	0,23	0,07	0,29	0,49	0,10
	Março	368	0,17	0,17	0,04	0,24	0,34	0,09
	Abril	361	0,15	0,15	0,04	0,24	0,26	0,01
	Maiο	369	0,13	0,13	0,03	0,21	0,26	0,08
	Junho	361	0,14	0,14	0,03	0,24	0,27	0,08
	Julho	367	0,15	0,15	0,04	0,25	0,25	0,08
	Agosto	372	0,12	0,12	0,03	0,24	0,29	0,00
	Setembro	361	0,13	0,13	0,03	0,22	0,22	0,08
	Outubro	372	0,14	0,13	0,03	0,24	0,31	0,09
	Novembro	361	0,14	0,14	0,03	0,22	0,23	0,08
	Dezembro	370	0,20	0,18	0,09	0,46	0,86	0,01
2017	Janeiro	369	0,19	0,18	0,05	0,28	0,48	0,09
	Fevereiro	337	0,15	0,15	0,03	0,23	0,31	0,08
	Março	372	0,18	0,17	0,04	0,22	0,25	0,09
	Abril	359	0,16	0,15	0,04	0,23	0,24	0,02
	Maiο	372	0,15	0,14	0,04	0,25	0,24	0,01
	Junho	361	0,15	0,15	0,03	0,20	0,24	0,09
	Julho	373	0,15	0,14	0,03	0,20	0,25	0,09
	Agosto	364	0,14	0,14	0,03	0,20	0,28	0,09
	Setembro	361	0,15	0,14	0,03	0,20	0,29	0,09
	Outubro	367	0,18	0,17	0,05	0,27	0,38	0,10
	Novembro	361	0,15	0,15	0,03	0,18	0,24	0,09
	Dezembro	372	0,16	0,16	0,03	0,20	0,27	0,09

Fonte: Elaborada pela autora

Para o parâmetro de cloro residual livre (CRL) os dados apresentam-se constantes com uma média de 1,34 mg L⁻¹ para o ano de 2016 e de 1,36 mg L⁻¹ para o ano de 2017. Desta forma, na Tabela 6 observa-se a análise preliminar dos dados de cloro residual livre, e nota-se uniformidade nos valores de desvio padrão (variando de 0,11 a 0,15) e coeficiente de variação (variando de 0,08 a 0,15).

Tabela 6 - Análise preliminar dos dados de Cloro residual livre da estação de tratamento de água - Rio das Velhas nos anos de 2016 e 2017.

Ano	Dados estatísticos - Cloro residual livre							
	Mês	Nº de Registros	Média	Mediana	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Valor Máximo	Valor Mínimo
2016	Janeiro	364	1,38	1,40	0,13	0,09	1,60	0,90
	Fevereiro	344	1,35	1,40	0,13	0,10	1,70	0,90
	Março	368	1,35	1,40	0,15	0,11	1,80	0,80
	Abril	361	1,32	1,30	0,13	0,10	1,60	0,90
	Maio	369	1,32	1,30	0,13	0,10	1,50	0,90
	Junho	361	1,34	1,30	0,13	0,09	1,80	0,90
	Julho	367	1,40	1,40	0,12	0,09	1,70	0,90
	Agosto	372	1,35	1,40	0,15	0,11	1,70	0,60
	Setembro	361	1,26	1,30	0,20	0,16	1,80	0,50
	Outubro	372	1,37	1,40	0,17	0,12	2,00	0,70
	Novembro	361	1,35	1,40	0,19	0,14	2,20	0,70
	Dezembro	370	1,37	1,40	0,16	0,12	2,10	0,90
2017	Janeiro	369	1,35	1,30	0,12	0,09	1,90	1,00
	Fevereiro	337	1,33	1,30	0,13	0,10	1,60	0,90
	Março	372	1,34	1,30	0,14	0,10	1,60	0,80
	Abril	359	1,37	1,40	0,10	0,08	1,60	1,00
	Maio	372	1,37	1,40	0,10	0,08	1,50	1,00
	Junho	361	1,40	1,40	0,11	0,08	1,80	1,00
	Julho	373	1,36	1,40	0,14	0,10	1,50	0,70
	Agosto	364	1,39	1,40	0,09	0,07	1,90	1,10
	Setembro	361	1,41	1,40	0,09	0,06	1,60	1,20
	Outubro	367	1,35	1,40	0,13	0,10	1,70	0,70
	Novembro	361	1,35	1,30	0,11	0,08	1,50	1,00
	Dezembro	372	1,38	1,40	0,11	0,08	1,50	1,10

