



**CAROLINE MARTINS PINTO**

**INDICAÇÃO DE TÉCNICAS PARA REMOÇÃO DE FERRO E  
MANGANÊS NA ÁGUA DE ABASTECIMENTO DE CAMPO  
BELO - MG**

**LAVRAS - MG  
2021**

**CAROLINE MARTINS PINTO**

**INDICAÇÃO DE TÉCNICAS PARA REMOÇÃO DE FERRO E MANGANÊS NA  
ÁGUA DE ABASTECIMENTO DE CAMPO BELO - MG**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof.<sup>a</sup>. Dra. Camila Silva Franco  
Orientadora

**LAVRAS - MG  
2021**

*Dedico a minha mãe, Maria de Lourdes,  
que iluminou minha infância  
e agora ilumina o céu.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Deus pela vida, por me fortalecer e me dar coragem a cada obstáculo vivido nessa caminhada.

Ao meu pai Donizeti, por ser o motivo pelo qual eu acordo e luto todos os dias, pelo apoio e amor incondicional.

A minha irmã Pollyana, por sonhar comigo, e me manter em pé quando achei que não conseguiria.

A minha madrastra Antônia, por se doar sempre em todos os momentos.

A Universidade Federal de Lavras por todo conhecimento adquirido, por proporcionar momentos inesquecíveis, colocando pessoas e professores incríveis nesse caminho.

A minha orientadora Camila, que se fez presente em um dos momentos mais delicados que vivenciei até aqui, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte de minha formação, o meu muito obrigado.

Vencemos essa etapa!

## RESUMO

O aumento da demanda por água devido ao crescimento da população e, principalmente, à poluição ambiental, contribuiu para dificultar ainda mais o tratamento de água para abastecimento. No Brasil, várias regiões apresentam problemas com a presença de Ferro e Manganês na água, sendo este um dos problemas detectados na água utilizada no sistema de abastecimento de Campo Belo-MG. Neste contexto, objetivou-se avaliar a presença de Fe e Mn na água bruta e tratada do sistema de abastecimento no município de Campo Belo - MG e identificar a melhor técnica de remoção. Após análise da qualidade da água da Estação de Tratamento de Água (E.T.A Sul), foram investigados quatro artigos, a fim de avaliar qual melhor método atende à demanda de remoção de Fe e Mn. Os valores médios de Fe e Mn na água distribuída foram, respectivamente, 0,89 e 0,11 mg/L, sendo os máximos observados acima do padrão de potabilidade. Para resolver o problema, foram investigadas técnicas de remoção de Fe e Mn, a partir de ozonização mínima em pH neutro seguida de filtro de areia e carvão ativado, adição de Permanganato de Potássio (PP) com Alúmen de Potássio, além de PP seguido de filtração, uso de zeólitas com carvão ativado e filtração descendente com dupla camada utilizando Zeólita. Buscando evitar serviços qualificados como monitoramentos constantes de pH e concentrações na adição de químicos, menor investimento econômico, concluiu-se que a opção de camada dupla de Zeólita apresentada por Paz (2016) é a mais apta para ser utilizada no município pois, além de obter bons resultados na remoção de Ferro e Manganês, 96,17% e 100%, respectivamente, apresentam menos restrições de operação, é de fácil controle e implantação.

**Palavras-chaves:** Tratamento de água. Remoção de cor. Potabilidade.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

pH	Potencial hidrogeniônico
Mn	Manganês
Fe	Ferro
GM/MS	Gabinete do Ministro / Ministério da Saúde
SVS/MS	Secretaria de Vigilância em Saúde
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básicos
RSU	Resíduo sólido urbano
RDO	Resíduo domiciliar
RPU	Resíduo público
IQA	Índice de Qualidade das Águas
PNQA	Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas
VIGIAGUA	Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano
ETA	Estação de Tratamento de Água
DEMAE	Departamento Municipal de Água e Esgoto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
GD2	Rio Grande
DN	Deliberação Normativa
SMWW	Standard Methods for Examination of Water and Wastewater
NTU	Unidade de Nefelométrica de Turbidez
UC	Unidade de Cor
UFC	Unidade formadora de colônia
EPA	Environmental Protection Agency

POP	Procedimento Operacional Padrão
VMP COPAM	Valor máximo permitido pela COPAM
VMP MS	Valor máximo permitido pelo Ministério da Saúde
CAG	Carvão Ativado granular
MG	Minas Gerais
PP	Permanganato de Potássio
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
NBR	Norma Brasileira
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
UNT	Unidades Nefelométricas de Turbidez
UVC	Ultravioleta C
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
COPAM/CERH	Conselho Estadual de Política Ambiental/ Conselho Estadual de Recursos Hídricos
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>10</b>
<b>2.1. Objetivo Geral</b>	<b>10</b>
<b>2.2. Objetivos específicos</b>	<b>10</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>11</b>
<b>3.1 Saneamento básico</b>	<b>11</b>
<b>3.2. Tratamento de água para abastecimento</b>	<b>12</b>
<b>3.3. Qualidade de água e potabilidade</b>	<b>14</b>
<b>4. METODOLOGIA</b>	<b>17</b>
<b>4.1. Caracterização da área de estudo: Campo Belo, MG</b>	<b>17</b>
4.1.1. Sistema de abastecimento de água de Campo Belo, MG.....	18
4.1.2. Processo de tratamento da água.....	20
<b>4.2. Obtenção dos dados</b>	<b>20</b>
<b>4.3. Levantamento bibliográfico de técnicas para remoção de Fe e Mn</b>	<b>21</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>22</b>
<b>5.1. Qualidade da água de abastecimento de Campo Belo, MG</b>	<b>22</b>
<b>5.2. Alternativas para remoção de Fe e Mn na água de abastecimento</b>	<b>25</b>
<b>6 CONCLUSÃO</b>	<b>30</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>31</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural que possui valor econômico associado ao seu uso. Para garantir sua qualidade é preciso estratégias de controle baseadas em padrão de qualidade estipulados pelos órgãos ambientais e de saúde. De acordo com a Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, a água potável segue um padrão para se tornar apropriada ao consumo humano.

O atendimento ao padrão de potabilidade é imprescindível para evitar proliferação de doenças de veiculação hídrica e outros efeitos deletérios à saúde, como contaminação por bactérias, vírus e substâncias tóxicas dissolvidas, dos quais destacam-se os conjuntos de padrão microbiológicos, cianotoxinas, organolépticos, agrotóxicos, químicos orgânicos e inorgânicos. Dentre o padrão organolépticos, os quais causam alterações sensoriais, como o odor e/ou o paladar, o Ferro (Fe) e o Manganês (Mn) que são metais abundantes na natureza. Quando a água se infiltra nos solos e rochas, ocorre a solubilização desses elementos podendo estar presentes nas águas subterrâneas e superficiais. O excesso de Fe e Mn na água, embora não cause risco sanitário, pode causar manchas em tecidos, pias, utensílios sanitários, conferem sabor metálico à água, propiciam proliferação de bactérias ferruginosas, prejudicam processos industriais, provocam incrustações nas tubulações, dentre outros. Para evitar esses prejuízos, os valores máximos permitidos para Fe e Mn, de acordo com o Ministério da Saúde para água potável, são 2,4 e 0,4 mg/L, respectivamente, segundo a Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021.

