

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR - MG
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA
RAFAELA CRISTINA RAMOS

**PROPOSTAS DE MELHORIA PARA A ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA
NO MUNICÍPIO DE FORMIGA/MGVISANDO O AUMENTO DA
CAPACIDADE DE ÁGUA TRATADA.**

FORMIGA-MG

2017

RAFAELA CRISTINA RAMOS

PROPOSTAS DE MELHORIA PARA A ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NO
MUNICÍPIO DE FORMIGA/MG VISANDO O AUMENTO DA CAPACIDADE DE
ÁGUA TRATADA.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Química do UNIFOR –
MG, como requisito parcial para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Química.
Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Duarte Silva

FORMIGA-MG

2017

R175 Ramos, Rafaela Cristina.

Propostas de melhoria para a estação de tratamento de água no município de Formiga/MG visando o aumento da capacidade de água tratada / Rafaela Cristina Ramos. – 2017.

44 f.

Orientador: Rodrigo Duarte Silva.

Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química)-Centro Universitário de Formiga-UNIFOR, Formiga, 2017.

1. Água. 2. Estação de tratamento. 3. Melhorias. I. Título.

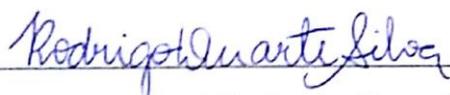
CDD628.162

RAFAELA CRISTINA RAMOS

PROPOSTAS DE MELHORIA PARA A ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NO
MUNICÍPIO DE FORMIGA/MG VISANDO O AUMENTO DA CAPACIDADE DE
ÁGUA TRATADA.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Química do UNIFOR –
MG, como requisito parcial para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Química.

BANCA EXAMINADORA



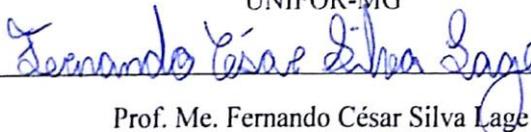
Prof. Dr. Rodrigo Duarte Silva

Orientador



Prof. Dr. Alex Magalhães de Almeida

UNIFOR-MG



Prof. Me. Fernando César Silva Lage

UNIFOR-MG

Formiga, 30 de outubro de 2017

*"Determinação coragem e autoconfiança são fatores decisivos para o sucesso. Se estamos possuídos por uma inabalável determinação conseguiremos superá-los. Independentemente das circunstâncias, devemos ser sempre humildes, recatados e despidos de orgulho."***Dalai Lama**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado forças quando eu achei que não seria capaz e que não chegaria até o fim.

A minha mãe porque ser tão guerreira e sempre me incentivar, me colocar para frente e também por não me deixar desistir. Por todo o amor e carinhos e todos os puxões de orelha também porque sei que eu mereci todos eles.

Ao Wendel por estar sempre ao meu lado dizendo que as coisas sempre iriam dar certo.

A Letícia Resende por todo o apoio e por toda a dedicação comigo, você foi essencial para que eu chegasse até o fim.

Ao meu orientador, professor Dr. Rodrigo, profissional competente e professor dedicado, pela orientação e ajuda no período em que você esteve comigo.

E a todos aqueles que me incentivaram a não desistir diante as dificuldades, apenas me resta o meu muito obrigado.

RESUMO

A água é um recurso natural finito e essencial para sobrevivência humana no mundo. Para toda e qualquer ação que possa ser desenvolvida é necessário o uso da água. Por isso, é importante que água de qualidade e em quantidades essenciais sejam distribuídas à população. Assim, o objetivo deste estudo foia avaliação da estação atual de tratamento de água de Formiga-MGdo ponto de vista de capacidade de tratamento, utilizando modelos de projetos propostos na literatura.Com base nessa avaliação,foram apresentadas propostas de melhorias para a estação. Conclui-se que a utilização de módulos nos decantadores e de crepinas nos filtros pode aumentar o volume de água tratada na referida estação de forma a atender à crescente demanda de água por parte da população.

Palavras-chaves: Água.Estação de tratamento. Filtros. Decantador. Melhorias.

ABSTRACT

Water is a finite and essential natural resource for human survival in the world. For the development of any action, it is necessary to use water. Therefore, it is important that sufficient amounts of treated water be distributed to the population. Thus, the objective of this study was to analyze the current water treatment plant of Formiga-MG from the point of view of water treatment capacity using project models proposed in the literature. Based on the analysis, it was proposed new technologies for the improvement of the plant. It was concluded that improvement in the decanter tanks and in the filters may result in an increase in the amount of treated water which could benefit the population in the near future.

Keywords: Water. Treatment station. Filters. Decanter. Improvements.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma típico da tecnologia de tratamento convencional.....	07
Figura 2 – Fluxograma típico da tecnologia de filtração lenta	07
Figura 3 – Fluxograma típico da tecnologia de filtração direta em linha.....	07
Figura 4 - Fluxograma típico da tecnologia de filtração direta	08
Figura 5 – Calha Parchall	16
Figura 6 - Tanque de mistura rápida.....	17
Figura 7 – Tanques de Floculação	18
Figura 8 – Tanques de Decantação.....	19
Figura 9 – Tanques de Filtração	19
Figura 10 - Tubulação por onde a água recebe cloração	20
Figura 11 - Tanques onde a água recebe cal hidratada	21
Figura 12 - Bombas de distribuição	21
Figura 13 – Planta dos tanques de decantação	22
Figura 14 - Constituição do leito de secagem convencional	24
Figura 15 – Modificação dos leitos de secagem tradicionais	25
Figura 16 – Planta dos tanques de filtração	26
Figura 17 – Esquema de uma crepina.....	27

LISTAS DE QUADROS

Quadro 1 – Processos/Operações Unitárias – Tratamentos de Água Alternativos.....	10
Quadro 2 – Vantagens e desvantagens do decantador de alta taxa em relação ao decantador convencional	23

LISTA DE SIGLAS

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica

ETA – Estação de tratamento de água

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

OMS – Organização Mundial de Saúde

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	01
2 OBJETIVOS	02
2.1 Objetivo geral.....	02
2.2 Objetivos específicos	02
3 REFERENCIAL TEÓRICO	03
3.1 Saneamento Básico	03
3.2 Situação atual dos serviços de abastecimento e tratamento de água no Brasil	05
3.3 Tratamento de água de abastecimento público	06
3.3.1 Coagulação	08
3.3.2 Floculação.....	08
3.3.3 Decantação	09
3.3.4 Filtração.....	09
3.3.5 Desinfecção	09
3.4 Escolha da melhor tecnologia em estações de tratamento	10
3.4.1 Dos aspectos sociais, culturais e institucionais.....	11
3.4.2 Dos aspectos tecnológicos	11
3.4.3 Dos aspectos ambientais.....	11
3.4.4 Dos aspectos financeiros.....	11
3.5 Legislação Pertinente	12
4 METODOLOGIA.....	14
4.1 História da estação e desenvolvimento populacional	14
4.2 A estação de tratamento na cidade de Formiga.....	15
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5.1 Tanques de decantação	22
5.1.1 Melhoria proposta para os tanques de decantação	23
5.2 Tanques de filtração	25
5.2.1 Melhoria proposta para os tanques de filtração	26
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	29
REFERÊNCIAS	30

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural finito e essencial para sobrevivência humana no mundo. Para toda e qualquer ação que possa ser desenvolvida é necessário o uso da água. Por isso, é importante que água de qualidade e em quantidades essenciais sejam distribuídas à população.

O tratamento de água para consumo humano consiste em uma das principais e mais importantes medidas de controle para a preservação da saúde, retratando benefícios sociais de alta magnitude.

O reconhecimento da importância do saneamento e de sua associação com a saúde humana remonta às mais antigas culturas. Hoje, sabe-se que os serviços de saneamento são de vital importância para proteger a saúde da população, minimizar as consequências da pobreza e proteger o meio ambiente.