Fonte: Elaborada pela autora

Para coliformes totais apresentam uma ausência de 98,86% para o ano de 2016 e 98,27% no ano de 2017 de acordo com a Portaria 2914/2011 que prevê que para sistemas ou soluções alternativas coletivas de abastecimento de água acima de 20.000 habitantes devem apresentar ausência desses indicadores em pelo menos 95% das amostras examinadas no mês, e ausência de *E. coli* em todas as amostras do período analisado.

5.2 Plano Mínimo de Amostragem

O cumprimento ao plano mínimo de amostragem é de suma importância, uma vez que o tamanho da amostra e a frequência das coletas influenciam nas estimativas quanto à qualidade da água tratada realizada através da análise dos dados. Quantidades pequenas de dados apresentam avaliações com grandes variações, e conseqüentemente, maiores incertezas, podendo ocultar situações de perigo relacionado à qualidade da água.

O atendimento ao plano mínimo de amostragem de acordo com a Portaria 2914/2011 foi realizado por meio dos cálculos dos índices de coleta diária e mensal. Utilizou-se a frequência no monitoramento dos dados de turbidez e cloro residual livre, uma amostra com frequência mínima diária, já que os dados disponibilizados referem-se à média diária. A frequência mínima de monitoramento desses parâmetros adotados está presente no quadro 6.

Quadro 6 - Frequência mínima de amostragem para controle da qualidade da água da estação de tratamento de água – Rio das Velhas

Parâmetros	Número de amostras	Frequência mínima
Turbidez	12	diária
Cloro residual livre	3	diária
Coliformes Totais	3	diária
<i>E. coli</i>	3	diária

Fonte: COPASA (2011)

A Tabela 7 apresenta o índice mensal de atendimento ao plano mínimo de amostragem para turbidez da água tratada da estação com índices satisfatórios de coletas de acordo com a frequência de coletas mensais, apresentando apenas um mês com índice de 95% de coleta no ano de 2016, enquanto todos os outros apresentaram índices iguais ou superiores a 96%. Já para o ano de 2017 apresentou índices de coletas igual ou acima de 98% sem nenhuma intercorrência nos dados. Os dados do período amostral foram constantes em frequência e no monitoramento dos dados.

Tabela 7 - Índice mensal de atendimento ao plano mínimo de amostragem para a turbidez de água tratada da estação de tratamento de água – Rio das Velhas nos anos de 2016 e 2017.

Mês	IC de Turbidez de água tratada	
	2016	2017
Janeiro	96%	99%
Fevereiro	100%	100%
Março	97%	100%
Abril	97%	100%
Maio	98%	100%
Junho	98%	100%
Julho	95%	100%
Agosto	98%	98%

Mês	IC de Turbidez de água tratada	
	2016	2017
Setembro	97%	100%
Outubro	101%	99%
Novembro	98%	100%
Dezembro	96%	100%

Fonte: Elaborada pela autora

Abaixo segue o cálculo do índice mensal de atendimento ao plano mínimo de amostragem para a turbidez da água tratada conforme equação descrita:

$$IT (\%) = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de amostras de acordo com o padrão de turbidez}}{\text{N}^{\circ} \text{ de amostras coletadas}} \times 100$$

Exemplo: cálculo do índice de coleta de turbidez da água tratada de janeiro de 2017

$$IT (\%) = \frac{369}{372} \times 100 = 99\%$$

A Tabela 8 exibe o índice mensal de atendimento ao plano mínimo de amostragem para o parâmetro de cloro residual livre da estação no período de 2016 e 2017 com resultados satisfatórios de atendimento ao parâmetro, sem nenhuma intercorrência no período amostral, evidenciando eficiência no monitoramento dos dados.