O sistema de abastecimento do município de Campo Belo é provido de mananciais superficiais e subterrâneos, que apresentam altas concentrações de Fe e Mn, causando inconvenientes a dois distritos abastecidos: Porto dos Mendes e Comunidade dos Dias. Neste contexto, pretende-se avaliar as concentrações de Fe e Mn na água captada e tratada bem como investigar e sugerir técnicas para o tratamento da água com a finalidade de remoção de Fe e Mn.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Avaliar a presença de Fe e Mn e identificar as técnicas com base na simplicidade de operação em remoção na água bruta e tratada do sistema de abastecimento no município de Campo Belo - MG.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar a água bruta e tratada quanto a presença de Ferro e Manganês;
- Levantar diferentes técnicas de tratamentos de remoção de Ferro e Manganês, verificando sua eficiência com base na literatura atual, nacional e internacional;
- Sugerir alternativa simplificada para remoção eficiente de Fe e Mn no sistema de abastecimento do município.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Saneamento básico**

O termo saneamento básico é atribuído ao desenvolvimento socioeconômico e é dividido em quatro atividades: abastecimento de água potável, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo de águas pluviais, e esgotamento sanitário de uma determinada região. Um direito garantido pela Lei nº 11.445/2007, e alterada recentemente pela Lei 14.026/2020 (BRASIL, 2007; BRASIL, 2020).

O abastecimento de água é formado por um conjunto de infraestrutura, equipamentos e serviços que se dividem em cinco principais etapas, sendo elas: captação de água bruta, adução, tratamento (coagulação e/ou floculação, decantação, filtração, cloração e fluoretação), reservação e distribuição (Redes de distribuição, ramal domiciliar). Esse serviço atende aos consumos doméstico, industrial, comércio e serviço público. A qualidade e parâmetros que precisam ser seguidos são definidos pelo Ministério da Saúde, no Anexo XX da Portaria de Consolidação nº5/2020. Seu monitoramento é de responsabilidade das concessionárias e sistemas autônomos de água e esgoto e das Secretarias de Vigilância em Saúde (SVS/MS), envolvendo também as secretarias dos municípios e estados.

Após a água ser usada ao menos uma vez, elementos como matéria orgânica, nutrientes e resíduos irão ser incorporados, alterando suas características naturais. Cerca de 80% da água captada se torna efluente, provenientes de diversos usos, classificados como esgoto doméstico ou águas residuárias, segundo dados do SNIS (2019). Caso esse esgoto não seja tratado, poderá acarretar sérios problemas ambientais como o desequilíbrio no ecossistema aquático, além de afetar a saúde pública, causando doenças como cólera, disenteria, meningite, amebíase e hepatites A e B (ROCHA *et al.*, 2004).

O art. 3º, I, “c”, da Lei 11.445/2007 (alterado pela Lei 14.026/2020), apresenta a terceira categoria do saneamento básico como sendo a limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, os quais são considerados como os objetos, substâncias ou materiais, nos estados sólido ou semissólido, descartado decorrente de atividades humanas. O material/objeto que não tiver possibilidade de reaproveitamento é considerado rejeito, e deve ser levado à disposição final ambientalmente adequada. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela lei 12305/2010, classifica os resíduos sólidos em: resíduos domésticos,

resíduos originários de atividades comerciais, industriais e de serviços considerados urbanos, e resíduos vindo de serviços públicos de limpeza urbana (BRASIL, 2010).

Os serviços de gerenciamento de resíduos sólidos compreendem a coleta, transbordo, transporte, triagem para reciclagem, tratamento térmico, compostagem e disposição final. O serviço de drenagem e manejo de águas pluviais enquadra a quarta e última categoria do saneamento básico, o qual é composto pelas atividades: drenagem urbana, transporte de águas pluviais urbanas, detenção ou retenção de águas pluviais urbanas para amortecimento de vazões de cheias, além de tratamento e disposição final de águas pluviais urbanas (BRASIL, 2020). O mal funcionamento desse sistema acarreta consequências econômicas, sociais e de saúde. As principais ações que desencadeiam problemas nesse setor são a ocupação de áreas naturais, impermeabilização do solo, resíduos e esgoto não coletados.

As águas da chuva escoam pela superfície ou se infiltram no solo das bacias hidrográficas pela ação da gravidade. Em áreas urbanas impermeabilizadas é necessário um planejamento eficiente a fim de minimizar os impactos, principalmente os eventos hidrológicos extremos. As ações estruturais (intervenções físicas) e estruturantes (normas legais, educação, fiscalização e diretrizes) são medidas de controle, conforme orientações do manual Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (2006).

### **3.2. Tratamento de água para abastecimento**

Aproximadamente 70% da superfície terrestre encontra-se coberta por água. No entanto, a água doce representa apenas 3%, sendo a maior parte se concentra em geleiras. Em território brasileiro, localiza-se cerca de 12% da água doce de todo planeta, segundo dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2009), no entanto, a distribuição pelo país não é uniforme, sendo Sudeste com 45%, seguido do Nordeste 29%, Sul 14%, Centro-oeste 6% e Norte 6%.

O uso de água no Brasil é crescente, estimando seu aumento em aproximadamente 80% do total, nos últimos vinte anos. É previsto que essa retirada tenha um aumento em 24% até o ano de 2030. Este aumento no uso de água no país está relacionado ao desenvolvimento econômico e processo de urbanização (BRASIL, 2019).

Além das restrições quantitativas para o acesso à água, sua qualidade vem sendo comprometida por fontes de poluição difusa e pontual, tais como lançamento de esgoto sanitário ou de efluentes industriais, percolação de agrotóxicos no solo provenientes de campos agrícolas, o aporte de nutrientes em córregos e rios por meio da drenagem urbana. Como resultado, o nível de oxigênio dissolvido diminui pela decomposição da matéria orgânica e oxidação de elementos reduzidos, processos de eutrofização por enriquecimento do meio com nutrientes são acelerados, ocorre alterações no pH e, portanto, na toxicidade da água, devido à presença de substâncias químicas deletérias (VON SPERLING,2014).

Diante desse cenário, para garantir o uso seguro da água, o sistema de abastecimento corresponde ao conjunto de obras, serviços e equipamentos com o objetivo de tratá-la para consumo humano. Podendo atender pequenos povoados ou grandes capitais, diferenciando em suas características e no porte de suas instalações. Para consumo humano, a água deve passar por adequações, a fim de reduzir impurezas prejudiciais à saúde humana, objetivando assim a melhoria na qualidade natural da água sob aspectos sanitários e econômicos.

Dentro do aspecto sanitário, a água tem influência decisiva sobre o controle e prevenção de doenças, hábitos higiênicos, limpeza em geral, serviços de práticas esportivas e recreativas. Na economia, haverá aumento da vida média da população, redução da mortalidade infantil, dentre outros (EDUARDO, MARIA, 1998). A água não tratada é veículo para doenças como cólera, disenteria, amebíase, etc. Para ser própria para consumo, é necessário ser tratada e atender alguns requisitos de potabilidade.