Em um projeto de estações de água é necessário que sejam utilizadas tecnologias adequadas e que atendam os padrões de potabilidade exigidos pela legislação. É necessário que sejam tomadas medidas cabíveis em relação ao uso do manancial, a qualidade da água bruta, que as características físico-químicas estejam de acordo com as normas e que a água tratada não apresente cor, sabor nem odor.

Nesse contexto, o objetivo deste estudo será a avaliação da estação atual de tratamento de água de Formiga-MG do ponto de vista de capacidade de tratamento com propostas de novas tecnologias e melhorias.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O objetivo deste estudo será a avaliação da estação atual de tratamento de água de Formiga-MG do ponto de vista de capacidade de tratamento, utilizando modelos de projetos propostos na literatura, e com base nos resultados apresentar propostas de novas tecnologias e melhorias.

2.2. Objetivos específicos

- Descrição do modelo matemático de projeto;
- Construir cenários alternativos de crescimento populacional;
- Preparar um prognóstico para o sistema de tratamento, com base no cenário de referência adotado;
- Contribuir para melhora do SAAE de FORMIGA/MG.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Saneamento Básico

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS, 2004), saneamento pode ser definido como o conjunto de elementos do meio físico do homem, que podem afetar ou não o bem estar físico, mental e social. Pode-se dizer então que o saneamento qualifica a união de ações socioeconômicas que por sua vez tem como objetivo alcançar Salubridade Ambiental

A salubridade ambiental pode ser atingida por meio de abastecimento de água potável, coleta e distribuição sanitária de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, com fim de melhorar as condições urbanas e rurais (BRASIL, 2004).

De acordo com o Manual de Saneamento (2007), saneamento básico pode ser definido como a aplicação de medidas socioeconômicas que visam à salubridade ambiental. Entre essas medidas, estão o abastecimento de água potável, a coleta e disposição sanitária de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, a promoção da disciplina sanitária de uso do solo, a drenagem urbana, o controle de doenças transmissíveis e demais serviços e obras especializadas.

O saneamento é um direito básico assegurado pela Lei nº 11.445/2007, onde se considera para os efeitos dessa lei o saneamento básico como um conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição (BRASIL, 2007).

Segundo Guimarães, Carvalho e Silva(2007) a oferta do saneamento relaciona sistemas compostos por uma infraestrutura física e uma estrutura educacional, legal e institucional, que abrange os seguintes serviços:

- abastecimento de água às populações, com a qualidade compatível com a proteção de sua saúde e em quantidade suficiente para a garantia de condições básicas de conforto;
- coleta, tratamento e disposição ambientalmente adequada e sanitariamente segura de águas residuárias;
- acondicionamento, coleta, transporte e/ou destino final dos resíduos sólidos;
- coleta de águas pluviais e controle de empoçamentos e inundações;
- controle de vetores de doenças transmissíveis;
- saneamento e planejamento territorial;
- controle da poluição ambiental – água, ar e solo, acústico e visual.

Os recursos hídricos são um bem natural renovável, em função ao ciclo da água e com isso o seu volume total no planeta continua o mesmo com o passar do tempo. Contudo, o volume de água doce no planeta representa apenas 2,5%, sendo que menos de um terço dessa água não está disponível para consumo humano. Apesar disso, calcula-se que o Brasil tenha

certa de 12% a 16% do volume total de recursos hídricos. Mesmo que esse número seja significativo, eles não se encontram bem distribuídos, sendo 72% localizado na Amazônia e apenas 6% no Sudeste. Além disso, elas estão ameaçadas por diferentes fatores socioeconômicos (BARLOW; CLARKE, 2002).

No Brasil de acordo com a publicação “Indicadores e Dados Básicos - Brasil - 2012” (Ministério da Saúde, 2012), ainda há urgência em serviços de tratamento básico de saneamento, como indicam os dados abaixo:

- 81,48% da população contam com rede de abastecimento de água;
- 85,84% da população servida por coleta de lixo;
- 64,54% da população servida por esgotamento sanitária.

Nas últimas duas décadas, o saneamento no Brasil demandou um planejamento sistemático, em conjunto a indefinição de políticas e programas que realmente oferecessem respostas às necessidades sociais. Em vista disso, o saneamento sendo uma ação socioeconômica de caráter coletivo não conseguiu atingir padrões de institucionalização, com conseqüências que levam a uma realidade precária, não apenas na salubridade ambiental, mas também nos fatores econômicos, financeiros, organizacionais, gerenciais e tecnológicos desse setor no país (BRASIL, 2009).

O esgotamento sanitário é um dos serviços do saneamento básico que possui menos atenção nos municípios do país. Dos 5.507 municípios existentes no Brasil, em 2000 (cerca de 52,2%) podiam contar com algum tipo de serviço sanitário. E mesmo em 2008, o avanço não foi muito relevante. Dos 5.564 municípios, 56,09% possuíam o serviço. Com isso, pode-se concluir que entre os anos de 2000-2008, mesmo com o aumento dos municípios o saneamento básico não acompanhou esse crescimento, crescendo apenas cerca de 4% (IBGE, 2008).

Estima-se que 54% da população mundial têm algum tipo de conexão direta de água em suas casas, como fossas e fontes e 33% recebem água potável em suas residências, enquanto 13%, o que equivale a 884 milhões de pessoas, não recebem água com qualquer tratamento (UNESCO, 2006).

3.2. Situação atual dos serviços de abastecimento e tratamento de água potável no Brasil

Água potável pode ser definida como aquela que pode ser consumida sem trazer riscos para a saúde humana e que não cause rejeição no consumo em questões de cor, odor ou sabor. Deste modo uma gestão adequada dos recursos hídricos, de modo que assegure um serviço de qualidade e uma distribuição com eficiência pra as demandas requeridas de consumo é fundamental (HELLER; PÁDUA, 2010).

De acordo com Barros et al. (1995), o Sistema de Abastecimento de Água representa o "conjunto de obras, equipamentos e serviços destinados ao abastecimento de água potável de uma comunidade para fins de consumo doméstico, serviços públicos, consumo industrial e outros usos".

A demanda de água para consumo humano vem crescendo consideravelmente no Brasil, pelos seguintes fatores (HELLER; PÁDUA, 2006):

- Aumento acelerado da população nas ultimas décadas, sobretudo nas áreas urbanas e em especial nas regiões metropolitanas e cidades de médio porte;
- Incremento da industrialização, aumentando a demanda por água em núcleos urbanos;
- Aumento do volume de perdas de água em muitos sistemas de abastecimento, fruto da obsolescência de redes e baixo investimentos.

A lei federal nº 9.433/1997, também conhecida como “Lei das águas”, assegura que o setor de abastecimento de água é considerado prioritário; no entanto, a mesma lei obriga um uso criterioso do recurso, visando que outros usuários também usufruam do mesmo, assim como também a manutenção da vida aquática (BRASIL, 1997).

O abastecimento de água baseia-se em produzir água potável de qualidade a partir da água bruta coletada no manancial, que pode ser superficial ou de águas subterrâneas, e oferecê-la para a população com o mínimo de falhas possíveis (KOBİYAMA, 2008).

As águas captadas nos rios, lagos, represas e aquíferos subterrâneos são utilizadas para abastecimento do consumo humano e para suas atividades socioeconômicas (REBOUÇAS, BRAGA e TUNDISI, 2006).

No Brasil existem cinco padrões de potabilidade, são eles: padrão microbiológico; padrão de turbidez para a água pós-filtração; padrão para substancias químicas querepresentem riscos à saúde; padrão de radioatividade; e padrão de aceitação para consumo humano (SALDANHA et al., 2016).

O Brasil está dividido em 12 regiões hidrográficas, formadas por inúmeras bacias hidrográficas, as que estão localizadas nas regiões Norte e Nordeste são as que possuem

maiores problemas nos sistemas produtores de água encontram-se em estado grave por poluição ou pelo desperdício (ANA, 2010a).