Tabela 8 - Índice mensal de atendimento ao plano mínimo de amostragem para cloro residual livre da estação de tratamento de água – Rio das Velhas nos anos de 2016 e 2017.

Mês	IC de Cloro residual Livre	
	2016	2017
Janeiro	98%	99%
Fevereiro	102%	100%
Março	99%	100%
Abril	100%	99%
Mai	99%	100%
Junho	100%	103%
Julho	99%	100%
Agosto	100%	98%
Setembro	100%	100%
Outubro	100%	102%
Novembro	100%	100%
Dezembro	99%	100%

Fonte: Elaborada pela autora

A equação para o cálculo do índice mensal de atendimento ao plano mínimo de amostragem para cloro residual livre abaixo:

$$\text{ICRL (\%)} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de amostras de acordo com o padrão de CRL} \times 100}{\text{N}^\circ \text{ de amostras coletadas}}$$

Exemplo: cálculo do índice de coleta de cloro residual livre de dezembro de 2016

$$\text{ICRL (\%)} = \frac{370}{372} \times 100 = 99\%$$

A Tabela 9 apresenta o índice mensal de atendimento ao plano mínimo de amostragem para coliformes totais e *E. coli* da estação no que pode verificar o desempenho e a eficiência no atendimento da frequência das coletas e no monitoramento dos dados analisados, conforme índice de coleta com média de 98,86% em 2016 e de 98,28% em 2017.

Tabela 9 - Índice mensal de atendimento ao plano mínimo de amostragem para coliformes totais e *E. coli* da estação de tratamento de água – Rio das Velhas nos anos de 2016 e 2017.

Mês	IC para Coliformes totais e <i>E.coli</i>	
	2016	2017
Janeiro	99%	97%
Fevereiro	98%	100%
Março	100%	99%
Abril	99%	97%
Maio	98,%	98%
Junho	97%	100%
Julho	99%	99%
Agosto	100%	94%
Setembro	100%	98%
Outubro	100%	98%
Novembro	97%	99%
Dezembro	99%	100%

Fonte: Elaborada pela autora

O cálculo para obter o índice mensal de atendimento ao plano mínimo de amostragem para coliformes totais feito a partir da equação a seguir:

$$\text{ICT (\%)} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de amostras com ausência de coliformes}}{\text{N}^\circ \text{ de amostras coletadas}} \times 100$$

Exemplo: cálculo do índice de coleta de coliformes totais no mês de janeiro de 2016