O ciclo de abastecimento de água é formado por cinco principais etapas, sendo elas: captação de água bruta, adução, tratamento, reservação e sua distribuição. Todo processo é necessário para adequar ao padrão de qualidade exigidos pelo Ministério da Saúde (Anexo XX da Portaria de Consolidação nº5/2020), a fim de garantir qualidade de vida da população.

Geralmente, a população dos municípios é atendida pelo tratamento de ciclo completo, o qual compreende as etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. Em casos de baixa turbidez (menor que 20 UNT), apenas a etapa de filtração seguida de desinfecção pode ser suficiente e em situações de captação subterrânea com turbidez menor que 5 UNT, necessita-se apenas de desinfecção.

A coagulação tem como objetivo a desestabilização das partículas coloidais no início do tratamento, por meio de adição de produto químico, de carga positiva, tornando as impurezas em suspensão, possíveis de se aproximar para serem removidas nas etapas

seguintes. Esses colóides têm forças interfaciais e inerciais, relevantes para a estabilidade, dando a água a característica turva. (RICHTER, 2009).

Após processo de coagulação, a floculação fará a aglomeração das partículas, por agitação lenta por 20 a 30 minutos, a fim de promover choque e aumento dos flocos. Esse processo acontece com intensidade baixa, diferente da anterior, para evitar quebrar os flocos gerados (RICHTER, 2009).

A etapa seguinte é caracterizada pela decantação, onde há a separação dos sólidos formados anteriormente, por meio da gravidade. Os sólidos irão sedimentar no fundo do decantador, gerando lodo, dando sequência ao tratamento com efluente livre das partículas presentes (BRASIL, 2014).

As partículas remanescentes da decantação são eliminadas na filtração, na qual acontece a última etapa para remover todo material suspenso da água em meio poroso. Obtendo sucesso na etapa de sedimentação, a filtração ocorre de forma mais satisfatória (BRASIL, 2014). O último processo se dá por meio da desinfecção, na qual ocorre a inativação dos microrganismos patogênicos pela adição de produtos químicos como o cloro, ozônio ou radiação UVC (BRASIL, 2014).

### **3.3. Qualidade de água e potabilidade**

É determinado um padrão para caracterizar a água como apropriada para consumo, o de potabilidade. Suas características físicas, químicas e biológicas estão relacionadas a um conjunto de processos que podem ocorrer no corpo hídrico e sua área de drenagem.

A água, além de ser formada pelos elementos de hidrogênio e oxigênio, na proporção 2:1 (dois para um), pode dissolver diversas substâncias. Essas substâncias dissolvidas (partículas presentes no meio da massa líquida) são transportadas pelo corpo hídrico, mudando sua posição e então proporcionando um meio dinâmico em termos de tempo e espaço.

A qualidade da água é definida pelas Resoluções CONAMA 357/05 para recurso hídrico superficial, com base em seu uso preponderante (BRASIL, 2005), CONAMA 396/08 para águas subterrâneas, 430/2011 para lançamento de esgoto e potabilidade na Portaria de Consolidação GM/MS nº 888 de 4 de maio de 2021 para água de consumo. Os Quadros 1 e 2

apresentam algumas das variáveis físicas, químicas e biológicas para caracterização da qualidade da água para consumo humano.

Quadro 1: Variáveis físicas e químicas de qualidade de água

<b>Variável</b>	<b>Definição e importância</b>
Cloro residual	O Cloro é um produto químico usado para desinfecção da água filtrada e evitar a contaminação da água durante seu percurso até o consumidor. Mantemos um residual máximo de 2mg/l na saída do tratamento e mínimo de 0,5 mg/l na rede de distribuição
Potencial Hidrogeniônico (pH)	O potencial de Hidrogênio é utilizado para controlar a agressividade da água que provoca corrosão nas tubulações e superfícies de contato estando ácida e incrustações estando alcalina. O ideal é manter o pH neutro (próximo de 7) que não gera gosto e não agride as estruturas de contato.
Cor	A cor resulta de substâncias dissolvidas na água que é acentuada quando há presença de matéria orgânica e minerais como Ferro e Manganês, o que gera incrustações na canalização. Para resolver este problema utilizamos o Ortopolifosfato de Sódio na água após a filtração que é um complexante de metais.
Turbidez	A turbidez é devida à existência de partículas dispersas na água podendo deixá-la com aparência turva. Este parâmetro além de ser um indicador de qualidade da água tratada é também referência na dosagem de coagulantes no tratamento da água bruta.
Fluoreto	O Flúor auxilia na prevenção da cárie dentária e formação óssea em crianças. A concentração adequada do íon fluoreto na água resulta em proteção do esmalte dos dentes, porém seu excesso traz graves malefícios. O valor ideal de Flúor na água depende da temperatura média anual da localidade. No caso de nosso município uma concentração ótima segundo à legislação específica do Flúor deve ser mínima de 0,6 mg/L e máxima 0,8 mg/L.

Fonte: Companhia Ambiental Do Estado De São Paulo - CETESB (2017).

Quadro 2 Variáveis microbiológicas de qualidade de água

<b>Variável</b>	<b>Definição e importância</b>
Coliformes Totais	É um parâmetro utilizado como indicador de contaminação por micro-organismos de origem animal, do solo ou de plantas. Por isso serve apenas para avaliar a eficiência e detectar falhas no processo de tratamento da água. Utiliza-se este parâmetro para o controle sanitário da água tratada e distribuída.

Coliformes Termotolerantes	Dentro desse grupo é adotado preferencialmente a análise da presença da Escherichia Coli. A origem fecal da E. Coli é inquestionável e é por isso, o indicador mais seguro de contaminação por micro-organismos de origem animal que podem ser patogênicos. Adota-se esse parâmetro para o controle a agentes patógenos que possam contaminar a água nos poços tubulares profundos e na rede de distribuição.
----------------------------	---

Fonte: BRASIL (2011)

O cumprimento do padrão ditados pela atual Portaria, garantem a qualidade da água de acordo com sua finalidade. No artigo 3 dessa mesma portaria, é dito que a qualidade de toda água destinada ao consumo humano deve ser objeto de controle e vigilância. É de responsabilidade dos estados e municípios desenvolver e executar as ações necessárias especificadas pelo Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (VIGIAGUA), assim como implementar as orientações de vigilância da qualidade da água para consumo humano definidas em âmbito nacional (BRASIL, 2011).

O Ferro é um dos elementos mais abundantes. Existe em duas formas:  $Fe^{2+}$  e  $Fe^{3+}$ . O  $Fe^{2+}$  é encontrado em águas de poços e em águas com baixos níveis de oxigênio dissolvido. O Ferro dissolvido em água é derivado naturalmente de solos e rochas. Também pode resultar da ação corrosiva da água no Ferro ou aço desprotegido de tubos e tanques. As águas superficiais também podem conter ocasionalmente quantidades apreciáveis de Ferro proveniente de resíduos industriais e escoamento de ácido das operações de mineração. Ferro no abastecimento de água causa problemas estéticos e de operação, como mau gosto e cor, coloração e deposição no sistema de distribuição de água levando a alta turbidez (PIVELI, 2004).