Segundo o IBGE (2010), existe uma considerável desigualdade nas regiões do Brasil quando se fala de saneamento. Em relação ao abastecimento de água, a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB (IBGE, 2010) indica que praticamente todos os municípios brasileiros poderiam contar com serviço de abastecimento de água em pelo menos um distrito. Dos 5.564 municípios existentes no país, 33 não contam com distribuição, sendo que cerca de 63,3% destes estão localizados na Região Nordeste.

Também segundo a PNSG (IBGE, 2010), outro fator que mostra bem a desigualdade em relação ao tratamento de água, é o tipo de tratamento realizado nas estações. Em municípios com mais 100.000 habitantes, as estações contam com um tratamento convencional. Em contrapartida, na maioria dos municípios com até 20.000 habitantes, as águas de abastecimento recebem apenas desinfecção. Essa diferença está relacionada à falta de recursos financeiros e operacionais e não à qualidade dos mananciais.

Anualmente em consequência das condições deficientes ou inadequadas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, um número muito expressivo de crianças acabam indo a óbito. Se existisse um sistema público de distribuição adequada, graves consequências como óbitos, doenças transmissíveis por parasitas e até mesmo os casos de diarreia diminuiriam consideravelmente (SALDANHA et al., 2016).

3.3. Tratamentos de água de abastecimento público

De acordo com Mierzwa (2008) ao longo das últimas décadas, o Brasil vem sofrendo um intenso processo de urbanização e com isso áreas próximas a mananciais para abastecimento vêm sendo tomadas de forma desregrada. Como resultado, a qualidade da água tem sido comprometida.

Segundo o mesmo autor, o tratamento de água ainda é um desafio devido ao crescimento da população, altas demandas de água, problemas para a instalação de estações de tratamento convencionais e também com a má qualidade das águas de mananciais. Essas circunstâncias têm impulsionado a procura de novas tecnologias para assegurar a qualidade adequada da água para distribuição pública.

Ferreira e Marchetto (2006) mencionam que no início do Século XX a única operação unitária constituinte nas estações de tratamento era a filtração, que por sua vez tinha a função principal de remover partículas coloidais que pudessem trazer prejuízo à saúde humana.

Uma estação de tratamento de água (ETA) convencional possui basicamente 5 etapas: coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. Mesmo que o princípio básico de funcionamento de uma ETA seja semelhante, existem diversas tecnologias que podem ser empregadas para a construção da mesma, o processo é apresentado na FIG. 1 (DI BERNARDO, 1993).

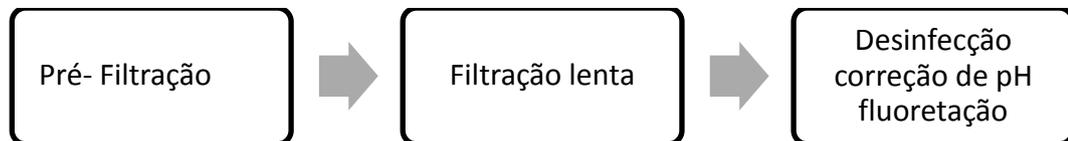
Figura 1 – Fluxograma típico da tecnologia de tratamento convencional.



Fonte: Adaptada Líbano, 2010

A ausência da coagulação obrigatoriamente leva ao emprego da filtração lenta, com ou sem unidades de pré-tratamento em função das características da água. Um fluxograma simplificado desse processo é apresentado na FIG. 2 (LÍBANO, 2010).

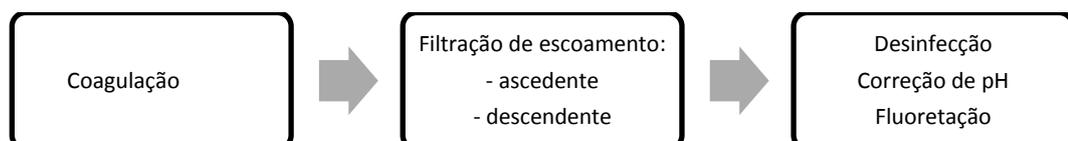
Figura 2 – Fluxograma típico da tecnologia de filtração lenta.



Fonte: Adaptada Líbano, 2010

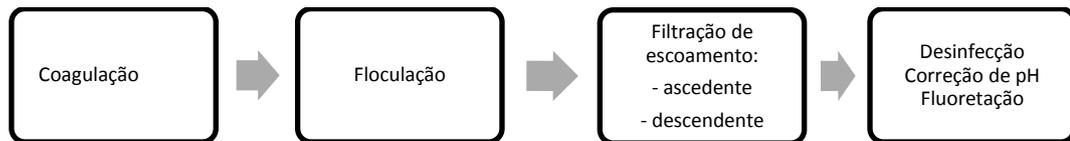
Ainda segundo o mesmo autor, as tecnologias que não contam com a etapa de sedimentação, são denominadas filtração direta. As mesmas se dividem em função da presença ou não da floculação. Quando floculação está presente no processo, denomina-se dupla filtração e quando a floculação não ocorre é chamada de filtração direta em linha. Fluxogramas simplificados desses processos são apresentados nas Figuras 3 e 4 respectivamente.

Figura 3 – Fluxograma típico da tecnologia de filtração direta em linha



Fonte: Adaptada Líbano, 2010

Figura 4 – Fluxograma típico da tecnologia de filtração direta.



Fonte: Adaptada Líbano, 2010

Os processos convencionais atualmente utilizados para o tratamento de água podem ser divididos em físicos, químicos e físico-químicos. Nos processos físicos, não há adição de reagentes e a remoção das partículas ocorre devido à barreira física ou pela ação da gravidade. Alguns exemplos são a floculação, sedimentação, flotação e filtração. Nos processos químicos acontece a adição de reagentes que alteram as concentrações de sujeiras, são eles a coagulação, a correção da alcalinidade e dureza da água, remoção de ferro e manganês, a desinfecção com cloro e ozônio e remoção de nitratos e metais. E por fim os processos físico-químicos encontram-se a adsorção em carvão ativado e a coagulação (DI BERNARDO e PAZ, 2008).

Seguem-se noções básicas dos principais processos (tratamentos convencionais) e operações unitárias utilizadas no tratamento de água para consumo humano (HELLER e PÁDUA, 2006).

3.3.1. Coagulação

Consiste na desestabilização das partículas coloidais e suspensas realizadas por ações físico-químicas (LÍBANO, 2010). O processo de coagulação é realizado em unidades de mistura rápida, as quais podem ser hidráulicas, mecânicas e especiais (SABOGAL, 2006). Os principais coagulantes disponíveis no mercado para o tratamento de água são: sulfato de alumínio, cloreto férrico, hidroxicloreto de alumínio e sulfato férrico (MACEDO, 2007).

3.3.2. Floculação

Após a coagulação acontece uma mistura rápida da água a ser tratada com o coagulante, que possibilita a distribuição uniforme do coagulante adicionado fazendo assim que todas as partículas sofram hidrólise. Logo em seguida acontece a mistura lenta, que é chamada de floculação (PERSEKIAN, 1998). Argaman e Kaufman (1970) mencionaram que a eficiência dessa etapa depende dos mecanismos de agregação e da ruptura dos flocos com isso os gradientes de velocidade dos tanques estão relacionados com o tamanho dos flocos.

Isso pode ser resumido pelo fato de que para maiores velocidades, haverá maior ruptura de flocos.

3.3.3. Decantação

Essa etapa consiste na sedimentação dos flocos em decorrência da ação da gravidade, propiciando a clarificação da água. Devido às diferenças de tamanho, densidade e forma das partículas, os fenômenos envolvidos na decantação apresentam grande dificuldade de serem descritos. Com isso o modelo do decantador ideal de escoamento horizontal é utilizado para se prever o comportamento das partículas (DI BERNARDO, 2005).HELLER& PÁDUA (2006) afirmam que a implementação destas unidades é justificada como etapa preliminar ao processo de filtração em estações de tratamento nas quais a água submetida ao tratamento apresenta concentrações de sólidos (dissolvidos, partículas coloidais e/ou suspensas) elevadas. O projeto destas unidades deve considerar a taxa de aplicação superficial, que é a taxa da geometria do decantador, portanto é o parâmetro de projeto, que está diretamente relacionada com a velocidade de sedimentação das partículas suspensas.