$$\text{ICT (\%)} = \frac{96}{97} \times 100 = 99\%$$

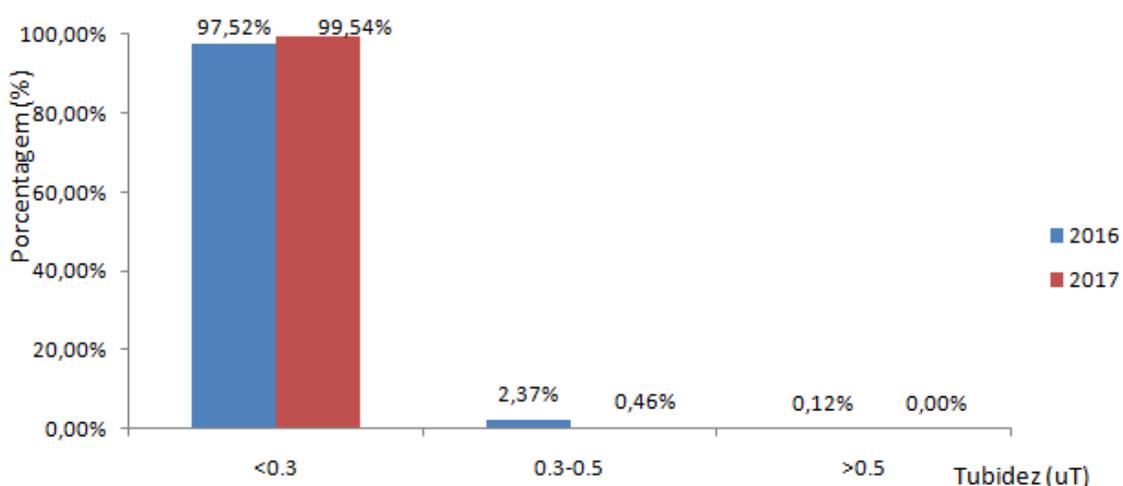
De forma geral, a estação de tratamento de água atende ao plano mínimo de amostragem para todos os parâmetros analisados de acordo com a normativa brasileira para turbidez, cloro residual livre e aos parâmetros de coliformes totais e *E.coli*.

5.3 Qualidade da água para abastecimento público

5.3.1 Turbidez

Em relação ao parâmetro de turbidez, realizou-se análise detalhada no que tange ao cumprimento aos padrões de potabilidade estabelecidos pela normatização brasileira em relação às metas de remoção de cistos e oocistos de protozoários. A Figura 3 exhibe os dados de turbidez da água tratada da estação de tratamento de água Rio das Velhas. Pode-se observar que 97,52% dos dados no ano de 2016 apresentaram valores menores que 0,3 uT, e 99,54% no ano de 2017. Dentro da normativa brasileira esses valores são considerados satisfatórios e eficientes para uma estação de tratamento de água de grande porte, com classificação de padrões internacionais, levando em conta que o padrão de potabilidade para turbidez, conforme mencionado no item 5.2.

Figura 3 – Dados de turbidez da água tratada da estação de tratamento de água – Rio das Velhas

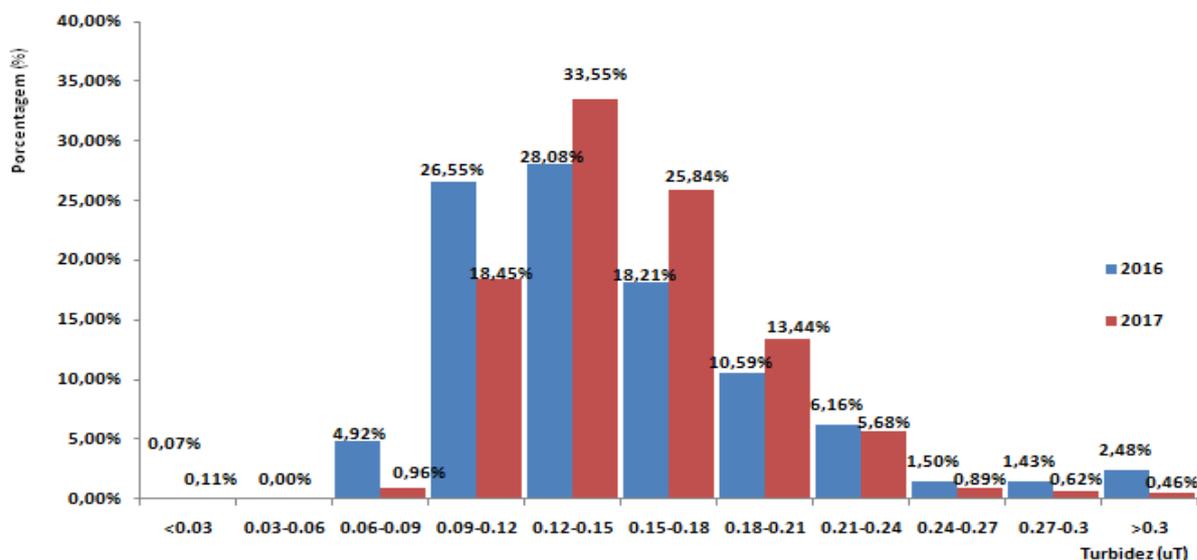


Fonte: Elaborada pela autora

A Figura 4 apresenta os dados do percentual de valores da estação de tratamento de água que atendem o padrão da Portaria 2914/2011 para o período amostral.