Já o Manganês cria problemas no abastecimento de água semelhantes aos causados pelo Ferro. Ele existe em solos principalmente como dióxido de Manganês é encontrado nas formas  $Mn^{2+}$  e  $Mn^{4+}$ . O Manganês é muito menos abundante na natureza do que o Ferro, portanto, é encontrado com menos frequência e suprimentos de água e está presente em concentrações mais baixas (PIVELI, 2004).

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. Caracterização da área de estudo: Campo Belo, MG

Campo Belo é um município na região oeste do estado de Minas Gerais, com coordenadas geográficas, latitude: 20° 51' 57" Sul, longitude: 45° 16' 24" Oeste. Segundo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), sua população é estimada em 54.338 para esse ano, densidade demográfica de 97,58 hab./km<sup>2</sup> (2010), com unidade territorial de 528,225 km<sup>2</sup> (2020), e esgotamento sanitário cobrindo 94,5% da população (2010) (Figura 1).

Figura 1 – Imagem do município de Campo Belo - MG extraída do Google Earth



Fonte: Google Earth (2021)

O município apresenta 94,5% de domicílios com esgotamento sanitário adequado, 36,7% de domicílios urbanos em vias públicas com arborização e 18,9% de domicílios urbanos em vias públicas com urbanização adequada (presença de bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio). Quando comparado com os outros municípios do estado, fica na posição 29 de 853, 670 de 853 e 460 de 853, segundo dados do IBGE em 2010.

A bacia hidrográfica que contempla o abastecimento da cidade é a GD2- Rio Grande, com área de 10.540 km<sup>2</sup>, segundo dados do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM, 2010).

#### 4.1.1. Sistema de abastecimento de água de Campo Belo, MG

O Departamento Municipal de Água e Esgoto - DEMAÉ é uma autarquia da administração indireta, que tem como responsabilidade: operar, manter, conservar e explorar, diretamente e com exclusividades, os serviços públicos de água potável e esgotos sanitários de Campo Belo.

No município existem três pontos de captação que alimentam o sistema de abastecimento de água. São chamados de “Ribeirão Parreira”, “Ribeirão do Bugre” e “Ribeirão São João”, além de dois poços artesianos nas zonas rurais, em cada um dos distritos pertencentes a Campo Belo.

A captação do “Ribeirão do Bugre” e o “Ribeirão Parreira” é diretamente do manancial, tipo superficial, que juntas fazem o abastecimento de água na Estação de Tratamento de Água (E.T.A) Sul. As duas captações contemplam parcialmente o município, localizadas próximas à estação de tratamento, arborizadas e bem preservadas como pode ser visto na Figura 2. A E.T.A Sul, objeto deste estudo, é localizada na zona rural do município, latitude 20°55'57.08"S, longitude 45° 17' 36.26"O (Figura 2).

Figura 2 - Localização da Estação de Tratamento de Água - Sul



Fonte: Google Earth (2021).

O abastecimento da E.T.A Sul é contemplado a partir de duas captações, chamadas “Ribeirão do Bugre” e “Ribeirão Parreira”. Ambas captações se encontram próximas à estação de tratamento, localidade rural do município (figuras 3 e 4).

Figura 3 - Captação Ribeirão do Bugre - Campo Belo - MG



Fonte: Departamento Municipal de Água e Esgoto - DEMAE (2021).

Figura 4 - Captação Ribeirão Parreira - Campo Belo - MG



Fonte: Departamento responsável pela Estação de Tratamento - DEMAE (2021).

A água tratada vem principalmente do Ribeirão do Bugre em meio à crise da água que já vem ocorrendo nos últimos anos tem-se utilizado também o Ribeirão Parreira em

complementação à baixa vazão do Bugre nos períodos de seca. O volume diário produzido é de aproximadamente 10.000 m<sup>3</sup>, operando 24 horas ininterruptas segundo DEMAE (2017).

Principais informações das adutoras de água bruta e tratada da E.T.A Sul, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Informações das adutoras de água bruta e tratada da E.T.A Sul

<b>Adutora</b>	<b>Extensão o (metros)</b>	<b>Diâmetro (milímetros)</b>	<b>Material</b>	<b>Ano</b>
Adutora de água bruta do Ribeirão do Bugre	80	300	Ferro Fundido	1967
Adutora de água bruta do Ribeirão	180	300/200	Ferro Fundido	1982
Adutora de água tratada E.T.A Sul	1.720	350	Ferro Fundido	1967

Fonte: Sistema Operacional de Água e Esgoto – SAAE (2017).

#### 4.1.2. Processo de tratamento da água

A água bruta que é aduzida para a E.T.A passa pela calha Parshall onde é feita a aplicação do coagulante Policloreto de Alumínio e o alcalinizante Hidróxido de Cálcio. Ao sair do tanque de mistura rápida, passa pelos floculadores, que são duas séries de sete câmaras interligadas, através de canais no formato chicana horizontal, ocorrendo a formação de flocos maiores. A água floculada passa para o decantador, a fim de sedimentar os flocos formados. Após ser decantada, é colhida pelas canaletas, escoando para os filtros com carvão ativado onde fica retido o restante dos sólidos que não foram sedimentados na etapa anterior. E então depois da filtração, a água recebe o cloro para desinfecção, garantindo a inativação dos microrganismos e a potabilidade da água até seu consumo final. A aplicação de flúor se dá por último, com a finalidade de prevenir formação de cárie dentária, principalmente na população infantil. Assim que o tratamento é finalizado, a água é conduzida até os reservatórios nas estações, e distribuída para a população.

A ETA possui um laboratório onde a aplicação dos produtos é monitorada por meio de análises periódicas em intervalos de 2 horas entre uma análise e outra. Com a finalidade de

avaliar a qualidade da água quanto ao aspecto bacteriológico, são realizadas coletas na saída do tratamento, nos reservatórios e em vários pontos da rede de distribuição. As amostras são coletadas com frequência e quantidade definidas pela Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021 e encaminhadas para laboratórios terceirizados. Os laboratórios realizam as análises físicas, químicas e bacteriológicas.

#### **4.2. Obtenção dos dados**

Os dados trabalhados foram disponibilizados pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto - DEMAE, autarquia responsável pelo tratamento de água em Campo Belo-MG. Os relatórios de ensaio da água bruta e tratada elaborados por um laboratório terceirizado, são dos últimos 5 anos (2016-2021), da estação de tratamento sul.

Quanto ao padrão físico e químico, são feitas amostragens trimestrais na saída do tratamento e nos poços tubulares profundos em épocas de chuvas e de estiagem para análise do padrão estabelecido pela Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. No sistema de distribuição, rede e reservatórios são feitas análises trimestrais para o controle de trihalometanos totais.

Além das medidas de controle de qualidade da água tratada, há rigorosa vigilância de controle de qualidade da água bruta visando avaliar a compatibilidade entre as características da água e o tipo de tratamento existente em conformidade com a Portaria GM/MS nº 888, no seu artigo 40. A análise é feita com frequência semestral para os parâmetros da Resolução 357 do CONAMA para Classe II – Água Doce, que estabelece condições e padrão de qualidade da água bruta em função do seu uso (abastecimento público após tratamento convencional). Mensalmente é colhida uma amostra no ponto de captação para análise de coliformes termotolerantes adotando-se a presença de *Escherichia Coli* como representante do grupo.