3.3.4. Filtração

É o processo final em uma estação de tratamento tem como objetivo a remoção de partículas suspensas e coloidais presentes na água que acontece através do traspasar da água por uma camada filtrante, constituída por um leito arenoso, sustentada por uma camada de cascalho, de modo que as impurezas, as partículas, a maioria das bactérias, entre outros, fiquem retidos e a água filtrada seja límpida. Ela é necessária para atender os padrões de potabilidade, descritos pela Portaria nº 2914/11 (OMS, 2004). Para que ocorra a remoção de tais partículas é necessário a análise do tipo de filtro a ser utilizado e qual material será separado. A partir dessas informações, torna-se possível definir se o filtro utilizado será um filtro lento ou um filtro rápido (RICHTER, NETTO, 2007).

3.3.5. Desinfecção

De acordo com Di Bernardo (1993), a desinfecção tem por objetivo eliminar os microorganismos patogênicos presentes na água, sendo um processo seletivo, ou seja, não destrói todos os seres vivos presentes na água e nem elimina completamente os organismos patogênicos. A esterilização somente consegue eliminar completamente formas vivas presentes na água. A eficiência desta etapa do tratamento é condicionada por um conjunto de fatores tais como: características do desinfetante, da água, dos microrganismos a serem eliminados, do tempo de contato e da instalação física da unidade (ALMEIDA, 2009).

Outros métodos além dos tratamentos convencionais têm sido utilizados, com a finalidade de reduzir os poluentes microbiológicos e químicos e, especialmente, proporcionar uma água potável livre de gosto e odor. Dentre eles, estão os processos de oxidação química com ozônio, a adsorção em carvão ativado, processos de biofiltração, filtração por membrana e arraste com ar ou *air-stripping*, que estão descritos no QUADRO 1 (MONTGOMERY, 2005; FERREIRA FILHO e ALVES, 2006).

Quadro 1 – Processos/Operações Unitárias – Tratamentos de Água Alternativos

Processos/Operações Unitárias	Descrição
Oxidação química com ozônio	Oxidar matéria orgânica e inorgânica presente na água, facilitando sua remoção posterior;
Adsorção em carvão ativado	Remover compostos orgânicos e inorgânicos indesejáveis, incluindo os que causam odor e sabor, fazendo a água entrar em contato com uma substância adsorvente;
Filtração por membrana	Remoção de contaminantes orgânicos e inorgânicos, incluindo material dissolvido, passando a água por membranas com abertura de filtração inferior a 1µm;
Troca iônica	Destinada a remover contaminantes inorgânicos presentes na água, fazendo-a passar por uma coluna contendo material sintético especial (resina);
Arraste com ar ou <i>air-stripping</i>	Remoção de compostos orgânicos e inorgânicos indesejáveis, através da aplicação de ar na corrente líquida;

Fonte: Adaptado de Heller e Pádua (2006); Adaptado Zat (2009).

3.4. Escolha da melhor tecnologia para estações de tratamento

A escolha da melhor tecnologia em uma estação de tratamento deve ser realizada levando-se em conta os aspectos sociais, culturais, institucionais, técnicos, econômicos, financeiros, ambientais e a disponibilidade de recursos locais, que permitem a implementação de obras sanitárias e sustentáveis (DI BERNARDO, 2008).

3.4.1. Dos aspectos sociais, culturais e institucionais

É preciso considerar aspectos como: renda *per capita*, costumes, economia, instituições governamentais, disponibilidade de energia e de materiais de construção (DI BERNARDO, 2008).

3.4.2. Dos aspectos tecnológicos

É importante que haja consulta a legislação pertinente, principalmente em relação à qualidade da água, à captação da água bruta e ao licenciamento ambiental para exploração do recurso hídrico. Para seleção preliminar de uma estação de tratamento são necessários a análise de alguns parâmetros de qualidade para avaliar sua eficiência, tais parâmetros como: cor, turbidez, ferro, manganês, coliformes totais, *Escherichia coli*, entre outros. Em seguida a isso é necessário realizar estudos para tratabilidade da água com amostras representativas para testes de remoção de todos os riscos (químico, físico, microbiológico e radiológico) presentes na água bruta. Por fim é necessário avaliar a eficiência das tecnologias para diminuição ou redução do risco presente na água bruta e tudo isso deve ser feito de acordo com os padrões de potabilidade. Tais fatores como: qualidade da água bruta, vazão do afluente às estações de tratamento, tipo de estação, processos e operações de tratamento de água, produtos químicos utilizados no tratamento, entre outros (DI BERNARDO, 2008).

3.4.3. Dos aspectos ambientais

Gandini e Galvis (2000) analisaram o conflito entre o desenvolvimento e o ambiente. De um lado, os benefícios na qualidade de vida da população ao receber água potável e, de outro, os impactos negativos que podem ser gerados no meio ambiente. Sustentabilidade em sistemas de abastecimento está diretamente ligado a oferta ambiental e a demanda social. Onde a oferta ambiental pode ser entendida como uma via de duas mãos, entre a função abastecedora, que fornece água ao sistema de abastecimento e a função receptora que mede a capacidade do ambiente em receber e assimilar os resíduos gerados, além dos impactos da captação da água bruta. E a demanda social tem como função garantir a qualidade de água bruta necessária para abastecimento, e a qualidade da água potável associada com o cumprimento das legislações pertinentes.

3.4.4. Dos aspectos financeiros

Segundo Pérez e Galvis (2000), ao relacionar o gasto com as tecnologias e a demanda pode-se selecionar sistemas sustentáveis.

3.5. Legislação Pertinente

Quando a questão é a qualidade, é necessário ficar atento aos parâmetros para água bruta e para a água tratada que estão definidos por leis e portarias distintas, sendo o padrão de água bruta referenciado nas características de cursos d'água e por isso está ligada a sua classificação de enquadramento (PEREIRA, 2015).

A Lei Federal 9.433, de 08 de janeiro de 1997, estabelece em seu Artigo 9º, Inciso I que o enquadramento dos corpos d'água visa a assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas, indicando ainda em seu artigo 10º que as classes das águas serão estabelecidas pela legislação ambiental (BRASIL, 1997).

Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), fixou pela Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, que o enquadramento dos corpos de água deve estar baseado não necessariamente no seu estado atual, mas nos níveis de qualidade que deverão possuir para atender às necessidades da comunidade. Sendo assim, as águas doces destinadas a consumo humano que necessitam de prévia desinfecção são classificadas como classe especial. Águas que precisam de tratamento simplificado, como classe 1. Águas que necessitam de tratamento convencional, como classe 2. Águas que precisam de tratamento convencional ou avançado, como classe 3 e, por fim, água para navegação e harmonia paisagística são classificadas como classe 4.

Uma vez construída a estação de tratamento e estando em operação, a sua função será a de conferir à água bruta a qualidade de potabilidade indicada nos preceitos da Portaria 2.914, de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde, que dispõe sobre o padrão de potabilidade e os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano (BRASIL, 2011).

De acordo com a Portaria 2.914, a penalidade aos responsáveis pela operação dos sistemas ou soluções alternativas de abastecimento de água que não observarem as determinações constantes da mesma será aplicada de acordo com o que está previsto na Lei nº 6.437, de 20 de agosto de 1977 (BRASIL, 2011).

Nessa lei estão previstas punições para as infrações sanitárias, como advertência, multa, interdição parcial ou total do estabelecimento, cancelamento de autorização para funcionamento da empresa, cancelamento do alvará de licenciamento de estabelecimento e intervenção no estabelecimento que receba recursos públicos de qualquer esfera (BRASIL, 1977).

A Lei 9.433, de 08 de janeiro de 1.997, conhecida como Política Nacional de Recursos Hídricos estabeleceu dentre seus instrumentos a outorga de direito de uso de recursos hídricos com o objetivo de assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o exercício de direito de acesso à água (BRASIL, 1997).