Infere-se que os dados apresentam-se constantes e com índices satisfatórios de atendimento as normas brasileiras e internacionais para uma estação de grande porte.

Figura 4 - Histograma de frequência dos valores de turbidez da água tratada dos anos de 2016 e 2017.



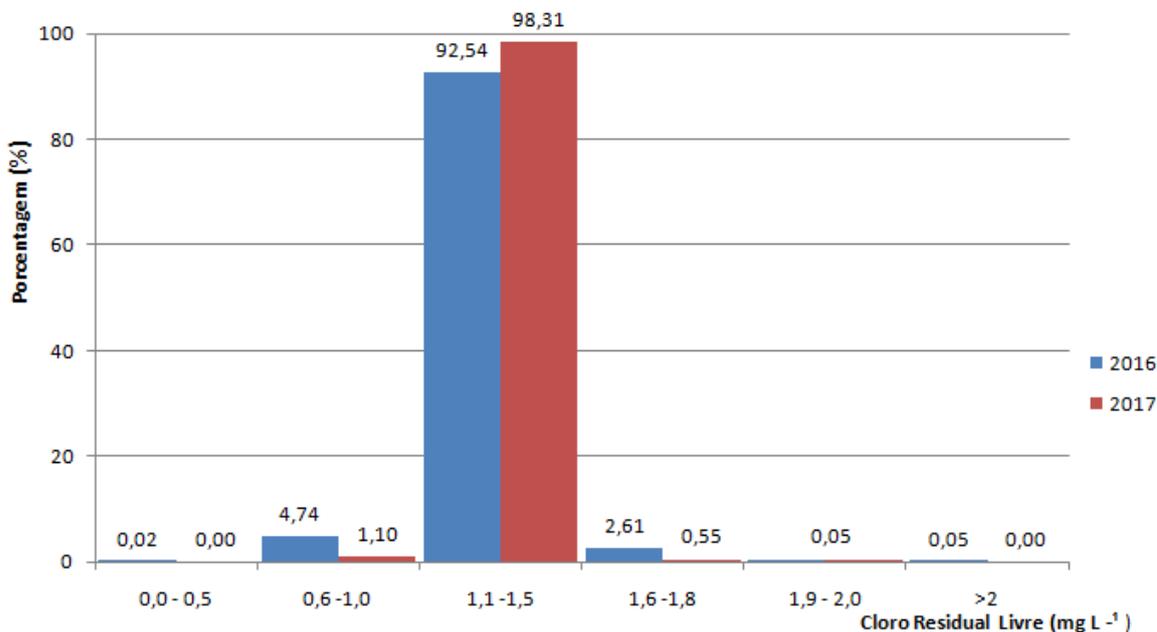
Fonte: Elaborada pela autora

Importante salientar que, embora a turbidez seja um parâmetro de enfoque estético, valores elevados da mesma devem ser entendidos como situação de perigo, principalmente quando houver ocorrência de coliformes totais e *E. coli* sendo a turbidez considerada como indicador de remoção de protozoários e outros patogênicos, tanto pelas legislações e diretrizes brasileiras como pela canadense, estadunidense e pela OMS.