As análises consideradas neste estudo foram turbidez, cor verdadeira, ferro dissolvido manganês total, conforme metodologias Standard Methods (APHA, 2005) e nas frequências e locais indicados no Quadro 3, com um total de 11 amostras analisadas.

Quadro 3 - Variáveis de qualidade de água analisadas pelo município de Campo Belo, MG e consideradas neste estudo

<b>Variável</b>	<b>Método de análise</b>	<b>Frequência de</b>	<b>Local de coleta</b>
-----------------	--------------------------	----------------------	------------------------

		<b>coleta</b>	
Turbidez	SMWW 2130 B	A cada duas horas	Água bruta e água tratada
Cor Verdadeira	SMWW 2120 B	A cada duas horas	Água bruta e água tratada
Ferro Dissolvido	SMWW 3120 B	Duas vezes ao ano	Água bruta e água tratada
Manganês Total	SMWW 3120 B	Duas vezes ao ano	Água bruta e água tratada

SMWW: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater - 22 th Edition 2012.

Fonte: Departamento Municipal de Água e Esgoto - DEMA E (2021).

#### **4.3. Levantamento bibliográfico de técnicas para remoção de Fe e Mn**

Para esta pesquisa foram utilizadas as bases de consulta Scielo, Google Acadêmico e Portal de periódicos da Capes. As palavras chave usadas para a pesquisa foram: remoção de Ferro (Fe) e Manganês (Mn), em inglês, *Iron manganese removal*, *Water supply*, *manganese iron removal*, e *drinking water*. Utilizou-se artigos dos últimos cinco anos, em inglês e português, dos quais foram encontrados 18 artigos sobre o assunto e selecionados para estudo quatro artigos com intuito de sugerir um tratamento mais simplista em sua operação para o abastecimento de água no município.

Dos 18 artigos encontrados sobre o assunto, são referentes aos anos de 1997 até 2020. Sendo encontrados 1 artigo nos anos 1997, 2004, 2007, 2012, 2015 e 2019; 2 artigos no ano de 2014, 3 em 2016 e 2017 e finalizando com 4 artigos de 2020. Dentre os tipos de remoção estudados, 33,33% são sobre oxidação, 16,67% aeração, 11,11% precipitação química e 38,89% adsorção.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Qualidade da água de abastecimento de Campo Belo, MG

A Tabela 2 apresenta os resultados referentes às análises de qualidade da água bruta e tratada do DEMAÉ nos últimos cinco anos e a Tabela 3 diz respeito à água tratada. Percebe-se que as concentrações de cor e turbidez na água bruta estão abaixo dos valores máximos permitidos pela Resolução COPAM/CERH 01 (MINAS GERAIS, 2008), diferentemente do Ferro e do Manganês, que ultrapassam o padrão para águas de classe 2, destinadas ao abastecimento humano após tratamento convencional. O Fe apresenta seu valor médio em 196% acima do permitido, e em 10% com relação ao Mn. A Presença de Fe e Mn no solo da região pode ser responsável pela contaminação observada, assim como apresentado por Reis (2015, p.18),

Os principais fatores que levam a formação de um depósito supergênico de Mn são a presença de clima tropical úmido e o conteúdo de Mn na rocha fonte. A variação constante no nível freático somada a abundante cobertura vegetal e soluções húmicas levemente ácidas, favorecem a dissolução e precipitação dos compostos. O predomínio de processos intempéricos químicos, em clima tropical, torna economicamente viável uma série de depósitos minerais como de Ferro, Níquel e Manganês.

Que pode ocorrer devido a fatores externos como chuva e movimentação de terra devido às obras realizadas às margens das lagoas de captação, entre outros.

Tabela 2 - Qualidade da água bruta em Campo Belo, MG

Variável	Unidade	Valor médio	Desvio Padrão	Valor Máximo	VMP COPAM 01 (Classe2)
Cor	UC	22,31	24,60	70,00	75,00
Turbidez	NTU	15,26	15,16	47,50	100,00
Ferro	mg/l	0,89	0,88	2,85	0,30
Manganês	mg/l	0,11	0,11	0,38	0,10
pH	-	7,25	0,80	8,58	6 - 9

VMP COPAM Valor máximo permitido pela COPAM  
Fonte: Da autora (2021)

Tabela 3 - Qualidade da água tratada em Campo Belo, MG

Variável	Unidade	Valor médio	Desvio padrão	Valor máximo	VMP Potabilidade
Cor	UC	2,89	0,34	3,00	15,00
Turbidez	NTU	1,13	1,32	4,72	5,00
Ferro	mg/L	0,11	0,05	0,25	0,30
Manganês	mg/L	0,08	0,16	0,55	0,10
pH	-	7,21	0,64	7,94	6 - 9,5

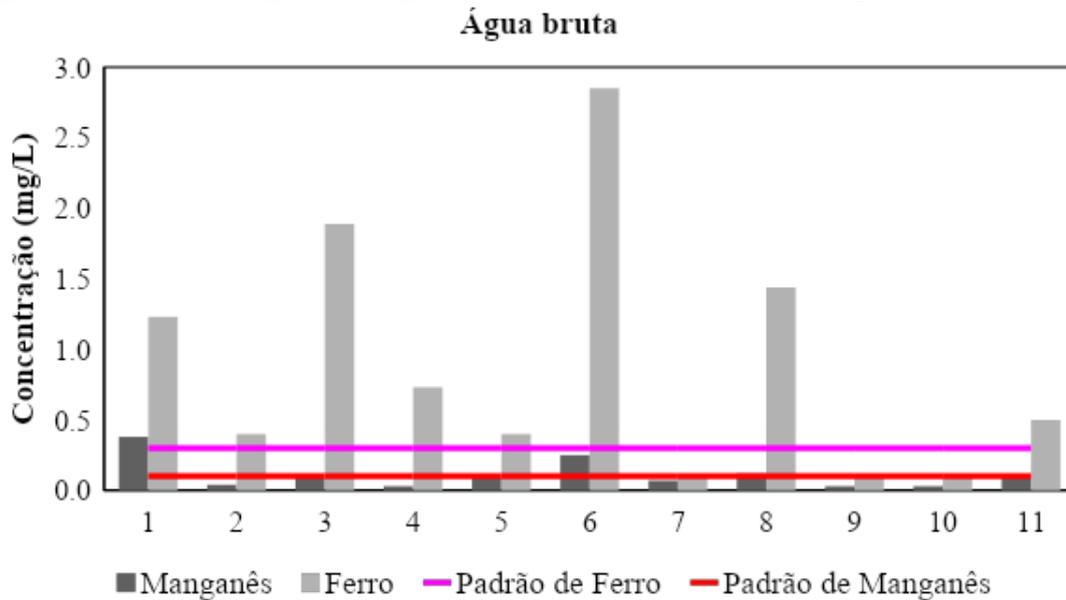
VMP Potabilidade: Valor máximo permitido pelo Ministério da Saúde  
Fonte: Da Autora (2021)

Nota-se a cor e turbidez na água tratada se apresentam dentro do padrão de potabilidade exigidos pelo Ministério da Saúde na Portaria GM/MS nº 888 (BRASIL, 2021). Após o tratamento da água, observa-se remoção de 88 % de Fe, suficiente para alcançar o padrão de potabilidade mesmo em seu valor máximo observado. No entanto, embora a concentração de Mn da água bruta tenha sido menor que a concentração de Fe, a eficiência de remoção de Mn foi apenas de 27 %, resultando em valor máximo acima do exigido pelo Ministério da Saúde e indicando que os processos de clarificação e filtração presentes na ETA não foram suficientes para sua remoção abaixo do padrão de potabilidade. O filtro utilizado na ETA possui meio filtrante constituído de carvão ativado, o qual não promove remoção suficiente de Mn. Diversos estudos que apresentam técnicas de remoção de Fe e Mn apresentam maiores eficiências de remoção de Fe, com relação ao Manganês, provavelmente devido ao menor raio iônico hidratado do Fe, quando comparado ao Mn, uma vez que a oxidação por permanganato de potássio (PP), seguida de filtração, oferece a taxa de remoção de 100% de Fe e 90% de Mn (ELSHEIKH *et al.*, 2017).