A obrigatoriedade de submissão à emissão de outorga para utilização de recursos hídricos no saneamento básico foi ratificada no Artigo 20 do Decreto 7.217, que regulamenta a Lei Nacional de Saneamento, na qual dispõe que a utilização de recursos hídricos na prestação de serviços públicos de saneamento básico, inclusive para disposição ou diluição de esgotos e outros resíduos líquidos, é sujeita a outorga de direito de uso (BRASIL, 2007).

Diante disso, é obrigatória a solicitação de outorga para que venham a ser captadas as águas que serão tratadas em estações de tratamento de água (PEREIRA, 2015).

O processo de emissão de outorga deverá ser realizado de acordo com as normas e regras estabelecidas pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE quando se tratar de um curso d'água contido no território do Estado e quando se tratar de curso d'água pertencente a mais de um Estado, o processo de outorga correrá pela Agência Nacional de Águas – ANA (PEREIRA, 2015).

4. METODOLOGIA

Primeiramente, foi realizada uma revisão bibliográfica com o intuito de embasar o trabalho. Em seguida, foi realizada uma análise da atual situação da ETA de Formiga/MG considerando aspectos operacionais. A análise foi desenvolvida no ano de 2017, de Fevereiro até Outubro. Com base nessa análise, foram propostas melhorias para a ETA com o intuito de otimizar o tratamento de água na cidade de Formiga/MG. Foram analisadas quais melhorias poderiam ser implementadas sem alterar a planta da estação, com a previsão de 20 anos.

4.1. História da estação e desenvolvimento populacional

A estação foi construída em 27 de dezembro de 1971, através da Lei 837, o SAAE de Formiga (Serviço Autônomo de Água e Esgoto), onde o prefeito Arnaldo Barbosa determinou que o SAAE exercerá funções como operar, manter, conservar e explorar diretamente os serviços de água potável e de esgotos sanitários; exercer quaisquer outras atividades relacionadas com os sistemas públicos de água e esgoto compatíveis com leis gerais e específicas. E essas mudanças aconteceram devido ao constante desenvolvimento da cidade. O método garantiu água tratada pra todo o município, que também teve seu esgoto canalizado, acabando assim com fossas sépticas que existiam em diversos pontos da cidade.

Com base na população informada pelo IBGE para o município, referente ao censo demográfico de 2010, utilizando o método de projeção geométrica (VON SPERLING, 1996), estimar a população do município pra o ano de 2037, conforme equação 1:

$$P_t = P_0 \cdot e^{K_g \cdot (t - t_0)}$$

Onde:

P_t = População final

P_0 = População inicial

K_g = coeficiente de crescimento populacional

t = tempo final (ano)

t_0 = tempo inicial (ano)

O coeficiente de crescimento populacional pode ser encontrado através da equação 2:

$$Kg = \frac{\ln P_1 - \ln P_0}{t_1 - t_0}$$

Onde:

P_1 = População atual (68.423 - 2017)

P_0 = População inicial (60.326 - 1997)

t_1 = tempo atual (ano)

t_0 = tempo inicial (ano)

$$Kg = \frac{\ln 68423 - \ln 60326}{2017 - 1997} = 0,006$$

Encontrado o coeficiente de crescimento populacional é possível então encontrar a população estimada para o ano de 2037.

$$Pt = 65128 \cdot e^{0,006 \cdot (2037 - 2010)} = 76.581,42$$

Com isso, a população estimada pra o município de Formiga, no ano de 2037, é de 76.581,42 mil habitantes.

A demanda de água atualmente é de 200 litros/pessoa/dia. São produzidos e distribuídos 19,000 m³/dia, além da ETA o SAAE conta com 38 poços tubulares profundos, que também ajudam no abastecimento da cidade.

4.2. A estação de tratamento na cidade de Formiga

A estação de tratamento de água de Formiga é uma estação convencional. Sua captação é feita através de uma barragem no Rio Formiga, com a distância de 2,5Km da ETA. A estação conta com 1 floculador, 2 decantadores, 4 filtros, reservatório de 1.000 m³ e distribuição por gravidade e elevação até os reservatórios para ser distribuída à população.

O processo de tratamento da água começa com a chegada da água bruta na calha parshall (FIG. 5) onde se mede a vazão e recebe a adição do coagulante, sulfato de alumínio.

Figura 5 – Calha Parshall



Fonte: Autora.

Em sequência ela vai para o tanque de mistura rápida (FIG. 6), onde ocorre agitação pelo tempo mínimo de 15 minutos.

Figura 6 – Tanque de mistura rápida



Fonte: Autora.

Após a mistura rápida, a água passa para o tanque de agitação, os flocculadores (FIG. 7) que é dividido em quatro etapas onde a água vai continuar sendo agitada de acordo com o gradiente de velocidade estabelecido. É na flocculação onde o coagulante forma partículas em suspensão maiores e mais densas para que assim possam ser sedimentadas no decantador.

Figura 7 – Tanques de Floculação



Fonte: Autora.

Com o desenvolvimento de partículas, a água passa para os tanques de decantação, onde ocorre a sedimentação das mesmas (FIG. 8)

Figura 8 – Tanques de Decantação



Fonte: Autora.

Em seguida, a água vai para os tanques de filtração (FIG. 9) para que todas as partículas ainda existentes na água possam ser eliminada. O material filtrante utilizado em três dos tanques é a areia e em um também tem carvão antracito, e como material suporte utiliza-se seixos colados e pedriscos.

Figura 9 – Tanques de Filtração



Fonte: Autora.

Após a filtração a água desce por uma tubulação e recebe a cloração (FIG 10), na estação atualmente é utilizado como fonte de cloro ativo uma solução oxidante, tendo como produto principal Hipoclorito de sódio, peróxido de hidrogênio, hidróxido de sódio e oxigênio. A solução é gerada na própria ETA, através de processos de eletrolise do cloreto de sódio. A cloração é feita para acabar com todas as matérias orgânicas ainda existentes na água.

Figura 10 – Tubulação por onde a água recebe cloração.



Fonte: Autora.

Em seguida, a água recebe a cal hidratada para correção de pH, acidofluorsilicico como fonte de fluoreto que auxilia na prevenção de cárie dentária e eventualmente ortopolifostato para eliminar ferro na rede de distribuição (FIG 11).

Figura 11 – Tanques onde a água recebe cal hidratada.



Fonte: Autora.

Logo após ela para os reservatórios para depois ela ser distribuída para a população através das bombas de distribuição (FIG 12).

Figura 12 – Bombas de distribuição.



Fonte: Autora.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

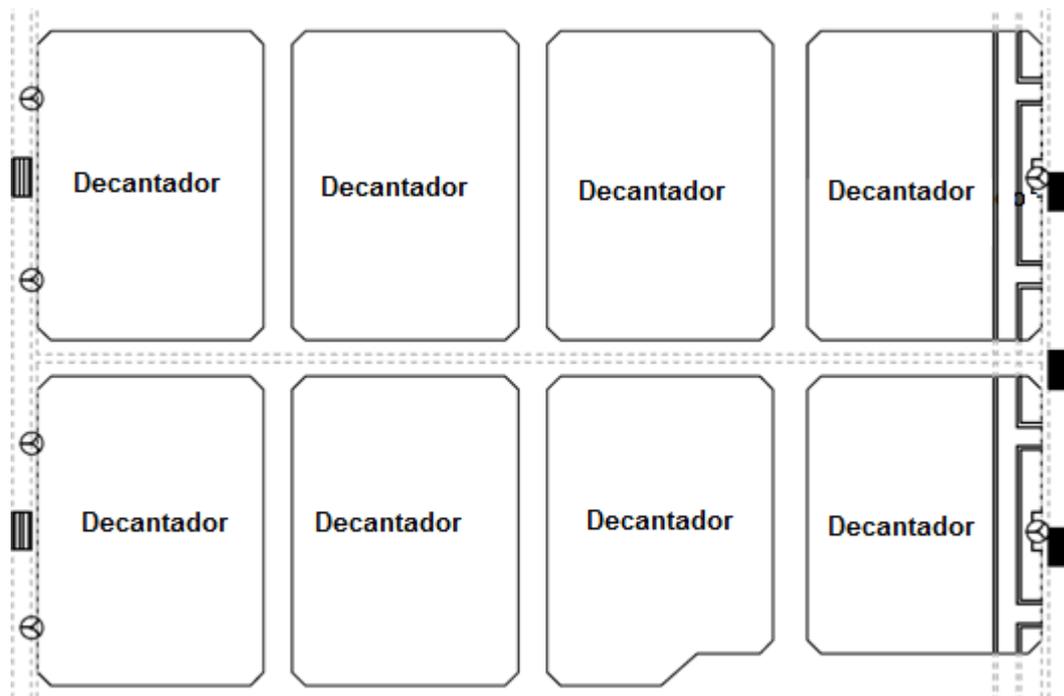
Após a avaliação de todas as etapas existentes na estação, pode-se ver que as etapas que mais necessitavam de alteração são os tanques de decantação e os tanques de filtração.