5.3.2 Cloro Residual Livre

Na Figura 5 observa-se a distribuição dos dados de cloro residual livre na estação de tratamento de água – Rio das Velhas apresentando uma média de 1,36 mg L⁻¹ para o período amostral. O valor do coeficiente de variação de 0,10 mg L⁻¹ aponta para uniformidade do parâmetro no período de 2016 e 2017, com base nos dados demonstrados pode se verificar que a estação é eficiente no processo de desinfecção.

Figura 5 - Histograma de frequência dos valores de cloro residual livre da estação de tratamento de água – Rio das Velhas nos anos de 2016 e 2017.



Fonte: Elaborada pela autora

O limite inferior de cloro residual livre estabelecido pela normatização deve ser atendido, uma vez que visa dar garantia de existência de desinfetante na água que possa agir como barreira final no caso de (re) contaminação por conta de existência de alguma falha na rede de distribuição. Salienta-se que o cloro é um agente desinfetante responsável por diminuir a concentração de parâmetros microbiológicos na rede de distribuição a existência de concentrações de cloro residual livre menores que $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ compromete a manutenção de concentrações adequadas do parâmetro na rede de distribuição, principalmente quando em concomitância com a presença de coliformes totais e *E. coli*, enquanto a existência de valores acima de 5 mg L^{-1} constitui risco à saúde, caracterizando situações de perigo.

5.3.3 Parâmetros microbiológicos

A Tabela 10 apresenta o índice mensal de atendimento ao plano mínimo de amostragem para coliformes totais e *E. coli* da estação no que pode verificar o desempenho e a eficiência no atendimento da frequência das coletas e no monitoramento dos dados analisados, conforme índice de coleta de 98,86% em 2016 e de 98,28% em 2017, com ausência de *E.coli* em todas as amostras.

Tabela 10 - Índices mensais de atendimento aos padrões de qualidade de coliformes totais para estação de tratamento de água – Rio das Velhas nos anos de 2016 e 2017.

Ano	Índice Mensal de atendimento aos padrões de qualidade											
	Coliformes totais %											
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
2016	98,97	98,02	100,00	99,01	98,08	97,14	99,00	100,00	100,00	100,00	97,06	99,02
2017	96,94	100,00	99,07	97,03	98,00	100,00	99,02	94,17	97,96	98,17	98,92	100,00

Fonte: Elaborada pela autora

5.4 Caracterização do risco

Com base nos dados amostrais referentes à turbidez, cloro residual livre, coliformes totais e *E. coli*, identificam-se as situações que podem evidenciar a existência de perigo por meio dos índices de atendimento ao plano mínimo de amostragem e aos padrões brasileiros de potabilidade normatizados, além das metas indicadoras de remoção de protozoários. Mediante o exposto, procede-se à caracterização do risco, utilizando os conceitos de severidade e ocorrência, e aplicando-se os critérios definidos na etapa de material e métodos.

A coleta de dados referentes aos parâmetros de qualidade da água potável serve como base de dados, os quais devem ser analisados regularmente. A prática frequente da identificação de perigos tornou-se uma ferramenta importante para a tomada de decisões em uma estação de tratamento de água, necessária para a adaptação da metodologia de Avaliação de Risco de forma prática e de fácil utilização (CARMO, 2005).

Com base nos índices de atendimento aos padrões normativos e metas para a remoção de protozoários, avaliou-se a ocorrência dos dados em desacordo com as diretrizes impostas nas normas brasileiras para, em seguida, classificar a severidade dessas ocorrências com base nos padrões legislativos. O cálculo do valor empírico do risco e sua classificação foram realizados seguindo-se as diretrizes da WHO (2011).

A caracterização do risco baseou-se na utilização dos dados de 2016 a 2017, que apresentam-se constantes na frequência e no monitoramento dos dados no período amostral. Na Tabela 11 exibe-se a caracterização do risco da estação de tratamento de água – Rio das Velhas, assim como os valores de ocorrência e severidade encontrados.