As Figuras 5 e 6 apresentam os valores médios das concentrações de Fe e Mn, dos últimos cinco anos, iniciando a partir do primeiro semestre de 2016, até a última amostragem disponível de 2021. Observa-se maior índice de Ferro nos períodos de chuva (segundo semestre do ano), indicando que sua presença na água pode ter como fonte o arraste do metal

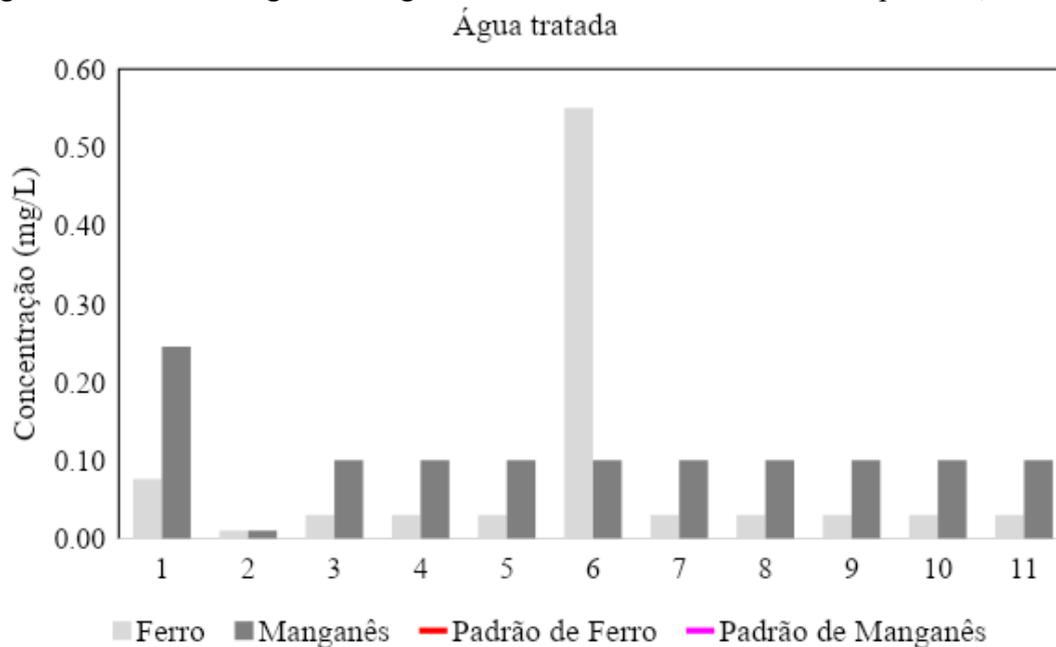
presente no solo. Percebe-se ainda o decréscimo de sua concentração a partir de 2018, provavelmente devido às ações de preservação da área de drenagem do ponto de captação. A variação da concentração de Manganês é menor, em comparação ao Ferro, mas apresenta-se acima do padrão em 3 monitoramentos.

Figura 5 - Ferro e Manganês da água bruta de abastecimento de Campo Belo, MG



Fonte: Da autora (2021)

Figura 6 - Ferro e Manganês da água tratada de abastecimento de Campo Belo, MG



Fonte: Da autora (2021).

Mesmo após o tratamento da água, observa-se concentrações de Fe e Mn acima do padrão de potabilidade nos anos de 2016 e 2018, respectivamente, com um total de 11 amostras, diferente dos outros anos, quando o padrão de potabilidade foi atendido. Nestes anos, as concentrações de Fe e Mn na água bruta foram as mais altas do período observado, com a redução destes valores nos anos seguintes, a ETA foi capaz de atingir o padrão de potabilidade.

Neste contexto, ressalta-se que a preservação ambiental da área de drenagem do ponto de captação pode ser um método eficiente para resolver o problema no município. A presença de Fe e Mn na água de abastecimento pode causar inconvenientes como odor, cor, turbidez e consumo do oxigênio dissolvido pelos organismos decompositores (FUNASA, 2014).

## **5.2. Alternativas para remoção de Fe e Mn na água de abastecimento**

Nesta seção serão discutidas pesquisas e alternativas para a remoção de Ferro e Manganês da água para abastecimento. Para tanto, foram levantados os estudos de Elsheikh *et al.* (2017), Paz (2016), Souza *et al.* (2017) e Emboaba *et al.* (2019) (Quadro 4).

Emboaba *et al.* (2019), avaliaram soluções preparadas a partir da dosagem de água destilada com volumes variados de soluções de sulfato ferroso e sulfato manganoso de modo que atingissem as concentrações de 1 mg/L  $Fe^{+4}$  e Mn para a amostra A, e de 3 mg/L de Fe e Mn para a amostra B. As amostras foram submetidas à oxidação por ozônio, nesse processo observou-se que o melhor tratamento ocorre sob condições de pH neutro e produção mínima de ozônio (3 g/h); Entretanto, observou-se que este oxidante é eficiente mesmo para o tratamento de águas com elevadas concentrações de Fe e Mn solúveis, ocorrendo simultaneamente. Em seguida, foram submetidas a filtração direta de fluxo descendente em filtros de laboratório nas condições de 15 cm de espessura de camada filtrante, vazão de filtração da ordem de 12 a 20 ml /min e tempo médio de filtração de 20 minutos, na qual foram avaliados dois tipos diferentes de material filtrante: areia e carvão ativado.

De acordo com os resultados analisados, observou-se que o tratamento Ozonificação seguido de Filtração foi mais efetivo para a amostra B, pois para eficiência de remoção e os valores residuais de qualquer das variáveis avaliados foram, respectivamente, superiores e

inferiores aos da amostra A, o que ocorreu tanto para o filtro de areia e o de CAG (carvão ativado granular).

Avaliando os resultados da amostra B averiguou-se que, em ambos os filtros ocorreu a remoção de 100 % da concentração de Ferro presente. Enquanto que, para o Mn também presente na amostra, foram alcançadas com a utilização do filtro de areia e de CAG, remoções de 92% e 98%. Observou-se que, mesmo ocorrendo diminuição da concentração de Mn para todos os tipos de filtros, houve residual deste parâmetro em todos os casos. Desta forma, notou-se que, ambos os filtros testados atenderam ao VMP (valor máximo permitido) pela Portaria GM/MS nº888 de maio de 2021 em termos da concentração de Ferro; mas em relação à remoção do Manganês, o atendimento à legislação só foi conseguido quando a amostra foi filtrada em CAG.