5.1. Tanques de decantação

Os tanques existentes na estação são denominados tanques de fluxo horizontal, pois a água entra em uma extremidade, e move-se na direção longitudinal saindo pela outra extremidade. A velocidade da água nesse momento deve ser baixa para que não ocorra o arraste do lodo que vai se formando no fundo do tanque.

Atualmente a planta da estação mostra como estão dispostos os decantadores como apresentado na FIG. 13

Figura 13 – Planta dos tanques de decantação



Fonte: Autora.

Eles têm a capacidade de 2.000 m³ de água. E recebem a vazão máxima de 195 L/s dos tanques de floculação. A velocidade de sedimentação é de aproximadamente 30,49 m/dia. Ele tem a área de 551 m². A taxa de escoamento superficial é de 34,48 m³/m²/dia.

5.1.1. Melhoria proposta para os tanques de decantação

As melhorias aqui propostas não pretendem mudar a planta da estação, pois para que isso acontecesse a estação precisaria parar, interrompendo assim o abastecimento de água no município.

Então, tendo em vista essa condição, a melhor opção para otimizar os tanques de decantação da ETA de Formiga/MG seria o desenvolvimento de módulos de decantação tubulares ou de alta taxa.

Os decantadores de alta taxa são formados por uma câmara com dutos ou placas planas paralelas instaladas, com certa inclinação, em direção ao escoamento para remoção gravitacional do lodo, ocupando parte dos tanques. O intuito é aumentar a área de sedimentação e a taxa de escoamento superficial. Assim o tamanho das unidades é diminuído, melhorando então a eficiência na remoção dos flocos (PAZ, 2007).

Algumas vantagens e desvantagens na utilização do decantador de alta taxa em relação aos decantadores convencionais são indicadas no QUADRO 2:

Quadro 2 – Vantagens e desvantagens do decantador de alta taxa em relação ao decantador convencional

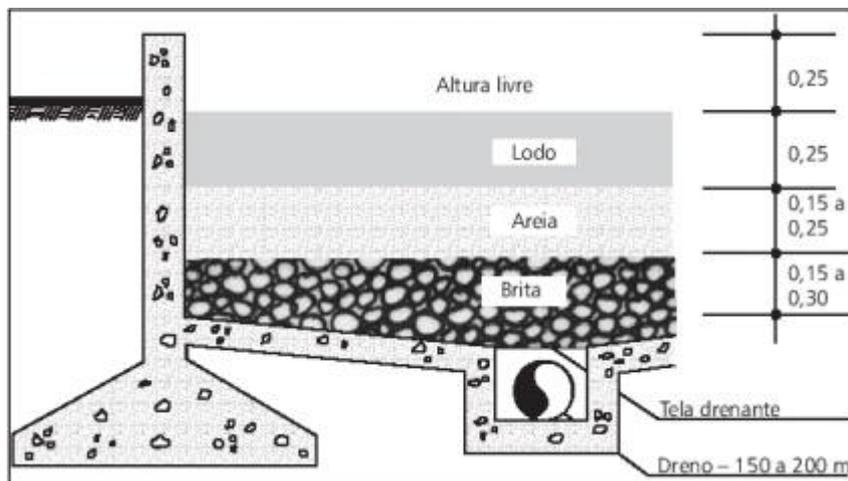
Vantagens	Desvantagens
<p>1 - A alta eficiência é gerada porque os flocos são sedimentados ao longo das placas; assim, são compactados formando blocos que atingem mais rapidamente o fundo da unidade.</p> <p>2 - O tempo de detenção da água é reduzido; assim, é menor a área da planta</p> <p>3 - A unidade pode ser utilizada na reforma de decantadores retangulares de escoamento horizontal, visando o aumento da eficiência, sempre que a entrada e a saída do decantador sejam adaptadas ao novo sistema</p> <p>4 - Decantadores de alta taxa são preferidos no projeto das ETAs</p>	<p>1 - As unidades podem apresentar crescimento de algas nas placas ou nos dutos, causando problemas na operação e de manutenção.</p> <p>2 - O projeto e construção das unidades requerem cuidados. A forma ou espaçamento das tubulações ou das placas podem afetar a turbulência e as condições de escoamento.</p> <p>3 - As unidades, em alguns casos, podem ser mais fundas comparadas a decantadores retangulares de escoamento horizontal.</p> <p>4 - A velocidade em decantadores convencionais precisa ser baixa para que não ocorra arraste do lodo, assim ele ocupa uma área grande.</p>

Fonte: Adaptada de Paz (2007).

Outra melhoria proposta para os tanques de decantação seria com relação à destinação final do lodo que é formado no fundo dos tanques. O SAAE informou a limpeza dos tanques é feita pelo menos de 6 em 6 meses. E forma-se em média 150 toneladas de lodo em cada decantador em meses críticos. Atualmente esse lodo é disposto no Rio Formiga. E por conter sulfato de alumínio pode prejudicar o meio ambiente.

Então uma solução para esse problema é a implementação de leitos de secagem e leitos de drenagem. Os leitos de secagem são constituídos por tanques rasos (FIG 14), sistema de drenagem e duas ou três camadas de areia com granulometrias diferentes de cerca de 30 cm de espessura (PAZ, 2007).

Figura 14 – Constituição do leito de secagem convencional



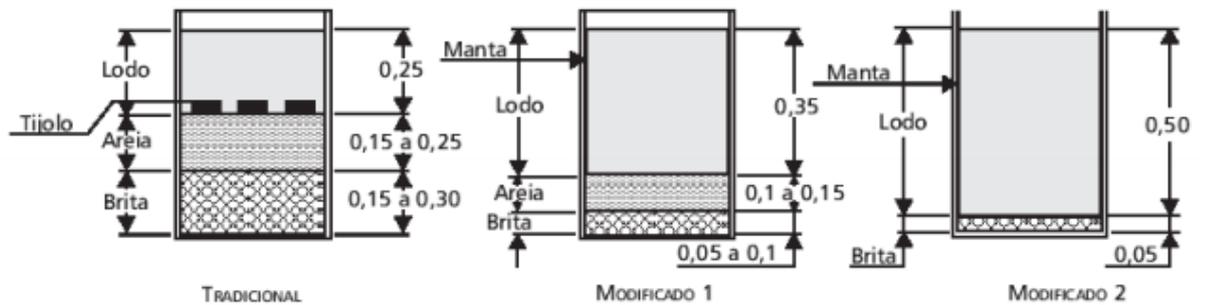
Fonte: REALI, 1991.

Quanto à operação de um leito de secagem, ela ocorre em dois ciclos: de enchimento e de secagem. O ciclo de enchimento geralmente dura de 15 à 30 dias e o de secagem dura três semanas ou mais, dependendo das condições climáticas e da concentração de sólidos desejada (REALI, 2001).