No tocante ao plano mínimo de amostragem, é importante atentar-se que o não cumprimento do mesmo pode mascarar os dados avaliados, principalmente dos parâmetros de turbidez e cloro residual livre, já que o plano mínimo de amostragem de coliformes totais e *E. coli* foi atendido em todos os anos amostrados. Como a caracterização do risco leva em consideração a ocorrência desses dados, baixos índices de atendimento ao plano de amostragem podem vir a influenciar o resultado final.

Tabela 11 - Caracterização do risco através dos critérios de ocorrência e severidade para a estação de tratamento de água amostrada.

Ano	Parâmetro	Ocorrência	Severidade	Pontuação do risco	Magnitude do risco
2016	Turbidez	3	3	0,99	3,61
	CRL	2	3	2,08	
	CT	1	1	0,54	
2017	Turbidez	2	2	0,44	2,36
	CRL	2	2	1,38	
	CT	1	1	0,54	

Fonte: Elaborada pela autora

A estação de tratamento de água- Rio das Velhas apresentou durante todo o período amostral uniformidade e constância na frequência e no monitoramento dos dados. Os padrões de turbidez verificados durante todo o período amostral evidenciaram a eficiência do tratamento, com um índice de turbidez menor ou igual a 0,3 uT em 97,52% das análises de 2016 e 99,54% nas análises do ano de 2017, considerado padrão internacional para uma estação de tratamento de grande porte. O padrão de potabilidade de turbidez para garantir a remoção de oocistos de *Cryptosporidium* adotado pelas legislações dos EUA (USEPA, 2006), Canadá (HEALTH CANADÁ, 2014), Nova Zelândia (MINISTRY OF HEALTH, 2008), e Brasil (Portaria 2914/2011) é de 0,3 uT.

A caracterização do risco no ano de 2016 foi classificado com a severidade 3 por apresentar um dado de turbidez de água tratada nulo, o que infere-se a ocorrência de erro, mas não foi um fato recorrente no período da amostra. O que deve ser considerado para caracterização do risco, por se tratar de uma estação de tratamento de água de grande porte.

O parâmetro cloro residual livre apresentou um índice de atendimento com variação média de 1,36 mg L⁻¹ no período amostral, e apenas uma intercorrência de valor acima de 2 mg L⁻¹, sem nenhuma outra recorrência, o que propôs uma classificação de severidade 3.

Para o parâmetro de coliformes totais as análises apresentaram um índice acima de 98% de amostras com ausência nos períodos amostrados e ausência de *E.coli* em todo o período.

Portanto, o risco da estação de tratamento de água é baixo, seguindo as diretrizes propostas pela OMS e pela Portaria 2914/2011 que preza no rigor da qualidade da água para abastecimento humano, e por se tratar de uma estação de tratamento de água de grande porte, que requer mais atenção na caracterização e análise dos riscos.

6 CONCLUSÃO

A partir da análise dos dados e da aplicação da Avaliação de Risco pode-se concluir que a estação de tratamento de água avaliada apresentou-se eficiente na operação, e no cumprimento dos planos mínimos de amostragem estabelecidos na normativa brasileira. Da mesma forma, o efluente da estação se mostrou em conformidade com os valores máximos permitidos e metas estabelecidas na legislação. A eficiência do tratamento da estação pode ser observado no desempenho dos índices de turbidez de 0,3 uT em 97,52% das amostras do ano de 2016 e 99,54% nas análises do ano de 2017. Já o parâmetro de cloro residual livre apresentou índice médio de 1,36 mg L⁻¹ no processo de desinfecção no período amostral, com eficácia no tratamento de 99% no ano de 2016 e 100% para o ano de 2017, e para coliformes fecais as análises apresentaram ausência em 98,28% das coletas de 2016 e 98,86% nas de 2017, e ausência de *E.coli* em todas as amostras.