Quadro 4: Revisão bibliográfica sobre a remoção de Fe e Mn nas águas

Técnica de remoção	Eficiência de remoção de Fe	Eficiência de remoção de Mn	Observações	Autores
Oxidação por permanganato de potássio (PP) seguida de filtração.	100%	90%	Utilizando tratamento convencional que consiste em floculação, sedimentação e filtração. Em pH= 7,0. Tempo de retenção de 20 minutos. Metade da dose teórica exigida em pH 7.	Elsheikh <i>et al.</i> (2017)
Oxidação por Permanganato de Potássio e Alúmen de Potássio (KAl(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> )	100%	95%	Utilizando tratamento convencional, e pH =10,0	
Filtro a gravidade, com filtração descendente, ação de profundidade e dupla camada, utilizando zeólita.	96,17%	100%	Zeólita WATERCEL-ZF 0410 como material de segunda camada	Paz (2016)
Adição de zeólitas no filtro com carvão ativado Em pH médio de 7,0 e 7,7	88,19%	93,94%	Granulometria Carvão ativado 2,4 a 2,9 (mm) zeólita 0,4 a 1,0 (mm)	Souza <i>et al.</i> (2017)
Ozonização em pH neutro com produção mínima de ozônio no filtro de areia e carvão ativado.	99%	98%	3 mg/L de Fe e 4 mg/L de Mn Produção mínima de ozônio 3 g/h	Emboaba <i>et al.</i> (2019)

Fonte: Da autora (2021).

Souza *et.al* (2017) avaliaram a eficiência de diferentes materiais filtrantes (areia, carvão ativado granular e zeólitas) na remoção de Fe e Mn em água. A filtração adsorptiva apresenta vantagens, como menor produção de lodo, sua capacidade de atuar com variações na concentração dos poluentes, apresentar possibilidade de regeneração do adsorvente, ser econômica em termos operacionais e apresentar maior eficiência, por permitir a remoção de cátions metálicos ainda que complexados e em baixas concentrações (COSTA, 1998; KATSOYIANNIS; ZOUBOULIS, 2002; MADEIRA, 2003).

Para o experimento em questão, foram coletadas amostras de água na ETA, que, originalmente, apresentava concentrações nulas de Fe e baixas de Mn (0,06 mg/L). Assim, esses metais foram adicionados à amostra, por meio de soluções de sulfato ferroso e sulfato de Manganês, alcançando concentrações de aproximadamente 3,2 mg/L para Fe<sup>2+</sup> e 0,8 mg/L para Mn.

De acordo com os resultados obtidos em escala de bancada, verificou-se que o ensaio com CAG na maior dosagem de coagulante (Cloreto de Polialumínio – PAC) (24 mg/L), obteve a melhor eficiência na remoção de Manganês, atendendo à Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/2011 em relação a esse parâmetro.

Já no experimento de Elsheikh *et al.* (2019) analisou-se a eficiência de remoção de Ferro (Fe) e Manganês (Mn) de águas subterrâneas por oxidação utilizando permanganato de potássio (PP), seguida de filtração com alúmen ou combinação de PP/Alúmen, acompanhado pelo tratamento convencional de floculação, sedimentação e filtração.

Desta forma, foi observado que usando tratamento convencional com adição de Alúmen, floculação, sedimentação e filtração poderiam remover até 97% e 18% de Ferro e Manganês, respectivamente.

O uso de PP, foi considerado uma boa seleção para o processo de remoção de Ferro e Manganês. Os experimentos mostraram que, o uso de dosagens próximas à metade da dose teórica exigida em pH = 7,0 e tempo de retenção de 20 minutos podem remover completamente o Ferro e 90% do Manganês. No entanto, a dose aplicada deve ser determinada com muita precisão para evitar a coloração da água.

Entretanto, foi observado que, o uso da sedimentação é necessário quando as concentrações combinadas de Ferro e Manganês excedem 5,0 mg/L para permitir períodos de filtração mais longos. Apesar disso, o uso de sulfato de alumínio com sedimentação não pode remover a alta proporção de Manganês. Enquanto que, o uso de PP + alúmen aumenta a

remoção do Manganês, mas diminui a remoção do Ferro. No entanto, o uso de Alúmen com aumento do pH para 10 pode aumentar para 100% e 95% a remoção de Fe e Mn e elevar o período da carreira de filtração.

Paz (2016), avaliou-se a eficiência de remoção de Ferro (Fe) e Manganês (Mn), utilizando a filtração adsortiva em relação à filtração convencional, com utilização uma Zeólita natural como material de segunda camada, em uma unidade piloto com tipologia construtiva e operacional semelhante de um filtro rápido descendente e a gravidade.

Como material adsorvente foi selecionado a Zeólita WATERCELL-ZF-0410, comercialmente disponível, clinoptilotita proveniente de Cuba, por possuir características físicas semelhantes à do carvão antracito. A água bruta utilizada era afluenta da ETA - Iapó, pois apresenta concentrações de Ferro e Manganês acima dos valores máximos permitidos para o padrão de potabilidade, indicados na Portaria Federal do Ministério da Saúde nº 2914/2011.

Para tanto, quatro ensaios foram analisados, antes e após o processo de filtração. Na análise da água bruta, foram encontrados valores médios de 1,31 mg/L, 1,24 mg/L, 1,08 mg/L e 1,27 mg/L para o Ferro total, com uma média de pico de 1,47 mg/L e mínimo de 0,49 mg/L. E os valores médios de 0,28 mg/L, 0,21 mg/L, 1,08 mg/L e 0,28 mg/L para o Manganês, com uma média de pico de 0,33 mg/L e mínimo de 0,05 mg/L.

Os processos de filtração em filtro piloto apresentaram eficiência média de 96,17% para remoção de Ferro. E eficiência média de 100% para remoção de Manganês presente na água bruta. Todos os ensaios atenderam os valores médios e máximos abaixo do valor máximo permitido (VMP) de 0,30 mg/L, indicado pela Portaria Federal do Ministério da Saúde n.º 2914/2011, para água filtrada por filtração rápida.

Com base nos estudos apresentados, a utilização de Zeólita no filtro, apresentada por Paz (2016), é a melhor opção de tratamento para o município diante dos outros estudos em questão. Apesar do material apresentar um valor de mercado considerado alto (ZEÓLITA OXTECH ZT (0,4 a 1,2 mm) - saco 25kg no valor de 259,90, pela empresa Era Ambiental), ainda é um investimento menor do que a opção da ozonização seguida de filtração, estudada por Emboaba *et al.* (2019). Além de não ser necessário um monitoramento rigoroso sobre o pH como no caso apresentado por Elsheikh *et al.* (2017), possuindo menos restrições de uso.

## **6 CONCLUSÃO**

A partir deste estudo, verificou-se altas concentrações de Fe e Mn no sistema de abastecimento de água da cidade de Campo Belo - MG acima do padrão de potabilidade, em duas situações, o que pode causar inconvenientes aos habitantes. Observou-se que em períodos de chuva o aporte de Fe e Mn à água bruta é maior e que vem diminuindo ao longo dos anos, considerando que a fonte está no solo da área de drenagem e que sua preservação pode ser uma solução para o problema.