Cordeiro (2001) estudou outras estruturas para o leito convencional, para isso ele realizou mais de uma modificação, sendo que na primeira (modificado 1) foi colocada a manta geotêxtil sobre a camada filtrante do leito, ainda utilizando areia grossa e fina como meio filtrante, em espessuras de 10 e 5 cm respectivamente. Nesta primeira modificação os resultados evidenciaram que a remoção de água livre foi maior e que nem a areia nem a espessura da camada filtrante eram decisivas na remoção de água livre. Na seguinte modificação (modificado 2), a areia do leito foi removida, ficando apenas a camada de brita 1, com 5 cm de espessura sobreposta pela manta geotêxtil. Nesta segunda modificação a

remoção da água livre foi ainda mais efetiva, pois se diminui o tempo de drenagem de água livre (FIG 15).

Figura 15 – Modificação dos leitos de secagem tradicionais



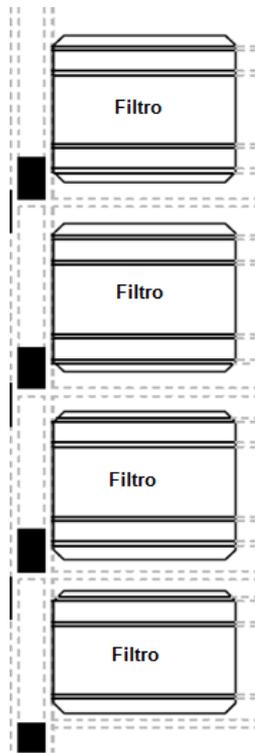
Fonte: Cordeiro, 2001.

Ambos os leitos são vantajosos na sua instalação, visto que eles não demandam alto investimento para a implementação, não consomem energia e como são indicados para ETAs com capacidade inferior a 200 L/s, seria ideal para a ETA de Formiga/MG, elas também tem baixa sensibilidade às variações quantitativas e qualitativas do lodo. As desvantagens apresentadas nos leitos de drenagem e secagem são que precisam de grande área para sua instalação e é necessário se conhecer o clima da região (PAZ, 2007).

5.2. Tanques de Filtração

Os tanques existentes na estação são do tipo filtração rápida, pois é adicionado o coagulante e a filtração acontece para que haja remoção das partículas em suspensão. A filtração ocorre de forma descendente. Existem três camadas de material filtrante e duas camadas de material suporte. O *layout* dos tanques pode ser visto a partir na FIG. 16.

Figura 16– Planta dos tanques de filtração



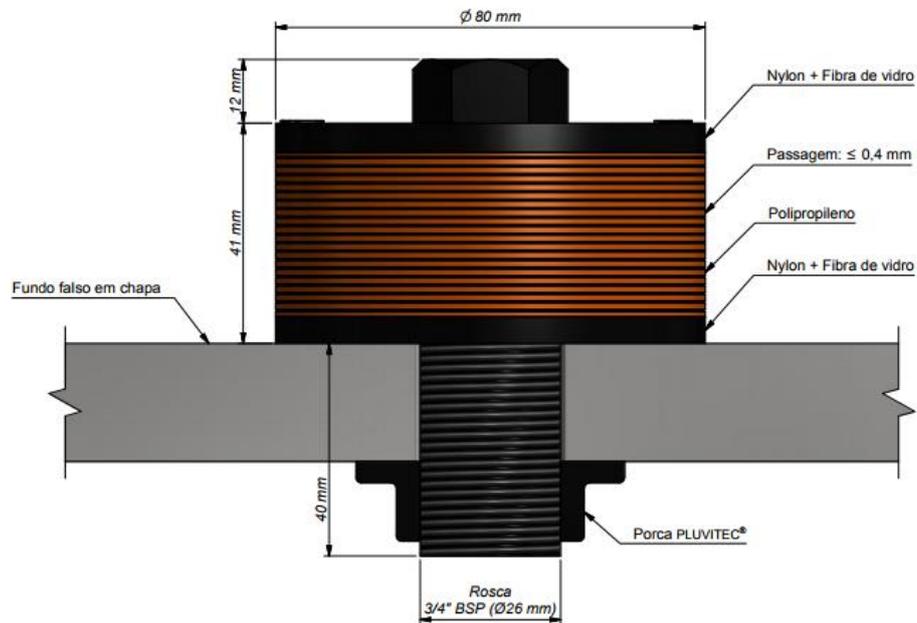
Fonte: Arquivo Pessoal.

Cada um dos tanques tem capacidade de 48,75 L/s de água. Sua dimensão é de 25 m², cada um dos filtros. Taxa de filtração 14,4 m³/m²/h.

5.2.1. Melhorias propostas para os tanques de filtração

Como dito anteriormente as melhorias visam apenas a otimização do projeto, sem alteração na sua escala. E para que isso ocorra, a melhoria proposta para os tanques de filtração é a produção de um fundo falso no tanque, onde seriam colocadas as crepinas (FIG 17), que tem como principal função impedir a passagem de elementos sólidos, possibilitando, dessa forma, que apenas líquidos passem por sua abertura.

Figura 17 – Esquema de uma crepina



Fonte: HidroSolo.

Para saber a quantidade de crepinas a serem utilizadas em cada tanque de filtração é necessário que se saiba o diâmetro de cada crepina e a área total de cada tanque, temos:

- Diâmetro da crepina: 80 mm
- Área total de cada tanque: 25 m²

A empresa Hidro Solo, informa que o espaçamento entre as crepinas é de 17 cm a 20 cm por metro quadrado. E também de acordo com a empresa, utiliza-se de 25 a 30 crepinas por metro quadrado dentro dos tanques.

Adotou-se então para cada tanque de 25 m² de área a utilização de 26 crepinas por metro quadrado, resultado em 650 crepinas por tanque. E no total dos quatro tanques da estação seriam utilizadas 2600 crepinas.

Seria também uma melhoria para os tanques de filtração, a adequação da lavagem dos mesmos de forma a coletar, homogeneizar e recircular de água utilizada na lavagem para o início do tratamento de água, gerenciando a qualidade dos microorganismos. Dessa forma os únicos resíduos tratados na estação seriam os gerados pelos decantadores (DI BERNARDO E CENTURIONE FILHO, 2002).

A lavagem de filtros pode ocorrer de diversas maneiras, gerando um volume maior ou menor de resíduos. Ela é realizada em intervalos de 12 a 48 h, com a duração de 4 a 15 min. A limpeza consiste na aplicação de água no sentido ascensional, causando uma expansão do meio granular e liberação do material sólido retido na camada filtrante (DI BERNARDO E CENTURIONE FILHO, 2002).

Em termos volumétricos a maior quantidade de lodo é gerado da lavagem dos filtros. No entanto em termos mássicos a maior quantidade produzida é gerada nos decantadores, por ser a sedimentação o primeiro processo físico de separação sólido líquido (DI BERNARDO, DANTAS 2005).

Ao se adotar a recuperação da água de lavagem, esta é encaminhada ao tanque ou reservatório de regularização durante as operações de lavagem dos filtros e bombeada no início do processo e é recomendado que a vazão de recirculação não exceda 10% da vazão total da estação, para que não causa alterações nas dosagens de produtos químicos (MENDES, 2001).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A importância de uma água potável e bem tratada para a população é de suma importância e a estação de tratamento de água em FORMIGA/MG atende a população do município.

Mas ainda assim o SAAE de FORMIGA precisa de melhorias para que o processo seja otimizado, tendo em vista que a estação foi projetada há 40 anos e o consumo da população nos dias de hoje é diferente. Por isso as mudanças aqui apresentadas visam essas melhorias de forma a não comprometer o tratamento já existente na ETA, mas sim fazer com que a distribuição de água tratada seja melhor.

Além do mais as melhorias são economicamente viáveis. Na atual situação do município é importante que as melhorias sejam em prol da população, mas também sejam econômicas.