Os critérios e definições adotados para a caracterização do risco foram fundamentais para a classificação total do risco da estação de tratamento que demonstrou risco baixo e desempenho satisfatório no atendimento aos parâmetros analisados.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BEVILACQUA, P. D.; BASTOS, R. K. X.; HELLER, L.; OLIVEIRA, A. A.; MARTINS, M. B. C.; BRITO, L. L. A. Densidades de *Giardia* e *Cryptosporidium* em mananciais de abastecimento de água e prevalência de giardíase: usos e aplicações do modelo teórico de avaliação de risco. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 28, 2002, Cancún, México. Anais... Cidade do México: Associação Interamericana de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518, de 25 março de 2004. 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, DF, 26 mar. 2004. 15p

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Manual de procedimentos de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano. Brasília: Ministério da Saúde, 2006 a. 284p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Diretriz nacional do plano de amostragem da vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano. Brasília: Ministério da Saúde, 2006b. 60p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano. Brasília: Ministério da Saúde, 2006c. 212p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União. Brasília, DF. 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Plano de segurança da água: garantindo a qualidade e promovendo a saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2013. 61p.

CARMO, R. F.; BEVILACQUA, P. D.; BASTOS, R. K. X. Vigilância da qualidade da água para consumo humano: abordagem qualitativa da identificação de perigos. Eng. Sanitária Ambiental. [S. l.], v. 13, n. 4, p.426-434, out. 2008.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS. Relatório de Controle Ambiental – RCA e Plano de Controle Ambiental – PCA: Tratamento de água para abastecimento sistema produtor do Rio das Velhas. Belo Horizonte, 2011. 227p.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS. Relatório de Qualidade da Água. Belo Horizonte. 2017. 2p.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS. Sistema de Controle e Produção de Água – SICPA: Estação de tratamento de água - Rio das Velhas. Belo Horizonte, 2018.

HELLER, L.; PÁDUA, V., L. de (org.). Abastecimento de água para consumo humano. Belo Horizonte: UFMG, 2016. Vol. 1.

LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. 3a ed. Campinas: Editora Átomo, 2010. 494 p.

MORENO, J. Avaliação e gestão de riscos no controle da qualidade da água em redes de distribuição: Estudo de caso. 2009. 617f. Tese (Doutorado Programa de Pós-Graduação e área de concentração em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2009.

NERY, Débora de Souza. Aplicação de Avaliação de risco ao efluente de estações convencionais de tratamento de água. 2017.139f. Dissertação (Mestrado Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) Escola de Engenharia da Universidade de Minas Gerais, 2017.

PÁDUA, V. L. de (Coord.). Remoção de Microrganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano. 2009. 392p. Ed.5 PROSAB (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico). ABES. Rio de Janeiro, 2009.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico de Serviços de Água e Esgoto de 2015. 2016. Publicado: Quinta, 1 de fevereiro de 2018. 15h 24. Última atualização: Segunda, 2 de Abril de 2018, 13h57. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2016>

VIANA, D. B. Contribuições para a construção de modelos de estimativa de riscos à saúde associados à transmissão de Giardia e Cryptosporidium via abastecimento de água para consumo humano. 2011. 258 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

VIEIRA, V. P. P. B. (org.). Análise de Risco em Recursos Hídricos: Fundamentos e Aplicações. Porto Alegre: ABRH, 2005. 361p.

WHO - World Health Organization. Guidelines, Standards and Health: Assessment of risk and risk management for water-related infectious disease. Padstow: IWA, 2001.

WHO - World Health Organization. Quantifying public health risk in the WHO: Guidelines for Drinking – Water Quality. A burden of disease approach. 3 ed. Geneva: WHO, 2008. 49p.

WHO - World Health Organization. Guidelines for Drinking-water Quality. 4. ed. Geneva: WHO, 2011. 564 p.

WHO - World Health Organization. UN - United Nations. About WHO. 2016. Disponível em: <[https:// http://ww.who.int/about/what-we-do/en/](https://http://ww.who.int/about/what-we-do/en/)>. Acesso em: 21 maio 2018.