Mediante a análise comparativa de pesquisas atuais sobre a eficiência de remoção de íons de Ferro e Manganês na água, foi possível identificar que a remoção realizada por meio da filtração adsortiva com utilização de Zeólita natural pode ser considerada a melhor opção a ser adotada pelo sistema de abastecimento do município.

Sugere-se, portanto, que sejam realizados ensaios de sorção em laboratório para avaliação da remoção de Fe e Mn da água bruta de Campo Belo, MG em zeólita.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 10.004. **Resíduos sólidos** – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004, 71 p.

APHA. **American Public Health Association**. Disponível em:  
<<https://www.standardmethods.org/>> Acesso em: 07 nov. 2021.

BRASIL. Diário Oficial da União. **Vigilância e Controle da Qualidade da Água Para Consumo Humano**. Portaria GM/MS N888. Brasília, 2021.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 11.445/2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em:  
<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm)>. Acesso em: 11 nov. 2021.

\_\_\_\_\_. **Lei 14.026/2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Disponível em: <  
[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm)>. Acesso em: 11 nov. 2021.

\_\_\_\_\_. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**. 2019. Disponível em:  
<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/sistema-nacional-de-informacoes-sobre-saneamento>. Acesso em: 11 nov. 2021.

\_\_\_\_\_. **Lei 12305/2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em:  
[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm). Acesso em: 11 nov. 2021.

\_\_\_\_\_. **Lei 11445**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. (Redação pela Lei nº 14.026, de 2020). Disponível em:<  
[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm)>. Acesso em: 16 out. 2021.

\_\_\_\_\_. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002**. (2002). Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília: Diário Oficial da União, 2002.

\_\_\_\_\_. **Portaria de consolidação n.5. 2017**. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Disponível em:  
<https://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/29/PRC-5-Portaria-de-Consolidacao-n-5-de-28-de-setembro-de-2017.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2021.

\_\_\_\_\_. **Importância da água.** Agência Nacional de Águas. Disponível em< [https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/fatosetendencias/edicao\\_2.pdf](https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/fatosetendencias/edicao_2.pdf)> Acesso em: 19 out. 2021.

\_\_\_\_\_. **O ciclo da água.** Agência Nacional de Nacional de Águas e Saneamento Básico. Disponível em< <http://conjuntura.ana.gov.br/cicloagua>> Acesso em: 18 out. 2021.

\_\_\_\_\_. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos.** Brasília, DF: ANA, 2019. Disponível em: [http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura\\_informe\\_anual\\_2019-versao\\_web-0212-1.pdf](http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura_informe_anual_2019-versao_web-0212-1.pdf). Acesso em: 28 ago. 2021.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos.

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2.914, 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.

COSTA, C. A. **Sorção de Íons Cobre, Níquel e Zinco com o Rejeito do beneficiamento de Carvões e outros Materiais Alternativos.** 1998. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciências: Engenharia de Minas, Metalúrgica e dos Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

DEMAE. **Departamento Municipal de Água e Esgoto de Campo Belo/MG.** Disponível em<<https://demaecb.com.br/>> Acesso em: 12 ago. 2021.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de pavimentação. Publicação IPR – 179.** Ministério dos transportes. Departamento nacional de infraestrutura de transportes, Instituto de pesquisas rodoviárias, 2006.

ELSHEIKH, Mahmoud Abd El-shafy; GUIRGUIS, Hany Samir; AMER, Abd. **Removal of iron and manganese from groundwater: a study of using potassium permanganate and sedimentation.** Bulletin of the Faculty of Engineering. Mansoura University, v. 42, n. 3, p. 7-12, 2020.

EMBOABA, Débora *et al.* Ozonização seguida de filtração para a remoção de Ferro e Manganês da água com comparação entre filtro de areia e de carvão ativado. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 10, p. 19044-19055, 2019.

EDUARDO, Maria Bernadete de Paula. **Vigilância Sanitária.** Volume 8. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, 1998. – Série Saúde & Cidadania.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Disponível em<<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/campo-belo/panorama>> Acesso em: 16 ago. 2021

IGAM. **Instituto Mineiro de Gestão das Águas**. Disponível em <<http://comites.igam.mg.gov.br/conheca-a-bacia-gd2>> Acesso em: 20 set. 2021.

KATSOYIANNIS, I. A.; ZOUBOULIS, A. I. Removal of Arsenic from Contaminated Water Sources by Sorption onto Iron-oxide-coated Polymeric Materials. **Water Research**, v. 36, p. 5141-5155, 2002.

LOJA ERA AMBIENTAL. **Orçamento da Zeólita**. 2021. Disponível em: [https://www.lojaeraambiental.com.br/meio-filtrante/zeolito-ferro-e-manganes?gclid=Cj0KCQiA-K2MBhC-ARIsAMtLKRuREM35UWmd978-seqFij7CkTIHcv8x7xW0v77TNZICITv7UhPinccaAviREALw\\_wcB](https://www.lojaeraambiental.com.br/meio-filtrante/zeolito-ferro-e-manganes?gclid=Cj0KCQiA-K2MBhC-ARIsAMtLKRuREM35UWmd978-seqFij7CkTIHcv8x7xW0v77TNZICITv7UhPinccaAviREALw_wcB). Acesso em: 11 nov. 2021.

MADEIRA, V. S. **Utilização de carvão adsorvente para a remoção de íons Ferro em águas naturais**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

MORUZZI, Rodrigo Braga; REALI, Marco Antonio Penalva. Oxidação e remoção de Ferro e Manganês em águas para fins de abastecimento público ou industrial: uma abordagem geral. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, p. 29-43, 2012.

FUNASA. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS** / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. Brasília. 2014.

RICHER C. A. **Água: Métodos e tecnologia de tratamento de água**. São Paulo: Blucher, 2009

ROCHA, M.M; SARTI, H.L.C; LIMA, L.F; JUNIOR, O.C. **A urbanização e a poluição dos recursos hídricos**. O mundo da Saúde, v.28, n.4, p. 388-394, 2004.

SAAE. **Serviço autônomo de água e esgoto**. Disponível em <<https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1xkralxhalzeQNTUrpB1FDZetXcOUxFzS>> Acesso em: 12 ago. 2021

SEÇÃO, I. Polos do programa, Parágrafo Único Os. **Portaria de consolidação N° 5, de 28 de setembro de 2017**. Política, v. 20, p. 08, 2018.

SOUZA, Jeanette. Beber *et al.* **Filtração descendente visando a remoção de Ferro e Manganês gestão do programa paranaense de pesquisa em saneamento ambiental**. v. 82, p. 159, 2017.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2.ed. v.1. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA, Universidade Federal de Minas Gerais.

PAZ, Elaine Carvalho da *et al.* **Análise da eficiência de remoção de Ferro e Manganês de águas de abastecimento por filtração adsortiva**. 2016.

PIVELI, Roque Passos. **Curso: Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos**. v. 21, n. 05, 2000, p. 2015. Disponível em: <http://www.ebah.com>.

<br/content/ABAAAAPBcAD/fasciculo-10-oxigenio-dissolvido-materia-organica#>>. Acesso em: 11 nov. 2021.