Contudo as propostas de melhorias apresentadas apenas visam que a estação de tratamento de água possa se modernizar trazendo então benefícios tanto para a empresa quanto para a população.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. M. S.; **Otimização do índice de qualidade de estação convencional de tratamento de água (iqeta) por meio de análise estatística multivariada.** 2009. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.
- ANA. Agencia Nacional das Águas - ANA. **Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água.** Panorama Nacional. , v. 1, p. 36, 2010a.
- ARGAMAN, Y; KAUFMAN, W. J. **Turbulenceandfloculation.** JEED-ASCE, v 96, n 5-A2, p 223- 241, abril, 1970.
- BARROS, R. T. V. et al. **Saneamento.** Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995. (Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios – volume 2).
- BARLOW, M.; CLARKE, T. **Blue Gold: The Fight to Stop the Corporate Theft of the World's Water.** NovaIorque, 2002.
- BRASIL. Confederação Nacional dos Municípios. **Saneamento básico para gestores públicos.** Brasília, 2009.
- BRASIL. **Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 237:** Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=237>. Acesso em: 12/09/2015.
- BRASIL. **Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357:** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 07/09/2015.
- BRASIL. **Lei nº 6.437, de 20 de agosto de 1977.** Configura infrações à legislação sanitária federal, estabelece as sanções respectivas, e dá outras providências. Brasília: Presidência da república, 1977.
- BRASIL. **Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/leis/L9433.htm. Acesso em 16/08/20
- BRASIL. Lei nº. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Lei dos Recursos Hídricos.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 11 jun. 2017.

BRASIL. **Ministério da Saúde. Portaria 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. Disponível em: http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em: 12/09/2015.

BRASIL. **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. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 dez.2011. Disponível em: http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em: 29 maio 2015..

CUNHA, Marcia V. P. de Oliveira. **Importância da Frequência de Descarte de Lodo na Eficiência dos Decantadores de Estações de Tratamento de Água em Ciclo Completo.** Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará, 2004, Belém, Brasil.

DI BERNANDO, L. (1993). **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água.** Rio de Janeiro. ABES, v. 1 e 2.

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água.** São Carlos: RIMA, 2005, 792p.

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A, CENTURIONE FILHO, P. L. **Ensaio de Tratabilidade de Água e dos Resíduos gerados em Estações de Tratamento de Água.** Editoria: RIMA, São Carlos, SP, 2002

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água.** São Carlos: TIMA 2005. V 1 e 2

DI BERNARDO, L; SABOGAL PAZ, L.P. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água.** 1 ed. Editora LDiBe. São Carlos. 2008.

DI BERNARDO, L; SABOGAL PAZ, L. P ;**Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água.**2 ed.LDiBe. São Carlos. 2008.

FERREIRA FILHO, S. S.; MARCHETTO, M. **Otimização multi-objetivo de estações de tratamento de águas de abastecimento: remoção de turbidez, carbono orgânico total e gosto e odor.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental Vol. 11, Nº 1. ABES: Rio de Janeiro, 2006, pág. 7-15.

FERREIRA FILHO, S. S. e ALVES, R. **Técnicas de avaliação de gosto e odor em águas de abastecimento: método analítico, análise sensorial e percepção dos consumidores.** Eng. Sanit. Ambient. [online]. 2006, vol.11, n.4, pp. 362-370. ISSN 1413-4152. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522006000400009>

GANDINI, M. A; GALVIS, A (2000). *La Dimension Ambiental em laSelección de Tecnologia de Agua Potable*. CINARA, Universidad del Valle, Cali, Colômbia.

GUIMARÃES, A. J. A.; CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. **Saneamento básico**. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila%20IT%20179/Cap%201.pdf>>. Acesso em: 17 maio 2017.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. ;**Abastecimento de água para consumo humano**. 1º Ed. Minas Gerais: UFMG, 2006.

HELLER, L; PÁDUA, V. L.; **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. (2010) **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Ministério das Cidades. 219p.

IBGE Censos Demográficos. **Indicadores e Dados Básicos – Ministério da Saúde-2012**. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/idb2012/matriz.htm#cober>>. Acesso em: 17 maio 2017.

KOBIYAMA, M., MOTA, AA. **Recursos hídricos e saneamento**. In: **Seminário Saneamento Ambiental** (2008: Rio Negrinho), Rio Negrinho: ACIRNE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000**. Rio de Janeiro: IBGE; 2002.

MACEDO, J. A. B. **Águas & Águas**. 3º Ed. Minas Gerais: CRQ – MG, 2007

MANUAL de saneamento: **Manual de Saneamento Orientações Técnicas**. 3. ed. rev. Brasília, DF: Fundação Nacional de Saúde. 2007. 409 p. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/wpcontent/files_mf/eng_saneam2.pdf>. Acesso em: 10 jun 2017

MENDES, R. L.;**Adensamento e desaguamento mecânicos de lodos gerados em estações de tratamento de água**. Dissertação de Mestrado apresentada a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2001.

MIERZWA, J. C. **Tratamento de água para abastecimento público por ultrafiltração: avaliação comparativa através dos custos diretos de implantação e operação com os sistemas convencional e convencional com carvão ativado**. **Biblioteca Digital da Produção Intelectual**, São Paulo, v. 13, n. 1, p.78-87, fev. 2008.

MONTGOMERY, J. **Water treatment: principles and design**. 2a edição, New York, John Wiley & Sons, 1968 p. 2005

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE – OMS(2004). **Guidelines for Drinking-Water Quality**. Volume 1, Geneva, SW. 494p.

PAZ, L. P. S. **Modelo Conceitual de Seleção de Tecnologias de Água para Abastecimento de Comunidades de Porte Pequeno**. 2007. 398 f. Tese (Doutorado) - Curso de Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

PÉREZ, M; GALVIS, C. A. (2000). *Crterios Economicos en La Seleccion de Tecnologia de Potabilizacion de Agua*. CINARA, Universidad del Valle, IHE. Ministerio de Desarrollo de Colômbia. Santiago de Cali. Colômbia.

PERSEKIAN, M. P. S. **Análise e proposta de formas de gerenciamento de estações de tratamento de águas de abastecimento completo em cidades de porte médio do estado de São Paulo**. 1998. 194 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Título de Mestre em Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G.. (Org.) **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3. ed. São Paulo: Escrituras, 2006.

REALI, M. A. P.; CORDEIRO, J. S. & PATRIZZI, L; J; **Proposição de método para ensaios de remoção de água de lodos por centrifugação**. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL, 20, 1999, Rio de Janeiro-RJ, Anais... Rio de Janeiro: ABES, 2007. 10 p.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento d água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Blucher, 1991.

SABOGAL, L. P. **Modelo Conceitual da Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água para Abastecimento de Comunidades de Pequeno Porte**. Tese de doutorado USP – 2007.

SALDANHA, H. G. A. C. et al. **A qualidade da prestação de serviços de abastecimento de água para consumo humano: revisão bibliográfica**. INTESA – Informativo Técnico do Semiárido, Pombal, v. 10, n. 1, p.18-27, jan. 2016.

SIGMA, Tratamentos de Águas. Disponível em: <<http://sigma.ind.br/produto/modulos-tubulares>>. Acesso em: 16 out. 2017

UNESCO (Org.). **Water Supply, Sanitation, and Health**. Disponível em: <<http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/water-supply-sanitation-and-health/>>. Acesso em: 06 jun. 2017.

VON SPERLING, M. – **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ª edição, Belo Horizonte, 2005. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=1pxhLVxVFHoC&pg=PA66&lpg=PA66&dq=proj%C3%A7%C3%A3o+geom%C3%A9trica+von+sperling&source=bl&ots=CixyIaYJ4t&sig=9mHFIH8LDfG1DkS9kflXccM84hc&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwi-xK29q_DWAhVHx5AKHS20Ap4Q6AEIRTAJ#v=onepage&q=proj%C3%A7%C3%A3o%20geom%C3%A9trica%20von%20sperling&f=false>. Acesso em: 14 out. 2017

ZAT, M. **Remoção de compostos odoríferos de águas de abastecimento através de processos de aeração, dessorção gasosa e nanofiltração**. 2009. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.